

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – UFPE**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS – CCSA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA – PIMES**

**ANA CRISTINA GUIMARÃES CARNEIRO**

**UMA ANÁLISE ECONÔMICA DE MUDANÇAS NO USO DA TERRA E**  
**PRODUÇÃO DE MATÉRIA-PRIMA DO ETANOL NO BRASIL:**  
**O PAPEL DA DISPONIBILIDADE DE ÁGUA PARA O SETOR DE IRRIGAÇÃO.**

**RECIFE**

**2015**

ANA CRISTINA GUIMARÃES CARNEIRO

UMA ANÁLISE ECONÔMICA DE MUDANÇAS NO USO DA TERRA E PRODUÇÃO  
DE MATÉRIA-PRIMA DO ETANOL NO BRASIL:  
O PAPEL DA DISPONIBILIDADE DE ÁGUA PARA O SETOR DE IRRIGAÇÃO.

Tese Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal de Pernambuco PIMES como pré-requisito para obtenção de título de Doutor em Economia.

Orientadora: Márcia Maria Guedes Alcoforado  
de Moraes.

RECIFE

2015

Catálogo na Fonte  
Bibliotecária Ângela de Fátima Correia Simões, CRB4-773

C289a Carneiro, Ana Cristina Guimarães

Uma análise econômica de mudanças no uso da terra e produção de matéria-prima do etanol no Brasil: o papel da disponibilidade de água para o setor de irrigação / Ana Cristina Guimarães Carneiro. - Recife: O Autor, 2015.

135 folhas : il. 30 cm.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Márcia Maria Guedes Alcoforado de Moraes.

Tese (Doutorado em Economia) – Universidade Federal de Pernambuco, CCSA, 2015.

Inclui referências e anexos.

1. Solo-Uso. 2. Recursos hídricos - Desenvolvimento. 3. Biocombustíveis. 4. Biomassa. 5. Sustentabilidade. I. Moraes, Márcia Maria Guedes Alcoforado de (Orientadora). II. Título.

331 CDD (22.ed.) UFPE (CSA 2015 – 048)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA  
PIMES/PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE DEFESA DE TESE DE DOUTORADO  
EM ECONOMIA DE:

**ANA CRISTINA GUIMARÃES CARNEIRO**

A Comissão Examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência do primeiro, considera a Candidata Ana Cristina Guimarães Carneiro **APROVADA**.

Recife, 04/02/2015.

---

Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Márcia Maria Guedes Alcoforado de Moraes  
Orientadora

---

Prof. Dr. Francisco de Souza Ramos  
Examinador Interno

---

Prof. Dr. Ignácio Tavares de Araújo Júnior  
Examinador Externo/UFPB

---

Prof. Dr. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro  
Examinador Externo/UFRPE

---

Prof. Dr. Demétrius David da Silva  
Examinador Externo/UFV

A nova geração da Família Carneiro:  
Matheus, Gabriel, Ana Alice, e em  
especial a minha Filha Beatriz, a quem  
dedico todo meu amor.

## **AGRADECIMENTOS**

Inicialmente deve agradecer às pessoas que tornaram esse trabalho possível: a Professora Marcia Maria Alcoforado de Moraes, pela competência, pela disponibilidade de ensinar, a quem admiro pela postura ética e por trabalhar duro pelo desenvolvimento de seus alunos; Ao professor Hayri Onal, que me recebeu em Illinois durante o estágio de doutorado com muita dedicação e competência; Ao colega e também professor Hector Mauricio Nuñez Amortegui pela generosidade de compartilhar seu modelo e pela pronta disponibilidade de ensinar e trabalhar em busca do melhor resultado para a pesquisa.

A minha família, meu pai Sr Carneiro, meus irmãos, André, Alexandre, Ana Cláudia e Ana Cecília, além de meus amigos, pelo suporte e pela paciência durante esses anos, em especial para meu marido Bruno e minha irmã Ana Cecília, com muito amor.

Agradeço também aos órgãos de fomento, CNPq e Capes, A coordenação do PIMES e aos professores que contribuíram nesse processo.

## RESUMO

Devido à crescente preocupação com a segurança energética e com cenários prospectivos de mudança climática global, políticas regulatórias foram introduzidas em muitos países para incentivar a produção de energia renovável. Os biocombustíveis líquidos são considerados como elementos particularmente importantes do portfólio de energia renovável. Sendo o segundo maior produtor/consumidor e o maior exportador de etanol do mundo, o Brasil desempenha um papel importante na economia global de biocombustíveis. Este trabalho investiga o potencial de produção da cana-de-açúcar, biomassa utilizada na produção do etanol no país, diante de diferentes demandas e configurações do mercado mundial deste produto e diferentes cenários climáticos globais, considerando a competição pelos fatores primários (terra e recursos hídricos) entre a produção de outras culturas e a cana de açúcar. Para tanto, um modelo de programação matemática originalmente desenvolvido por Nuñez & Önal na UIUC - *University of Illinois at Urbana-Champaign* foi usado e estendido para incluir as restrições de disponibilidade de recursos hídricos atuais e futuras para o setor de agricultura irrigada no Brasil. O modelo original tem preços endógenos. Maximiza-se a soma dos excedentes dos produtores e dos consumidores, sujeitos a limitações de recursos regionais, os saldos de materiais, limitações técnicas, restrições políticas e comerciais de alimentos e matérias-primas de combustível com o resto do mundo. Estende-se o mesmo para que a possibilidade de expansão da produção de cana em novas lavouras no Brasil, leve em conta não só as restrições de terra, mas também as restrições de disponibilidade de recursos hídricos para o setor de agricultura irrigada. Os resultados mostram que a disponibilidade hídrica para o setor afeta o uso da terra, a intensificação da pecuária e a expansão da produção de cana no Brasil. Na projeção para 2030, ao se incluir as restrições de disponibilidade hídrica da agricultura, a área plantada total alocada pelo modelo cai de 64,36 para 51,35 milhões de hectares, mesmo com a conversão de pastagens aumentando de 18,22 para 24,05 milhões de hectares. A área de cana alocada pelo modelo cai de um total previsto de 19,01 milhões de hectares (modelo original sem restrições hídricas) para 13,35 milhões. A maior queda é a área alocada para o Centro-Oeste (62%) e para o Sudeste (36%), havendo elevação no Nordeste (67%), já que é previsto uma maior oferta de recursos hídricos para a irrigação na região, em vista dos investimentos em novas áreas do governo federal e maiores requerimentos de recursos hídricos devido a mudanças climáticas. O modelo mostra que a expansão global na demanda por etanol, e as novas necessidades de recursos hídricos pelas culturas devido a mudanças do clima e mudanças na produtividade, sem considerar melhorias na eficiência em sistemas de irrigação, aumenta a demanda por recursos hídricos para a agricultura irrigada, que tem assim sua expansão, principalmente na produção da biomassa do etanol, restrita por este fator. Este fato deve pressionar uma mudança na distribuição dos recursos hídricos entre os usos. Isso deve intensificar os conflitos, especialmente em regiões como o Nordeste, onde a disponibilidade de água é menor do que nas demais regiões do Brasil, e onde o setor de irrigação tem um papel muito importante para o desenvolvimento sócio-econômico.

**Palavras-chave:** Agricultura Irrigada. Uso da Terra. Recursos Hídricos. Biocomubustíveis. Biomassa. Sustentabilidade. Mudanças Climáticas.

## ABSTRACT

Due to growing concerns about energy security and future scenarios of global climate change, regulatory policies have been introduced in many countries to encourage the production of renewable energy. Liquid biofuels are regarded as particularly important elements of the renewable energy portfolio. Being the second largest producer / consumer and the largest exporter of ethanol, Brazil plays an important role in the global economy of biofuels. This work investigates the potential production of sugarcane, biomass used in the production of Brazilian ethanol in the country in different settings and noting demands of the world market and different global climate change scenarios, given the competition for primary factors (land and water) from the production of other crops and sugarcane. Therefore, a mathematical programming model originally developed by Nuñez & Ònal at UIUC - University of Illinois at Urbana Champaign was used and extended to include present and future constraints of water availability for the irrigated agriculture sector in Brazil. The original model is endogenous price. It maximized the sum of the surplus of producers and consumers subject to resource constraints, regional balances of materials, technical constraints, political constraints and trade of food and raw materials to fuel the rest of the world. Special emphasis is given to the production of beef cattle and the potential for intensive livestock production systems in Brazilian pastures as a potential way to release new cultivation areas. This is extended to include the potential for increased sugarcane production in new areas, considering land constraints and issues of supply/demand of water for agricultural irrigation. The results show that water availability affect land use, intensification of farming and the expansion of sugarcane production in Brazil. The projection for 2030 with restrictions on water availability, the total planted area allocated by the model falls from 64.36 to 51.35 million hectares. The conversion of pastures falls from 18.22 to 24.05 million hectares. Sugarcane area allocated by the model falls of a planned total of 19.01 million hectares (original model) to 13.35 million. The biggest downfall is the area allocated for the Midwest (62%) and in the Southeast (36%) and there is an increase in the Northeast (67%), as is provided for a greater supply of water for irrigation in the region, in view of investments in new areas of the federal government and higher water requirements due to climate change. The model shows that the global expansion in demand for ethanol, and the new needs of water by crops due to climate change and changes in productivity, without considering efficiency improvements in irrigation systems, increases the demand for water for agriculture irrigated, so has its expansion, mainly in the production of biomass ethanol, restricted by this factor. This should intensify the conflicts, especially in regions such as the Northeast, where water availability is lower than in other regions of Brazil, and where the irrigation sector has a very important role in the socio-economic development.

**Keywords:** Irrigated Agriculture. Land. Water. Ethanol. Biomass. Sustainability Climate Change.



## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 1:Disponibilidade de água de superfície estimada para o Brasil.....                                                                          | 35  |
| Figura 2:Distribuição espacial dos recursos hídricos usadas para irrigação considerando as maiores culturas no Brasil em 2007 por mesorregiões..... | 38  |
| Figura 3: Recursos hídricos para Irrigação e para Irrigação da Cana 2007.....                                                                       | 39  |
| Figura 4: Distribuição das maiores culturas por área irrigada no Brasil (2007).....                                                                 | 40  |
| Figura 5: Zoneamento Agropecuário da Cana-de-Açúcar.....                                                                                            | 45  |
| Figura 6: Relação entre PEf e PMe .....                                                                                                             | 68  |
| Figura 7: Distribuição Espacial projetada da recursos hídricos para agricultura irrigada no Brasil por mesorregião (2030).....                      | 79  |
| Figura 8: Área Para Cultura de Cana - Modelo sem e com Recursos hídricos .....                                                                      | 82  |
| Figura 9: Área de pasto.....                                                                                                                        | 91  |
| Figura 10: Grupo de Famílias e Cenários do IPCC .....                                                                                               | 133 |
| Figura 11: Divisão regional do IPCC .....                                                                                                           | 135 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1: Água usada na irrigação pelas maiores culturas no Brasil para o ano de 2007 (Milhões m <sup>3</sup> ).....                                                        | 39 |
| Tabela 2: Aumento percentual no rendimento das culturas baseado nas médias dos anos 2007-2009. ....                                                                         | 43 |
| Tabela 3: coeficiente de retirada de água pela cultura (i), mês (t), na mesorregião (Mata Pernambucana - PE) em (m <sup>3</sup> .mês <sup>-1</sup> .ha <sup>-1</sup> )..... | 60 |
| Tabela 4: Coeficiente Médio das Culturas .....                                                                                                                              | 65 |
| Tabela 5: Proporção média diária (p) de horas de luz para diferentes latitudes.....                                                                                         | 66 |
| Tabela 6: Valores de precipitação efetiva em função da evapotranspiração potencial mensal da cultura e da precipitação mensal.....                                          | 67 |
| Tabela 7: Dados Estimados de Variação de Precipitação e Temperatura do IPCC para região 12 no mês de Dezembro a Fevereiro .....                                             | 70 |
| Tabela 8: Nova Oferta de Água para Agricultura Irrigada no Brasil. ....                                                                                                     | 72 |
| Tabela 9: Ganhos Adicionais com Irrigação por Cultura.....                                                                                                                  | 74 |
| Tabela 10: Validação para os três cenários para rendimento no Brasil (2007 em Milhões de Hectares).....                                                                     | 75 |
| Tabela 11: Resultados da Validação do Modelo para o Brasil (2007 em Milhões de Hectares).....                                                                               | 77 |
| Tabela 12: Taxa de Crescimento Médio no Rendimento para EUA, Brasil e Argentina aplicadas sobre as produtividades escolhidas para o modelo estendido.....                   | 78 |
| Tabela 13: Distribuição da ofertas totais de água atuais e projetadas para a agricultura irrigada no cenário IPCC - CCSRNIES A2 (Milhões de m <sup>3</sup> anuais).....     | 80 |
| Tabela 14: Simulação do Uso da Terra no Brasil considerando os modelos com e sem restrição de disponibilidade de água (2030, em Milhões de Hectares). ....                  | 80 |
| Tabela 15:Área Para Cultura de Cana (Milhões ha).....                                                                                                                       | 83 |
| Tabela 16: Simulação para produção e processo industrial da Cana-de-açúcar no Brasil (2030) .....                                                                           | 83 |
| Tabela 17: Produção de Etanol por matéria prima no Brasil e nos EUA .....                                                                                                   | 84 |
| Tabela 18: Variação no Consumo de etanol no Brasil e nos EUA.....                                                                                                           | 84 |
| Tabela 19: Variação nas Exportações de Etanol do Brasil e dos EUA .....                                                                                                     | 85 |
| Tabela 20: Variação nos Preços do Etanol no Brasil e nos EUA.....                                                                                                           | 85 |
| Tabela 21: Consumo, oferta de Gasolina e preço do Gasholl .....                                                                                                             | 86 |

|                                                                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 22: Variação na Produção, nos preços, nos consumos domésticos e nas exportações do Milho no Brasil, EUA e Argentina .....                | 87 |
| Tabela 23: Variação na Produção, nos preços e nos consumos domésticos do Trigo no Brasil, EUA e Argentina .....                                 | 88 |
| Tabela 24: Variação no Uso da Terra na Produção, nos preços, nos consumos domésticos e nas exportações da Soja no Brasil, EUA e Argentina. .... | 89 |
| Tabela 25: Variação na Produção, nos preços, nos consumos domésticos e nas exportações de Farelo de Soja no Brasil, EUA e Argentina .....       | 90 |
| Tabela 26: Variação na Produção, nos preços, nos consumos domésticos e nas exportações de Óleo de Soja no Brasil, EUA e Argentina .....         | 90 |
| Tabela 27: Área de Pasto (Milhões ha) .....                                                                                                     | 92 |
| Tabela 28: Variação na produção, consumo, exportação e taxa de intensificação da produção de carne bovina no Brasil. ....                       | 92 |
| Tabela 29: Variação do Bem-Estar por Setor no Brasil e nos EUA.....                                                                             | 93 |
| Tabela 30: Variação no Consumo de Gasolina e etanol dos EUA .....                                                                               | 94 |
| Tabela 31: Variação no Consumo de Gasolina e etanol no Brasil .....                                                                             | 95 |
| Tabela 32: Variação dos preços por Km e aos consumidores no Brasil e nos EUA.....                                                               | 95 |

## SUMÁRIO

|                                                                                                                                      |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                                                                                            | <b>13</b>  |
| <b>2 OBJETIVOS .....</b>                                                                                                             | <b>20</b>  |
| <b>2.1 Gerais .....</b>                                                                                                              | <b>20</b>  |
| <b>2.2 Específicos .....</b>                                                                                                         | <b>20</b>  |
| <b>3 LINK ENTRE BIOENERGIA E ÁGUA.....</b>                                                                                           | <b>21</b>  |
| <b>4 ÁGUA PARA AGRICULTURA IRRIGADA NO BRASIL .....</b>                                                                              | <b>35</b>  |
| <b>5 METODOLOGIA.....</b>                                                                                                            | <b>47</b>  |
| <b>5.1 Programação linear com preços endógenos .....</b>                                                                             | <b>47</b>  |
| <b>5.2 O modelo original (adaptado de Nuñez, 2012).....</b>                                                                          | <b>48</b>  |
| <b>5.2.1 A função-objetivo (adaptado de NUÑEZ, 2012):.....</b>                                                                       | <b>51</b>  |
| <b>5.2.2 Restrições do modelo original (adaptado de NUÑEZ, 2012).....</b>                                                            | <b>54</b>  |
| <b>5.3 Incorporando ao modelo restrições de disponibilidade hídrica para a agricultura irrigada no Brasil no cenário atual .....</b> | <b>58</b>  |
| <b>5.4 Restrições de disponibilidade hídrica para a agricultura irrigada no Brasil no cenário futuro –.....</b>                      | <b>63</b>  |
| <b>5.5 Atualização das produtividades .....</b>                                                                                      | <b>73</b>  |
| <b>6 RESULTADOS .....</b>                                                                                                            | <b>76</b>  |
| <b>6.1 Principais resultados agregados .....</b>                                                                                     | <b>77</b>  |
| <b>6.2 Resultados projetados para 2030 referentes às demais commodities agrícolas.....</b>                                           | <b>86</b>  |
| <b>6.3 Resultados projetados para 2030 referentes a áreas de pasto e produção de carne bovina.....</b>                               | <b>91</b>  |
| <b>6.4 Resultados referentes à função de Bem-Estar .....</b>                                                                         | <b>93</b>  |
| <b>7 CONCLUSÃO.....</b>                                                                                                              | <b>96</b>  |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                                                                                             | <b>98</b>  |
| <b>ANEXO A - TOTAL DE ÁREA IRRIGADA: PROGRAMA MAIS IRRIGAÇÃO (BRASIL, 2012).....</b>                                                 | <b>105</b> |

|                                                                                                                                                                                                            |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>ANEXO B - DELTAS.....</b>                                                                                                                                                                               | <b>106</b> |
| <b>ANEXO B1 - Delta 1 – Cenário atual: Razão entre área colhida irrigada e área colhida total para todas as culturas (<math>\Delta h_i, r</math>) (Fonte: IBGE, Censo Agropecuário 2006).....</b>          | <b>106</b> |
| <b>ANEXO B2 - Delta 1 – Cenário Futuro: Razão entre área colhida irrigada e área colhida total para todas as culturas acrescida da área irrigada do mais irrigação. (<math>\Delta' h_i, r</math>).....</b> | <b>110</b> |
| <b>ANEXO B3 - Delta 2 – Cenário atual e Futuro: adotando a proporção existente entre área irrigada e área plantada para a cana e soja para 2006( (IBGE, 2006) e 2030.....</b>                              | <b>114</b> |
| <b>ANEXO C - COEFICIENTES ANUAL POR CULTURA E POR MESORREGIÃO (MM.ANO<sup>-1</sup>).....</b>                                                                                                               | <b>118</b> |
| <b>ANEXO D - RENDIMENTOS .....</b>                                                                                                                                                                         | <b>122</b> |
| <b>ANEXO D1- Rendimento médio em toneladas por hectare. ....</b>                                                                                                                                           | <b>122</b> |
| <b>ANEXO D2 - Rendimento real cultura irrigada e não irrigada do ano de 2006 em toneladas por hectare (Equação 30).....</b>                                                                                | <b>126</b> |
| <b>ANEXO D3 - Rendimento média acrescida dos ganhos com irrigação (Tabela 9) em toneladas por hectare (Equação 31).....</b>                                                                                | <b>129</b> |
| <b>ANEXO E - MODELOS CLIMÁTICOS DO IPCC .....</b>                                                                                                                                                          | <b>133</b> |
| <b>ANEXO F - TODOS OS CENÁRIOS DO IPCC.....</b>                                                                                                                                                            | <b>136</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente muito se discute sobre os desafios de combinar questões econômicas com questões ambientais. A exigência em tornar o processo produtivo e o padrão de consumo menos poluentes é um desafio que exige uma integração cada vez maior entre as diversas áreas de conhecimento.

Sobre questões ambientais o destaque é para o aquecimento global, causado pelo efeito estufa. Esse efeito resulta de um fenômeno natural, um mecanismo que a Terra utiliza para manter constante a temperatura adequada à vida. Cerca de 35% da radiação que a terra recebe do sol é refletida pelas nuvens, e 65% que permanece na terra é reemitida por radiações infravermelha ou calor. A camada de ozônio, localizada na estratosfera, responsável pelo efeito estufa funciona como um filtro aos raios ultravioletas maléficos. A Poluição tornou essa camada de gases mais espessa, retendo parte da radiação infravermelha emitida pela Terra, provocando o aquecimento global (GORE, 2010 apud VECCHIA, 2010).

A principal causa do efeito estufa é o lançamento descontrolado na atmosfera de alguns gases, como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), Metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido de nitrogênio ( $\text{N}_2\text{O}$ ), Hidroflurcarbono (HFC), perfluorcarbono (PFC), hexafluoreto de enxofre ( $\text{SF}_6$ ), entre outros. Esses gases, quando emitidos em escalas normais, mantêm a temperatura adequada da terra. Em grande escala provocam o aquecimento global (VECCHIA, 2010).

Existe uma enorme quantidade de dióxido de carbono armazenado no solo e nas plantas, que são jogados na atmosfera pelo homem. Uma dos vilões é o petróleo que, usado em larga escala em todo mundo, é um dos mais importantes emissores de  $\text{CO}_2$ . Logo, o aumento do consumo de energia, especialmente aquela proveniente do uso de combustíveis fósseis, agrava muito as questões ambientais, o que exige novas alternativas de oferta de energia, com ênfase nas classificadas como renováveis.

Considera-se fonte de energia renovável aquelas cujas condições naturais proporcionam sua reposição em curto espaço de tempo. As principais são: solar, eólica, hídrica, geotérmica e as derivadas de biomassa. A vantagem das fontes renováveis é que apresentam baixa emissão de gases do efeito estufa, além de ser sustentável e proporcionar um menor impacto climático.

Ao contrário das outras fontes de energia renovável (eólica e solar, por exemplo) as obtidas de biomassa são limitadas pela disponibilidade de terra e água. Além de terra e água, energia e fertilizantes também são necessários no cultivo e na produção da biomassa. Em

alguns casos, essa energia é obtida a partir de combustíveis fósseis (BLOTTNITZ; CURRAN, 2007 apud ECONOMIC RESEARCH INSTITUTE FOR ASEAN AND EAST ASIA , ERIA-RPG, 2008), o que pode tornar o balanço final de emissões obtido não tão favorável. Alguns exemplos são a operação de máquinas para o cultivo, colheita e transporte, vapor e eletricidade para o processamento, entre outros,(ERIA- RPJ, 2008).

Os biocombustíveis líquidos representam uma parte importante no portfólio da energia provinda de biomassa. O etanol, biocombustível líquido derivado da cana-de-açúcar, é uma das apostas do governo brasileiro no setor energético, sendo o Brasil um dos maiores produtores do mundo.

O principal importador de etanol brasileiro é o mercado americano, que recebe cerca de 1,7 bilhões de litros de etanol do Brasil (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, EPE, 2014). As importações americanas do etanol brasileiro devem ter um crescimento futuro devido às políticas de biocombustíveis e os mandatos impostos pela política *Renewable Fuel Standard* (RFS)<sup>1</sup> a ser implementada nos EUA até 2025 (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY , EPA, 2010), que incentiva o uso de biocombustíveis.

Biocombustíveis líquidos de segunda geração, como os combustíveis Fischer-Tropsch, Dimetil Éter, lignocelulose base de etanol e Biohidrogênio, estão previstos para se tornar cada vez mais competitivos devido a alternativas fósseis como desenvolvimento tecnológico que permite a produção de matérias-primas com base em lignocelulósicas que são mais abundantes e potencialmente mais baratas, como palha, resíduos florestais e culturas energéticas lignocelulósico (BERNDES, 2008).

O etanol de cana, sendo considerado como de segunda geração<sup>2</sup>, é também preferido na *Renewable Energy Directive of the European Union* (UE). Além disso, outras demandas como o rápido crescimento da frota de veículos leves na China também deverá exigir quantidades substanciais de biocombustíveis renováveis, incluindo o etanol de cana brasileiro.

---

<sup>1</sup> (*Renewable Fuel Standard* - RFS) programa nacional americano de biocombustíveis para o setor de transporte, que visa à substituição dos combustíveis fósseis e estabelece o *Renewable Fuel Standard* (RFS) que determinou uma meta de 4 bilhões de galões de etanol para 2006, e 7,5 bilhões em 2012. Como o número foi superior à meta em 2006 uma nova meta foi determinada de 9 bilhões de galões em 2008 e 36 bilhões em 2022 (BOSKE et al. apud RODRIGUES, 2011).

<sup>2</sup> O etanol da cana de açúcar pode se de primeira geração, quando produzido a partir da sacarose da cana; ou de segunda geração, produzido a partir da celulose e hemicelulose. Esse último requer desenvolvimento científico e tecnológico de produção do etanol lignocelulósico (PACHECO, 2011).

Aliado a isso, a existência de uma considerável frota de carros *flex* bem como possíveis aumentos na mistura da gasolina no mercado doméstico (25%) no Brasil, deve expandir a demanda pelo etanol de cana brasileiro, o que exigirá a produção de uma quantidade maior de etanol de cana e uma associada expansão das terras destinadas à cana-de-açúcar.

De acordo com a DATAGRO (2014), o Brasil pode precisar de até 1,4 bilhões de toneladas de cana-de-açúcar em 2020 caso 80% da frota brasileira utilize o etanol como combustível. Se o percentual cair para 40% da frota a demanda será de um bilhão de toneladas de cana. Sendo assim, para atender um mercado em rápido crescimento, a produção associada da biomassa necessária para a produção do biocombustível deve se tornar um enorme desafio para o setor agrícola e de biocombustíveis no Brasil.

A questão da competição na utilização da terra entre a produção de biomassa e a produção de outros commodities agrícolas, para alguns autores não parece ser pertinente na economia brasileira. Sampaio et al. (2011) afirmam que, pelo menos no Brasil esse conflito não existe, uma vez que há muita fronteira agrícola capaz de expandir a produção sem comprometer a produção de alimento.

O aumento da área destinada à cana-de-açúcar pode ser associado à utilização da área de pastagem. Além disso, o aumento na produção mostrou-se consequência do aumento da produtividade global chegando a 74,8 toneladas/ha na safra de 2013/2014 (CONAB, 2014). Contribuiu para o aumento da produtividade as melhorias genéticas gerando culturas mais resistentes, bem como o processo de renovação do canavial, aliado aos tratos culturais adequados (EPE, 2014).

Devido a resultados como esse, costuma-se argumentar que com uma utilização mais eficiente da fronteira agrícola<sup>3</sup> e da grande quantidade de pastagens, o Brasil pode ampliar seu potencial de produção de biomassa sem comprometer a produção de outros commodities. Segundo Goldemberg et. al. (2008), o número de animais nas pastagens tem densidades muito baixas no Brasil (100 cabeças/km<sup>2</sup>) (2000), quando comparado com média dos países desenvolvidos. Essa densidade vem aumentando de 128 cabeças/km<sup>2</sup> (2004) para 141

---

<sup>3</sup> "fronteiras agrícolas designam áreas despovoadas ou esparsamente povoadas por populações que se dedicam à exploração dos recursos naturais e que vêm sendo submetidas a processos de ocupação em decorrência da alta potencialidade agropecuária que apresentam. Estas áreas vêm passando por processos de imigração, em decorrência da atração induzida por programas públicos de incentivos fiscais e financeiros à produção agropecuária e de construção de estradas, e por projetos de investimentos privados" (FUNDAJ, 1995).



cabeças/km<sup>2</sup> (2005) (LORA et al., 2006 apud GOLDEMBERG et al., 2008). Porém essa densidade ainda é muito baixa, o que dá possibilidade de expansão da área de cana sobre a área de pasto, sem comprometer a produção de alimentos no Brasil.

Porém, é importante resaltar que a forma que o gado é criado no Brasil, o chamado boi verde<sup>4</sup>, apresenta algumas vantagens. Entre elas: a redução do tempo de abate; a qualidade de carne, que evita doenças como a vaca louca; Uma vez que, o novilho é abatido novo, sua carne é mais macia e de sabor mais apurado. Além dessas, deve-se considerar a preferência do consumidor. Pesquisas indicam que os consumidores estão propensos a pagar mais por produtos ecologicamente corretos e mais saudáveis (MELO, 2002).

Além da questão do uso da terra, relativa à concorrência não só com a produção de alimentos, mas também com o uso de pastagens e áreas de preservação nativa, são discutidos outros conflitos na expansão da produção da cana-de-açúcar brasileira, tais como: i) o impacto sobre a força de trabalho – uma questão crítica, por exemplo, na produção da região Nordeste do Brasil - e ii) o impacto nos novos arranjos produtivos sobre o preço dos alimentos. Para mais detalhes ver Sampaio (2011).

A questão emergente e que será tratada neste trabalho diz respeito à disponibilidade de recursos hídricos para viabilizar a expansão da produção desta biomassa. Enquanto a possibilidade de mudanças de uso da terra vem sendo estudada extensivamente, a questão dos recursos hídricos não vem recebendo a mesma atenção (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME , UNEP, 2011).

## **1.1 Problemática e justificativa**

As projeções para mudanças climáticas futuras do IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change – são de um aumento médio na temperatura de 0.2°C por década. Aumentos na temperatura diminuem as geleiras, provocam um aumento no nível de mar e em áreas salinizadas. Consequentemente, diminui-se a água fresca utilizada para consumo humano e para a produção econômica. Se for considerado que essa previsão é uma média, está se

---

<sup>4</sup> Boi verde é aquele criado em pasto com uso de adubos sintéticos solúveis, de antibióticos e medicamentos alopatícos é permitido. Além da suplementação alimentar feita no confinamento.

projetando uma variabilidade na temperatura entre as regiões, com impactos na precipitação e no aumento dos riscos de inundação em algumas áreas e de secas em outras.

O IPCC em seu relatório mais recente (2014) estima que as secas meteorológicas (menos chuvas) e secas agrícolas (solo seco) do século 21 serão mais longas, ou mais frequentes ou ambos, em algumas regiões e algumas estações do ano, por causa da redução de chuvas ou aumento da evaporação, ou ambos, Regiões como o sul da Europa e do Mediterrâneo, a Europa Central, Centro e Sul da América do Norte, América Central, Nordeste da África do Sul e o Nordeste do Brasil, segundo o mesmo relatório, serão mais secas (IPCC, 2014).

O IPCC afirma que para essas áreas com secas sazonais, são necessárias medidas que gerenciem a demanda, por exemplo, através de mecanismos que levem a redução na mesma, racionalizando a distribuição e o uso do recurso e ao mesmo tempo aumentem a oferta, usando estratégias como a interligação entre bacias e também de elevação da capacidade de armazenamento em reservatórios (IPCC, 2014). Ressalta-se que reservatórios com grande capacidades em locais com altas taxas de evaporação, como no Nordeste brasileiro, apresenta perdas significativas pela evaporação (FONTES, et al, 2003).

Com essa expectativa, o governo brasileiro vem investindo na ampliação da área irrigada, especialmente no Nordeste do Brasil. A maior iniciativa do governo federal é o Programa ‘Mais Irrigação’, que objetiva aumentar/revitalizar a área irrigada em 538 mil hectares, sendo 414 mil hectares no Nordeste, para promover maior desenvolvimento no Brasil (BRASIL, 2012).

Além do ‘Mais Irrigação’, outras iniciativas estão sendo divulgadas como ‘programa de irrigação do semiárido brasileiro’, que será uma espécie de ‘PAC da Irrigação’, pretendendo explorar de forma mais eficiente o potencial da irrigação (BRASIL, 2014a).

Ademais, obras como a Transposição do São Francisco, envolvendo recursos na ordem de R\$ 8,2 bilhões majoritariamente origem pública, objetiva ampliar a infraestrutura hídrica para disponibilizar água a novas áreas irrigadas (BRASIL, 2014b).

Apesar de o Brasil possuir cerca de 12% da água doce disponível no planeta, cerca de 80% está na Amazônia e os 20% restante estão mal distribuídos entre as demais regiões. Atualmente, a agricultura irrigada no Brasil é a maior consumidora de água doce disponível na superfície, sendo 61% das águas captadas em rios e lagos destinada à irrigação. As mudanças climáticas e a ampliação das áreas irrigadas do país deverão aumentar a demanda para atender este uso, o que deve ampliar os conflitos entre os demais usos (IPCC, 2014).

Deve-se ressaltar que no Brasil, de acordo com o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), cerca de 90% da energia elétrica gerada é proveniente de usinas hidrelétricas. Essa predominância hídrica, se por um lado eleva o país a um padrão de geração limpa e barata, por outro tem em sua operação um grande desafio, além de potencializar conflitos com outros usos (LEITE, 2013).

A água para geração de energia no Brasil é armazenada em grandes reservatórios, que nas regiões mais quentes possuem altas taxas de evaporação e, portanto envolvem perdas e descaracteriza o uso como não-consuntivo. Além disso, para assegurar a geração de energia em períodos de baixas afluências aos lagos, pode-se reduzir a liberação mínima dos mesmos, o que leva a conflitos com os demais usos a jusante.

Em Sobradinho, por exemplo, a liberação mínima a jusante, que é regulamentada como sendo de 1.300 m<sup>3</sup>/seg sofreu redução para 1.100 m<sup>3</sup>/seg e está ameaçada de passar para 800 m<sup>3</sup>/seg (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA, ANA, 2014a) Essa redução da vazão mínima vem sendo prorrogada sistematicamente. Estabelecida em 30 de Janeiro de 2014 foi prorrogada até fevereiro de 2014, e em agosto de 2014 foi prorrogada até setembro de 2014.

O presente trabalho objetiva diante dessa perspectiva de limitação na disponibilidade hídrica no Brasil, avaliar o potencial da produção da biomassa associada ao bioetanol brasileiro, considerando a competição pelos recursos naturais entre a produção de cana-de-açúcar e por outras culturas, a saber, milho, trigo, soja, feijão, mandioca, sorgo, algodão e arroz, além da possibilidade de expansão da produção agrícola sobre as áreas de pasto, considerando que a produção pecuária pode vir a ser semi-intensiva.

Esta tese utiliza-se de um modelo de programação matemática de equilíbrio parcial nos mercados agrícola e de combustíveis para transporte com preços endógenos, que foi estendido para considerar além das limitações originais de disponibilidade de terra, as atuais e futuras restrições de recursos hídricos para a agricultura irrigada no Brasil. Investigou-se, assim, o potencial de produção de biocombustíveis no Brasil, considerando a competição pelos recursos naturais para a produção de alimentos e o aumento da produção da biomassa. Isto foi feito para diferentes cenários energéticos e climáticos globais.

Devido à crescente preocupação com a segurança energética e, ao mesmo tempo, com os problemas ambientais, estudar o potencial de produção de biomassa torna-se estratégico. Apesar da pequena participação dos biocombustíveis na matriz energética mundial, eles são considerados um substituto em potencial para as fontes mais poluentes, e investigar a sustentabilidade da expansão da sua produção torna-se importante.

O presente trabalho está dividido em sete capítulos. Além dessa introdução, o capítulo 2 apresenta os objetivos. Os capítulos 3 e 4 tratam da conexão entre bioenergia e água e da questão da agricultura irrigada e o seu impacto dentro do balanço hídrico no Brasil. O capítulo 5 traz a metodologia. Os capítulos 6 e 7 apresentam os resultados, conclusões e recomendações para futuras pesquisas.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Gerais

Identificar o potencial de produção de cana-de-açúcar no Brasil e a consequente produção de etanol e os preços associados, considerando a competição com a produção de outras culturas por recursos naturais, com ênfase nos recursos hídricos, para diferentes cenários de mudanças climáticas globais.

### 2.2 Específicos

- Agregar os coeficientes técnicos de uso da água para a agricultura irrigada publicados pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) (FUNDAÇÃO DE APOIO A UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA- FUNARBE, 2011) por município, mês e cultura e regionalizá-los na escala de mesorregiões associando-os às áreas proporcionais irrigadas, de forma a obter as restrições de requerimento e oferta de água por cultura, região e mês.
- Estender o modelo de equilíbrio parcial original (NUÑEZ, 2012) incorporando as restrições de requerimentos e oferta de água para a agricultura irrigada no Brasil representados pelos coeficientes regionalizados;
- Validar o modelo comparando os resultados reais observados do ano de 2007, com os resultados obtidos ao incorporar as restrições de disponibilidade hídrica;
- Atualizar os coeficientes agregados, representativos dos requerimentos e oferta de água para a irrigação no futuro, a partir de previsões de mudanças de temperatura e precipitação obtidas de diferentes cenários climáticos globais (IPCC, 2013) e da ampliação de áreas irrigadas previstas em planos do governo federal;
- Combinar cenários de mudanças climáticas globais compatíveis entre si para construção de cenários futuros a se utilizar no modelo estendido;
- Estender, obter e analisar os resultados para o modelo com requerimentos e restrições de oferta de água futuros, a partir dos coeficientes atualizados, para os cenários escolhidos.

### 3 LINK ENTRE BIOENERGIA E ÁGUA

A produção de bioenergia vem se expandindo rapidamente, impulsionada por questões como as mudanças climáticas causadas pelo aquecimento global, bem como a volatilidade dos preços do petróleo que aumenta a preocupação com a dependência de importações para garantir a segurança energética. Isto vem ocorrendo especialmente nos países em desenvolvimento.

Apesar de na maioria desses países, a coleta e o uso da bioenergia sejam não comerciais, esta situação pode mudar, como já aconteceu no Brasil<sup>5</sup>. Considerando que a produção de biomassa normalmente é uma produção rural, que exige muita mão de obra, a expansão pode levar à criação de postos de trabalho e ajudar a conter a migração urbana.

A geração de energia ‘limpa’ pode desencadear a industrialização e o desenvolvimento, bem como a promoção de melhorias na qualidade de vida nas zonas mais pobres e reduzir os custos da poluição do ar como resultado da queima de combustíveis tradicionais (CARPENTIERI et al., 1993; HENDERICK ; WILLIAMS, 2000).

Entre os bioenergéticos mais desenvolvidos estão os biocombustíveis líquidos. Estes são classificados por ‘gerações’. A maneira tradicional de definição das ‘gerações’ de biocombustíveis refere-se principalmente à eficiência na conversão e na disponibilidade de matérias-primas. A sustentabilidade depende de como as matérias-primas são desenvolvidas e manejadas, e em que condições socioeconômicas (UNEP, 2011).

Os biocombustíveis mais tradicionais são os de primeira geração. Praticamente todas as culturas usadas como biomassa para produção de biocombustíveis líquidos usados atualmente pertencem à chamada ‘primeira geração’, incluindo as plantações de cana-de-açúcar a partir do qual é produzido o etanol. Algumas culturas de primeira geração, como a cana-de-açúcar e óleo de palma, são altamente eficientes e, portanto, continuarão competitivas por algum tempo.

---

<sup>5</sup> "No Brasil, a evolução do uso de energia de biomassa a partir de 1965, mostra que, essencialmente, todo o crescimento no consumo de bioenergia durante este período chegou para usos industriais de grande escala: bagaço para produção de calor e eletricidade combinados do setor industrial, a maior parte do carvão vegetal para redução de minério de ferro na indústria siderúrgica, todo o etanol para uso de veículos de transporte e alguns da lenha." (CARPENTIERI et al., 1993).

Os biocombustíveis de segunda geração são representados principalmente pelo etanol celulósico. Além da diferença na forma de conversão<sup>6</sup>, existem duas outras características que os diferenciam dos de primeira geração. Uma delas é o fato de que a lignina, separada na conversão bioquímica, pode ser utilizada para a produção de calor e de potência. A segunda diferença reside no fato de enquanto através de métodos termoquímicos produz-se apenas etanol, a conversão bioquímica pode produzir uma variedade de combustíveis com diferentes propriedades, incluindo combustíveis para aviação, bem como substitutos de gasolina e diesel. Apesar de sua eficiência, ainda há vários desafios associados aos biocombustíveis de segunda geração que precisam ser estudados, como por exemplo, a evolução tecnológica que os torne economicamente viáveis (UNEP, 2011).

Os resíduos das colheitas podem ser usados como matéria-prima de bioenergia de forma semelhante à forma como os resíduos nos setores de alimentos, rações e florestais são usados hoje para produzir biocombustíveis sólidos. Isto é crucial no caso dos biocombustíveis de primeira geração, onde o produto ‘principal’ representa apenas uma fração da biomassa usada para produção (GHEEWALA, 2011 apud UNEP, 2011).

O aproveitamento de resíduos e o processamento de subprodutos podem reduzir substancialmente a intensidade de água<sup>7</sup> na produção da matéria-prima de bioenergia. Ao mesmo tempo a produtividade ou eficiência da água aumenta (UNEP, 2011).

Alguns especialistas como: Berger e Finkbeiner (2010), Zomer et al., (2006) e Berndes, (2008) não são otimistas com relação a esta prospecção no uso da água. Aumentar a produção de bioenergia requer alta eficiência do uso da terra. Essas mudanças podem levar a um sistema de produção com alto rendimento que necessita mais fertilizantes, pesticidas e maior intensificação na irrigação, o que poderia colocar muita pressão sobre os recursos hídricos locais, aumentando a carga de poluição e colocando a oferta de água em risco. Berger e Finkbeiner (2010) defendem que em alguns locais deve haver compensações econômicas para incentivar as atividades de mitigação de mudanças climáticas e o uso sustentável dos recursos hídricos.

Na verdade, a disponibilidade de recursos hídricos é um potencial fator limitante para o aumento da produção de bioenergia. A água doce, que já é escassa em algumas regiões do

---

<sup>6</sup> Nestes, há uso de processo biológico no lugar de métodos termoquímicos na conversão.

<sup>7</sup> A intensidade da água na referida publicação é definida como a quantidade de água usada por unidade de bioenergia produzida. A recíproca da intensidade é chamada de produtividade ou eficiência da água e é dada pela bioenergia produzida por unidade de água usada (UNEP, 2011).

mundo, com as mudanças climáticas pode vir a se tornar mais escassa ainda, aumentando no futuro a proporção da população em risco de estresse hídrico. Há outros fatores, que ao lado das mudanças de clima e aumento de demanda por biomassa, podem colocar ainda mais pressão sobre os recursos hídricos, tais como: o aumento da população, a rápida urbanização e a mudanças nas dietas alimentares que levam a aumentos de demanda por produtos agrícolas.

O maior requerimento de água na produção de bioenergia está associado à fase de cultivo da biomassa. Por isso, características como umidade do solo e precipitação devem ser cuidadosamente avaliadas, dado que esses parâmetros são determinantes na adequação da cultura. É de extrema importância para a questão dos recursos hídricos a adequação do cultivo da biomassa usada na produção da bioenergia.

Além disso, a produção de matérias-primas de bioenergia e sua conversão em biocombustíveis sólidos, líquidos e gasosos para aquecimento, energia e transporte podem afetar drasticamente a qualidade da água em ecossistemas aquáticos, com impactos sobre a biodiversidade e a saúde humana. Dependendo de como um sistema de bioenergia está localizado e gerenciado, ele pode levar à deterioração ou melhorias na qualidade da água (UNEP, 2011).

Neste sentido, é importante uma avaliação de impactos da produção de bioenergia na quantidade e qualidade da água, de forma a entender melhor como a produção de bioenergia em larga escala pode influenciar a situação dos recursos hídricos. O presente capítulo descreve alguns indicadores usados na mensuração do uso da água na produção de bioenergia, além dos principais impactos quantitativos e qualitativos sobre o recurso resultantes desta produção e o papel do planejamento e gestão dos recursos hídricos na sustentabilidade do setor.

### **3.1 Indicadores para mensuração de uso da água na produção de bioenergia**

Para mensurar os impactos da produção de bioenergia sobre os recursos hídricos, serão considerados inicialmente alguns indicadores apresentados na literatura que auxiliam a métrica do uso da água em diferentes processos produtivos.

Alguns conceitos relativos a consumo de água serão descritos, a saber: '*Blue water*', '*Green water*' e '*Grey water*'. Seguindo Rockström et al. (2009), '*Blue water*' se refere à água dos rios, lagos, pântanos e aquíferos, que podem ser retiradas para irrigação e outros



usos humanos, enquanto a ‘*Green water*’ é a umidade do solo contida na zona não saturada, por decorrente da precipitação e disponível para as plantas.

A ‘*Grey water*’ refere-se à água que fica contaminada durante o processo de produção. Logo, ‘*Grey water use*’ pode ser considerada como o volume de água doce necessário para assimilar a carga de poluentes, com base em padrões de qualidade de água ambientais existentes.

Um dos indicadores muito usados é o chamado “*water footprint*” que segundo Falkenmark et al. (1999) baseia-se nos conceitos de *Blue* e *Grey water*. O site ‘*Water Footprint rede*’ define *water footprint* como: “A pegada hídrica direta de um consumidor ou produtor (ou um grupo de consumidores ou produtores) referente ao consumo de água doce e à poluição associados ao uso da água pelo consumidor ou produtor”.

Apesar de muito usado, esse indicador vem recebendo muitas críticas por não considerar as diferenças existentes no contexto local, diferenças essas que incluem principalmente as variações dinâmicas e espaciais da disponibilidade de recursos hídricos e o uso concorrente. Ou seja, os resultados dos métodos normalmente usados podem variar muito se for considerado o tipo de manancial, o estado anterior desse manancial bem como a localização e o tempo de uso em questão.

Outros indicadores associados aos conceitos já definidos foram identificados na literatura. São eles: ‘*Blue water Consumption*’, ‘*Blue water withdrawal*’ (ou apenas ‘*water withdrawal*’), *Green water consumption*, ‘*Life cycle water use*’ e o já mencionado ‘*Grey water use*’ (UNEP, 2011). Através do *Blue Water Consumption* é possível quantificar os impactos do uso sobre os ecossistemas, e os impactos desse uso sobre a saúde e o bem-estar humano, logo é uma métrica importante (PFISTER et al., 2009). O *Blue Water Consumption* é igual à retirada de água menos a quantidade de água que retorna para os corpos d'água, onde fica disponível para uso posterior. Muitas estimativas tentam quantificar as necessidades de água em sistemas de termelétricas, na produção de produtos agrícolas e também na produção de bioenergia, através da avaliação deste indicador (REI; WEBBER, 2008b; CHIU et al., 2009 apud UNEP, 2011).

*Blue water withdrawal* inclui toda a água retirada de massas de água superficiais ou aquíferos subterrâneos para uso industrial, uso agrícola ou doméstico, mas que não é totalmente usada pelo mesmo usuário. A diferença entre a retirada (*Blue water withdrawal*) e o consumo (*Blue water Consumption*) surge por causa do limite espacial selecionado. O escoamento de água (UNEP, 2011).

Perry et al. (2009) defendem que perdas em projeto de irrigação não são necessariamente perdas no sentido hidrológico. Portanto, para aumentar a eficiência da métrica, alguns trabalhos recentes vêm usando indicadores tanto de retirada de água quanto de consumo de água (MISHRA; YEH, 2011 apud UNEP, 2011).

O ‘*Green water consumption*’ refere-se à evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>). Para as culturas de sequeiro, a demanda por ET<sub>c</sub> é cumprida integralmente através da precipitação e do esgotamento da umidade do solo. O processo de irrigação, ou seja, a aplicação de ‘*blue water*’ ocorre em regiões e/ou períodos onde a ‘*green water*’ é insuficiente para atender a exigência ET<sub>c</sub> (UNEP, 2011). O ‘*Life cycle water use*’ concentra-se no desenvolvimento de métodos para quantificar o impacto do consumo de água em todas as fases do ciclo de vida de um produto sobre o ecossistema, considerando as diferenças espaciais. Trata-se da combinação de todos os indicadores de ‘*water use*’ incluindo ‘*blue*’, ‘*green*’ e ‘*grey use*’ com o objetivo de melhorar o desempenho da avaliação.

Considerando o processo de produção de bioenergia o indicador mais usado é o *blue water withdrawal*(BW). Há alguns estudos relevantes usando esse indicador. (KING; WEBBER, 2008) e (DOMINGUEZ-FAUS et al., 2009).

Pode-se destacar o estudo de caso ‘*Global assessment of bioenergy feedstock: options for enhancing water productivity through agronomic improvements and regional shifts in production.*’ A conclusão desse estudo foi que, em termos globais, mudanças para culturas mais eficientes em termos de uso da água poderiam, teoricamente, aumentar a produção bioenergética em cerca de 60%, sem prejudicar os consumidores de água a jusante. Além disso, mudanças no manejo das culturas poderiam melhorar a produtividade das culturas em 10-40%, dependendo do grau de melhoria (UNEP, 2011).

Referente ao indicador ‘*Water footprint*’ aplicado à produção de bioenergia, destacam-se os estudos de Gerbens-Leenes et. al, a saber ‘*Water footprint of bio-energy and other primary energy carriers*’ (GERBENS-LEENES et al., 2008a) e ‘*The water footprint of energy from biomass: A quantitative assessment and consequences of an increasing share of bio-energy in energy supply*’ (GERBENS-LEENES et al., 2008b). Esses estudos avaliam a pegada de água (*Water footprint* – WF) de bioenergia e outras fontes de energia primária. A pegada hídrica da biomassa é de 70 a 400 vezes maior do que o mesmo indicador das outras fontes de energia primária (excluindo energia hidrelétrica). Pode-se concluir que a tendência de aumentar a contribuição da energia a partir de biomassa trará, muito provavelmente, a necessidade de mais água.

### 3.2 Os Impactos na água da produção de bioenergia e o papel da gestão de recursos hídricos

Os estudos dos impactos na quantidade de água podem concentrar-se em parte da cadeia produtiva da bioenergia ou considerar todo o seu ciclo de vida. Energia e água são profundamente inter-relacionados e cada etapa do processo de produção de energia apresenta diferentes medidas de "*water footprint*".

A influência sobre os recursos hídricos depende não só de quanta água é usada no processo produtivo, mas de onde, quando e como a matéria-prima da bioenergia é produzida. Neste sentido, o indicador *Water footprint* e, mais em geral, a avaliação do LCA – *water life cycle use* – são considerados insuficientes em seu tratamento dos impactos ecológicos e sociais, para efeitos de tomada de decisão e mitigação dos efeitos nocivos.

O uso da água tanto na fase agrícola como na fase industrial de produção de bioenergia devem ser avaliadas localmente, porque a mesma atividade pode exigir quantidades diferentes de água em diferentes locais e em diferentes épocas, devido às variações climáticas e de outros fatores. Em casos onde o mesmo tipo de recurso (por exemplo, o fluxo do rio) é usado ou contaminado, o impacto dessa atividade pode variar muito, dependendo do contexto do uso, onde e quando ocorre, e o estado atual da base de recursos afetada (UNEP, 2011).

Os indicadores apresentados na última seção, às vezes não conseguem captar alguns impactos específicos ao local de interesse. Na avaliação de uma política ou um investimento relacionado com a expansão da bioenergia, os tomadores de decisão devem considerar vários aspectos locais que podem não ser refletidos pelos indicadores mencionados. As projeções de demandas setoriais individuais podem ter pouco impacto, mas o efeito cumulativo pode tornar-se problemático em regiões que apresentam rápida mudança ou até a ampliação de infraestrutura energética

Fingerman et al. (2010) acreditam que os efeitos localizados de um processo produtivo de bioenergia podem ser enganosos. O consumo de água para a conversão de biomassa representa menos de 1% total de água para muitos tipos de bioenergia já que o refino ocorre em uma área concentrada. No entanto, tem um efeito maior se considerada a produção da biomassa associada, que em geral utiliza uma maior quantidade dos recursos hídricos.

Mudanças indiretas no uso da terra foram recentemente reconhecidas como uma preocupação fundamental para o impacto de emissão de gases estufa no ciclo de vida da bioenergia (SEARCHINGER et al., 2008; HERTEL et al., 2010). Da mesma forma, a perturbação dos mercados de commodities globais, devido à produção de bioenergia, poderia levar a um impacto negativo sobre os recursos hídricos longe do local da atividade em questão. Este efeito ainda precisa ser estudado em profundidade.

A escassez de água para usos humanos não necessariamente deriva da escassez absoluta, mas em vez disso pode ser advinda de realidades sociais, como a desigualdade de acesso, barreiras à entrada, infraestrutura deficiente, falha institucional, e outras considerações que podem ser afetadas pela expansão da bioenergia. A qualidade da água também tem que ser considerada de uma forma integrada. De acordo com Perry e Vanderklein (1996), ela deve ser vista como parte de um quadro mais amplo, que inclui a hidrologia, química, biologia, geologia, uso da terra, a demografia e a atitude pública e política. A qualidade da água pode ser afetada por poluição química, biológica e físico-térmica dos sistemas de produção de bioenergia.

Os impactos sobre a qualidade da água provocados por culturas convencionais na produção dos biocombustíveis de primeira geração são similares aos de outras culturas agrícolas. Impactos diretos na qualidade da água surgem de poluição devido ao escoamento da produção agrícola intensiva que emprega pesticidas (por exemplo, herbicidas, inseticidas, fungicidas e fertilizantes), juntamente com outras práticas agrícolas indesejáveis como o plantio em solos inadequados (UNEP, 2011).

Pesticidas mal armazenados representam uma ameaça à saúde humana e ao meio ambiente, especialmente quando eles são armazenados em áreas urbanas ou perto de corpos d'água. Agricultores com conhecimento insuficiente da gestão de pesticidas normalmente usam os produtos químicos mais tóxicos e ambientalmente persistentes. Esse problema acontece normalmente nos países em desenvolvimento. Outra questão importante é a ausência de normas rigorosas, ou falta de aplicação das normas existentes (EDDLESTOON et al., 2002 apud UNEP, 2011).

Os fertilizantes são usados para incrementar a produção agrícola. Em particular, nitrogênio e fósforo podem acabar chegando aos cursos de água e aquíferos, gerando impactos significativos sobre a qualidade da água do rio e das águas subterrâneas, podendo

até provocar a eutrofização<sup>8</sup> dos corpos d'água (ONGLEY, 1996). Altas concentrações de nutrientes ainda podem contribuir para o crescimento de algas, levando ao desequilíbrio dos ecossistemas.

Os impactos da irrigação incluem o escoamento de sais que pode levar a salinização das águas superficiais, o escoamento de pesticidas e fertilizantes para as águas superficiais que podem inclusive contaminar algumas espécies de peixes usados para alimentação. Práticas agrícolas insustentáveis, como o cultivo de solos inadequados, pode levar a enxurrada de sedimentos nos corpos d'água, causando impactos físicos como o assoreamento dos leitos dos rios, bem como os químicos – através da absorção de produtos químicos orgânicos, como o fósforo, e de pesticidas, em partículas de sedimento – e, conseqüentemente, a perda de *habitats* (ONGLEY, 1996).

Além da fase de produção da biomassa, existe a fase de conversão da biomassa em biocombustível que também contribui para a poluição do corpo d'água. Os impactos sobre a qualidade da água associadas com descargas na fase de conversão são causadas principalmente pela poluição química, biológica e térmica dos sistemas aquáticos. Alguns dos impactos associados com a conversão de matérias-primas de bioenergia incluem os efluentes industriais (efeitos físicos e químicos) e a aplicação de águas residuais na agricultura (UNEP, 2011).

A vinhaça da cana, um subproduto da produção do etanol, é utilizada como fertilizante no Brasil e em outros países produtores de cana de açúcar. O resíduo da produção do biocombustível obtido da cana não é usado como alimentação de animais, ao contrário, por exemplo, do que é advindo do milho. Isto porque tem baixo valor nutricional e grande quantidade de potássio, assim normalmente é usado como fertilizante, num processo conhecido como fertirrigação<sup>9</sup>. Com o aumento da demanda por bioetanol e associado aumento da produção, vêm aumentando também a prática da fertirrigação. O impacto na qualidade da água deve ser considerado diante dos benefícios da aplicação da vinhaça. Esta prática requer controle, visando evitar possíveis impactos ambientais que dependem do adequado manejo do efluente (UNEP, 2011).

---

<sup>8</sup> Eutrofização processo de concentração gradativa de matéria orgânica acumulada nos ambientes aquáticos que promove o crescimento excessivo das plantas aquáticas prejudicando os corpo d'água (THOMANN ; MUELLER, 1987 apud VON SPERLING 2005).

<sup>9</sup> Fertirrigação é a aplicação de fertilizantes através da água de irrigação (EMBRAPA, 2005).

Os volumes de água captada, consumida e contaminada são mensurados de forma a se chegar a uma medida das necessidades de água de um produto de bioenergia. Estes valores são ferramentas úteis para a gestão e planejamento de recursos hídricos em nível local, regional e global. Alguns especialistas veem o aumento da demanda por bioenergia como uma oportunidade para implementar uma gestão mais sustentável para a questão da água. Por exemplo, algumas culturas bioenergéticas são tolerantes à seca e relativamente eficientes em termos de água, podendo ser cultivadas em áreas que não são adequadas para culturas convencionais; Algumas podem ser cultivadas como filtros de vegetação para o tratamento de águas residuais; plantas de cobertura de solo e ou faixas de vegetação podem ser empregadas de forma a limitar a erosão, reduzir evaporação, aumentar a infiltração e reduzir os riscos de deslizamentos de terra (BERNDES, 2008).

A produção de bioenergia sem dúvida deve aumentar a pressão sobre a disponibilidade e o uso de água. Para enfrentar a crescente escassez, tanto em quantidade como em qualidade, necessita-se da implementação de políticas públicas de recursos hídricos, tanto na fase de produção da biomassa quanto na fase de conversão de energia, específicas para o setor acreditam os autores de UNEP (2011).

Segundo os mesmos autores, as políticas de recursos hídricos utilizadas atualmente são semelhantes às já utilizadas para produção agrícola e industrial, mas há uma necessidade de políticas específicas para o setor, dadas as inter-relações existentes com políticas do setor de energia e mudanças climáticas, e a fragilidade dos direitos aos sistemas de recursos hídricos existentes, em geral, especialmente àqueles associados a municípios em regiões áridas e semiáridas. A água para bioenergia poderá vir a ser transferida de outros setores.

Neste contexto, as políticas públicas de recursos hídricos devem ser capazes de assegurar uma alocação de água adequada entre os setores, evitando uma situação em que uma potencial contribuição para o desafio das energias renováveis venha a transferir impactos negativos, ambientais e econômicos para as regiões produtoras, agravando já complexos cenários de escassez de água.

Os possíveis impactos da provável expansão da produção de biocombustíveis em países em desenvolvimento exigem, pois, maior atenção em nível internacional em abordagens para políticas públicas, que ajudem a garantir direitos de propriedade à terra e água aos mais pobres. Resultados de modelos econômico-integrados são capazes de apoiar a decisão no desenho de instrumentos de gestão de demanda eficazes, como por exemplo, a

precificação de recursos hídricos, e outros, que induzam uma alocação economicamente ótima (MORAES et al., 2011).

A gestão de recursos hídricos é inerentemente complexa<sup>10</sup>. Além disso, as políticas de recursos hídricos são implementadas em diferentes escalas, desde o nível local, regional e nacional podendo chegar ao global. Outro fato é que algumas políticas de recursos hídricos apoiam os direitos de uso comum (*customary use rights*), que ainda estão em uso em muitos países em desenvolvimento, enquanto outros são baseados em leis e regulamentos legais. Assim, há vários quadros legais e normativos coexistentes, e a dinâmica entre as políticas oficiais e não-oficiais variam constantemente (MORAES et al., 2011).

As necessidades de água na produção de biomassa em muitas regiões produtoras devem afetar as políticas de recursos hídricos, embora alguns sistemas de direitos sobre os recursos hídricos funcionem em praticamente qualquer configuração onde a água é escassa. Os sistemas que não estão bem fundamentados em base legal tendem a ser mais vulneráveis à expropriação. Se os direitos de propriedade sobre a água ou a terra não forem estabelecidas por meio legal ou se os direitos consuetudinários não forem reconhecidos pelas autoridades governamentais, usuários locais podem perder quando as plantações de biocombustíveis forem estabelecidas (MORAES et al., 2011).

Portanto, arranjos de governança internacionais e códigos de conduta são importantes para apoiar pequenos proprietários rurais nos países em desenvolvimento, que muitas vezes não têm direitos assegurados de propriedade à terra ou água para evitar a potencial expropriação pelo investimento direto estrangeiro em plantações de matéria-prima. Esses códigos de conduta não só devem incluir uma avaliação dos impactos do investimento direto estrangeiro sobre os habitantes locais, mas também sobre os recursos naturais que eles estão utilizando, principalmente, a terra e a água (UNEP, 2011).

Outra questão fundamental é a consideração dos possíveis efeitos das mudanças climáticas no ciclo hidrológico quando se planeja a produção de bioenergia. Isso porque as mudanças climáticas podem alterar a frequência, a intensidade e duração dos eventos de precipitação que afetam o abastecimento de água, bem como mudanças no escoamento que

---

<sup>10</sup> A variedade de fontes, tais como: precipitação, águas subterrâneas e de superfície. A variabilidade temporal e espacial entre oferta e demanda. Os mais diversos tipos de uso. A combinação de vários usos consuntivos e não consuntivos, resultando em fluxos de retorno e passíveis de reutilização, muitas vezes com níveis alterados de qualidade da água, são fatores que aumentam a complexidade de tal gestão.

devem reduzir a disponibilidade de água em rios e nos aquíferos em diversas regiões do mundo (World Water Assessment Programme, WWAP, 2009).

O papel da gestão de recursos hídricos diante de mudanças climáticas deve ser decisivo. Recentemente, em estudo realizado pelo Banco Mundial para a Agência Nacional de Águas, mostrou que a bacia do Piranhas-Açu localizada nos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, no Nordeste do Brasil, apresenta projeções de aumento médio de evapotranspiração (média anual de 5-15%). Estes aumentos, segundo o estudo (MARTINS et al., 2013), levariam a reduções no escoamento superficial. Estes resultados mostram uma maior escassez de água no futuro nesta bacia, com impactos importantes na alocação de recursos hídricos.

A avaliação econômica do estudo foi feita considerando-se dois setores da economia da região: Irrigação e Abastecimento Urbano. Identificou-se resultados para a bacia do rio Piranhas-Açu, em termos econômicos, relativos à manutenção da atual estratégia de alocação de recursos hídricos (prioridade absoluta às demandas urbanas em relação à demanda de irrigação). Sob mudanças climáticas, com menores disponibilidade de recursos hídricos, haveria uma redução no valor da produção da agricultura irrigada de 24 milhões de dólares por ano, em média, o que representa uma redução de 41% no retorno atual econômico da agricultura irrigada, com pouco ou nenhum benefício adicional para o setor de abastecimento urbano (MARTINS et al., 2013).

Por outro lado, ao colocar uma maior prioridade na agricultura irrigada (mas ainda menor do que o abastecimento urbano) resultados mostraram um aumento de seis milhões de dólares por ano, em média, o que representa um ganho para a agricultura irrigada, com poucas ou quase nenhuma perda para o abastecimento urbano. Resultados como esses indicam que futuras compensações provavelmente deverão existir entre os setores e que estratégias de alocação mais flexíveis podem tornar o Nordeste do Brasil menos vulnerável a um aumento de demanda, bem como aos impactos de mudanças climáticas (MARTINS et al., 2013).

### **3.3 Link entre bioenergia e água no Brasil**

O cultivo de cana no Brasil sob irrigação vem se ampliando bastante, especialmente na região Nordeste. A cana-de-açúcar tem um dos maiores requerimentos de água quando comparado com outras culturas e, nesta região, a prática de irrigação é fator determinante. A região é responsável por cerca de 10% da produção total de cana brasileira e além de ser um



dos grandes produtores, tem grande potencial de expansão, sendo a oferta de água nesta região essencial para esta ampliação, dado que no Nordeste existe um extenso período de estiagem.

Estudo realizado pela Embrapa no interior do Piauí, aponta para uma produtividade de cana pelo menos duas vezes maior se for adicionada mais água à planta em relação aos valores atualmente usados. Os resultados deste estudo mostram que a região Nordeste do Brasil pode aumentar a produção de etanol, aumentando a quantidade de água aplicada na cultura da cana (ANDRADE et al., 2009). Martinez et al. (2013) relata um exemplo, no Piauí, em que a área irrigada de um engenho (Engenho Coruripe) cresceu de 2.700 ha para os atuais 25.000 ha em 25 anos.

Na região Centro-oeste, nova fronteira na produção de cana no Brasil, a irrigação está se tornando mais comum, associada com irrigação suplementar ou para restaurar a umidade do solo na capacidade de campo ou ainda para fornecer as necessidades de água durante períodos de estresse hídrico. Os volumes de irrigação não são elevados, variando de 100 a 200 mm por ano, e em grande parte usam a vinhaça em vez de água doce segundo UNEP (2011).

A região Sudeste detém 64% do total de área plantada com cana-de-açúcar no Brasil em 2012 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE, 2013). Segundo o Censo Agropecuario de 2006, cerca de 28% do total da área irrigada do país com a produção agrícola<sup>11</sup> foi destinada para produção de cana-de-açúcar. Desta cana irrigada, 46% está na região Sudeste, 32% no Nordeste e 19% no Centro-Oeste (IBGE, 2006). O Estado de São Paulo, um dos pioneiros na utilização da irrigação nos canaviais, tem a maior produtividade por hectare e depende da técnica de irrigação.

Na região Sudeste a captação de água para ser usada na indústria, ou seja, na conversão da biomassa para o etanol, foi substancialmente reduzida nos últimos anos, como resultado da legislação ambiental e a implantação gradual de sistemas de cobrança de recursos hídricos, os quais seguiram a lei 9.433/1997 (BRASIL, 1997).

A retirada da água, que estava em torno de 15-20 m<sup>3</sup>/tonelada de cana, há aproximadas três décadas, devido ao uso de água em tecnologia de circuito aberto, está atualmente em cerca de 1,85 m<sup>3</sup>/tonelada. Esta redução foi obtida através da reciclagem de água e outras medidas para melhorar a eficiência do uso do recurso. Outras melhorias nos sistemas de

---

<sup>11</sup> Por Produção agrícola entende-se lavouras permanente e temporária. Exclui-se Produção de sementes, mudas e outras formas de propagação vegetal; Pecuária e criação de outros animais; Produção florestal - florestas plantadas (IBGE, 2006).

tratamento de esgoto, que permitem o aumento da reutilização da água, estão levando o setor em direção à meta de retirada de água para 1,0 m<sup>3</sup>/tonelada de cana (ELIA NETO; SHINTAKU, 2010 apud UNEP, 2011).

O Estado de São Paulo, que possui a maior concentração de fábricas de etanol e açúcar no Brasil, teve o uso da água pelo setor sucroalcooleiro (durante a conversão) como responsável por cerca de 13% do consumo total de água em todo o estado e cerca de 40% de uso por todo o setor industrial em 1990.

A conversão da cana em etanol, no Estado de São Paulo tem aumentado consideravelmente, mas ao mesmo tempo, tem reduzido seu consumo relativo de água. Ele já responde por 8% do consumo total de água em todo o estado e 25% de uso do setor industrial, e sua participação de consumo total de água em todo o estado deverá diminuir ainda mais para menos de 1% em 2015 (ELIA NETO, 2010a apud UNEP, 2011).

A questão do impacto da produção de bioenergia na qualidade da água no Brasil também é importante. Problemas com a contaminação das águas pela vinhaça tornaram-se evidentes apesar da proibição da descarga direta do efluente nos rios. Os dados de 1992 da Agência Paulista de Proteção Ambiental (CETESB) destacam níveis de DBO<sup>12</sup> equivalentes às de uma cidade de 2 milhões de pessoas, com base em medições de 54 gramas de DBO por dia. Assim, apesar da proibição de descargas de efluentes a partir de 1978, e da implementação de uma série de medidas para reduzir as emissões (MOREIRA, 2007), os impactos negativos sobre a qualidade da água vinham permanecendo<sup>13</sup>.

De acordo com Gunkel et al. (2007), todos os rios da região costeira do Estado de Pernambuco, no nordeste do Brasil são afetados pelo cultivo da cana<sup>14</sup>. Os efeitos são muitas vezes ampliados, já que as águas superficiais desses rios também fornecem água para as cidades e são geralmente represados tanto para abastecimento urbano de água como para

---

<sup>12</sup> DBO – demanda bioquímica de oxigênio.

<sup>13</sup> Fertirrigação representa um perigo para a qualidade da água de superfície quando os nutrientes e matéria orgânica alcançam a água através de caminhos difusos, ou acidentalmente através de vias diretas de instalações de armazenamento de vinhaça e de transporte (GUNKEL et al., 2007). Elevada demanda bioquímica de oxigênio (DBO) promove a depleção de oxigênio dissolvido (OD) na água e muitas vezes causam a hipóxia. Altas concentrações de nutrientes nestes efluentes também contribuem para os problemas de proliferação de algas e eutrofização das águas superficiais.

<sup>14</sup> Fertirrigação com Vinhaça tem sido praticada em Pernambuco, Nordeste do Brasil, desde 1981, quando uma lei estadual que proíbe a eliminação direta de águas residuais de cana em águas de superfície foi introduzida (GUNKEL et al., 2007).

geração de energia elétrica. Os reservatórios também contribuem para a deterioração da qualidade da água devido à eutrofização.

Regulamentações mais rígidas provavelmente devem reduzir os impactos adversos da fertirrigação (SMEETS et al., 2008). No entanto, a capacidade de aplicação dessa regulamentação bem como as características de poluição não pontuais de liberação de efluentes tornam o monitoramento difícil. Portanto, a identificação de novas opções de uso da vinhaça (para a produção do biogás) deve ser incentivada (MORAES et al., 2011).

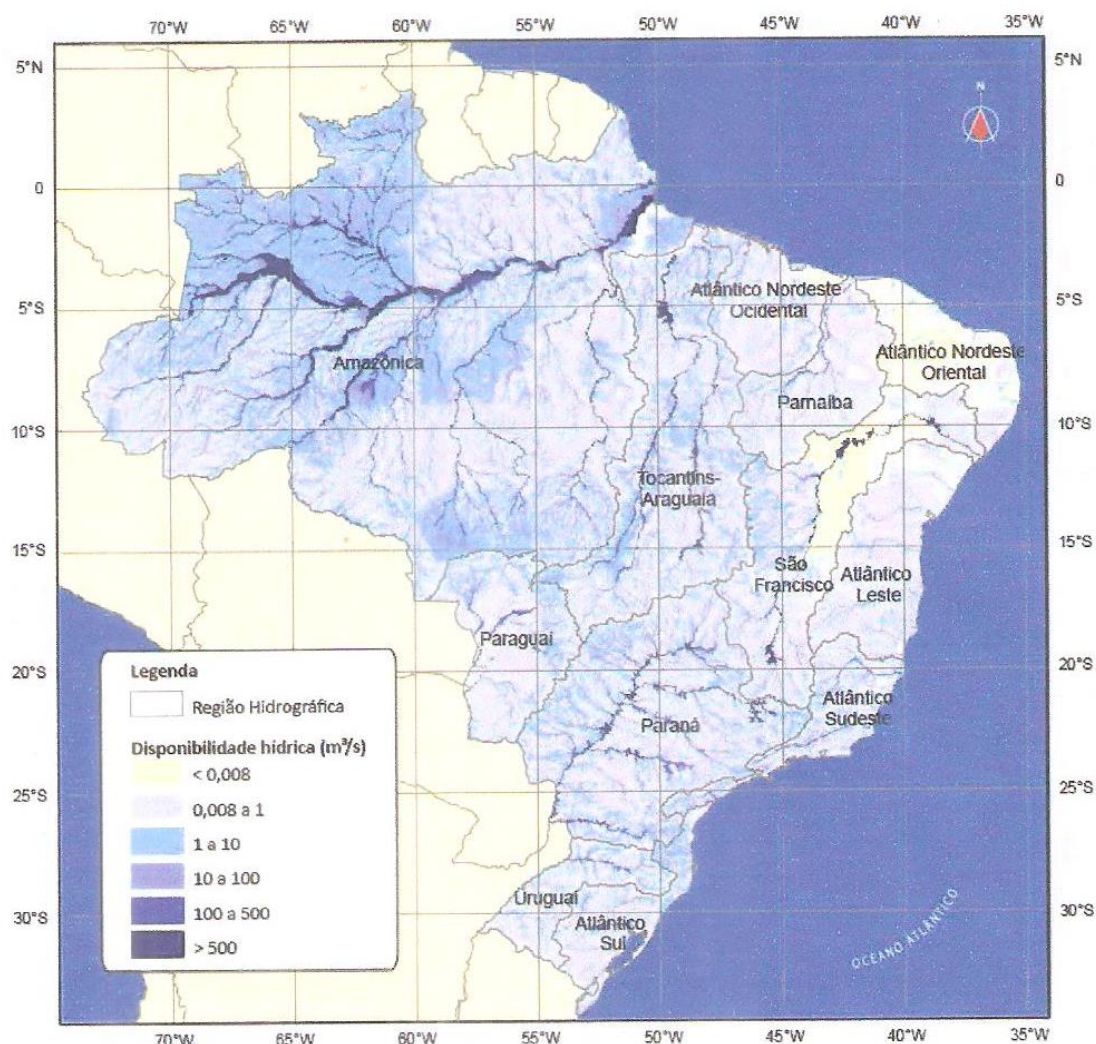
Neste contexto, a crescente demanda por bioenergia pode ser uma oportunidade de melhoria no planejamento e gestão de recursos hídricos também no Brasil. O uso de modelos econômicos de simulação e otimização, bem como combinações destes modelos pode ajudar a subsidiar políticas de alocação de recursos hídricos, ao identificar apropriadamente *trade-offs* entre os diversos usos (HAROU et al., 2009).

Combinar impactos na quantidade e qualidade da água com as consequências socioeconômicas de uma produção de biocombustíveis em larga escala deve ajudar a apoiar a formulação de políticas públicas adequadas. Estas devem, ao mesmo tempo, incentivar o desenvolvimento do setor e assegurar a sustentabilidade, evitando efeitos adversos em longo prazo, especialmente sobre as populações mais pobres (UNEP, 2011).

#### 4 ÁGUA PARA AGRICULTURA IRRIGADA NO BRASIL

O Brasil tem uma posição privilegiada no cenário mundial, pois detém cerca de 12% da água doce disponível na superfície do planeta. No entanto, a distribuição não é uniforme em todo o território nacional. Como exemplo, a Bacia Amazônica detém cerca de 80% da disponibilidade superficial como ilustra a Figura 1, mas possui a menor densidade demográfica do país. Em 2010, a população era de 9.694.728 habitantes (5,1% da população do País) o que se traduz numa densidade demográfica de apenas 2,51 hab/km<sup>2</sup> (ANA, 2014b).

Figura 1-Disponibilidade de água de superfície estimada para o Brasil



Fonte: ANA, 2012.

O balanço entre oferta e demanda de recursos hídricos foi estimado para o Brasil em 1995 em 1%, com projeções de aumento para 3-5% em 2075, dependendo do cenário de

irrigação (BERNDES, 2002). Os requerimentos de água referem-se às necessidades de água para irrigação, indústria e abastecimento humano. A proporção de 25% ou mais é geralmente um indicador de estresse hídrico. Para efeito de comparação: o mesmo balanço na Alemanha foi calculado em 38% em 1995 e 112-138% em 2075. Estes números indicam que o Brasil tem uma situação confortável em termos de disponibilidade agregada, no entanto em níveis regionais a escassez de recursos hídricos pode ser observada.

Especificando demandas por setor, considerando os usos consuntivos, a agricultura irrigada é a maior usuária, demandando cerca de 54% da vazão de retirada total em 2010. Considerando a vazão consumida total, esse percentual é ainda maior, cerca de 72%. O restante da vazão de retirada em 2010 foi distribuído pelos outros usos da seguinte forma: abastecimento urbano (22%), demanda industrial (17%), criação de animais (6%) e demanda rural (1%) (ANA, 2012).

Comparando os números da agricultura irrigada no Brasil com o cenário internacional é possível perceber o potencial de expansão da atividade no país. No cenário mundial, 44% do total da produção de alimentos provém de apenas 18% da área irrigada, os demais 56% da produção são provenientes de métodos tradicionais de agricultura sem irrigação que ocupam 82% da área colhida. No Brasil, apenas 5% da área colhida é irrigada, o que corresponde a 16% do total da produção de alimentos (BRASIL, 2014c).

A Região Sudeste concentra a maior parte das áreas irrigadas do país com 37% do total, seguida pelas regiões Sul com 27%, Nordeste com 22%, Centro-Oeste com 12% e Norte com 2%. Apesar de ser uma região naturalmente seca, e não sendo uma das mais irrigadas, a Região Nordeste produz cerca de 30% da produção agropecuária nacional, ficando atrás apenas da Região Sudeste (54%), o que demonstra um grande potencial para a irrigação nessa região (IBGE, 2006).

A Região do Vale do São Francisco é um exemplo da possibilidade de mudanças que a irrigação pode produzir na Região Nordeste. O Vale encontra-se no sertão nordestino, região semi-árida entre os Estados da Bahia e de Pernambuco, mas hoje é um dos principais pólos de fruticultura irrigada do Brasil. Atualmente são mais de 30 mil hectares irrigados, com 700 quilômetros de tubos, mais de 156 quilômetros de canais e cerca de 2.600 produtores, gerando mais de 100 mil empregos diretos.

De acordo com a Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco (CODEVASF), cerca de um milhão de toneladas de frutas são produzidas por ano na região do Vale do São Francisco, 70% dessa produção é destinada para mercado interno, e

aproximadamente 30% da produção destina-se ao mercado externo, o que representa praticamente a metade do total das exportações brasileiras de frutas (COSTA, 2012). A quantidade produzida de uva (lavoura temporário que apresentou o maior crescimento no período) dos municípios que compõem a região, segundo a Produção Agrícola Municipal – PAM do IBGE, aumentou cerca de 827% de 1990 para 2013 (IBGE, 2013).

Os dados de uso da água para a Agricultura Irrigada no Brasil apresentam variações no que efetivamente está sendo medido, no período e na fonte consultada, tornando difícil uma verificação e comparação de valores. Ademais, projeções futuras devem considerar as mudanças de temperatura média e precipitação previstas por cenários climáticos e os seus impactos em requerimentos de água para irrigação, devido a alterações de evapotranspiração<sup>15</sup> das culturas.

A ANA publicou para 2006 o valor de vazão de retirada para irrigação de 26.920 Milhões de m<sup>3</sup>/ano. O modelo estendido desenvolvido neste trabalho (incluindo as restrições de disponibilidade hídrica) para o cenário atual (2007) estimou a água requerida para agricultura irrigada, conforme será visto a seguir num total de 24.390 Milhões de m<sup>3</sup>/ano o que é um valor de mesma ordem de grandeza dos dados da ANA. Essa estimativa é um pouco menor como esperado, já que o presente trabalho considera apenas as nove maiores culturas, enquanto que a ANA considera todas as culturas irrigadas.

A água requerida no ano (milhões de m<sup>3</sup>) para a irrigação incorporada no modelo estendido foi obtida a partir da agregação e regionalização de coeficientes técnicos de uso direto da água fornecidos por cultura, município e mês na ‘Matriz de Coeficientes Técnicos para os Recursos Hídricos no Brasil’ (FUNARBE, 2011) para as mesorregiões consideradas no modelo original.

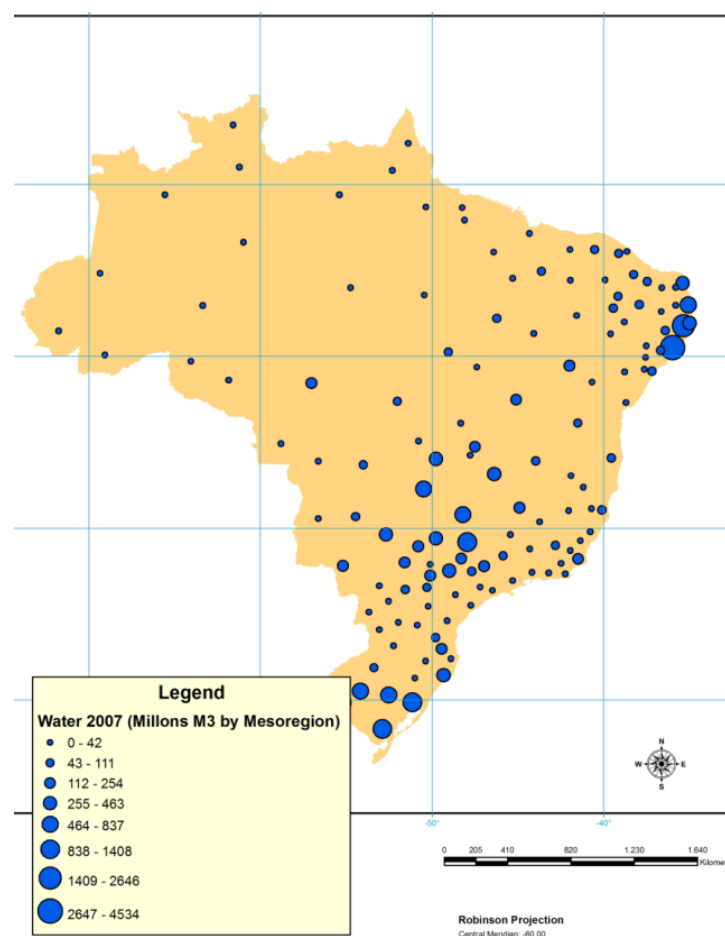
As mesorregiões são subdivisões dos estados brasileiros, que congregam diversos municípios de uma área geográfica com similaridades econômicas e sociais (IBGE, 2013). Sabendo que as mesorregiões são conjuntos de municípios foi possível estimar os coeficientes por mesorregião conforme explicitado no capítulo 5. O total de água requerida para irrigação no Brasil a partir da agregação desses coeficientes (ver seção 5.4) foi de 24.390 Milhões de m<sup>3</sup>/ano para o ano de 2007 (ano base do modelo original que foi estendido nesse trabalho).

---

<sup>15</sup> Evapotranspiração: expressa a ocorrência simultânea da evaporação e da transpiração de uma comunidade vegetal de pequeno porte que cobre totalmente o solo (THORNTHWAITTE, 1948).

Para representar a concorrência entre a cana-de-açúcar e as demais culturas pelos fatores terra e água, inclui-se além da área de pasto, as nove maiores culturas em termos de área plantada e quantitativo de produção no país, a saber: arroz, algodão, feijão, milho, trigo, mandioca, soja, sorgo além da cana-de-açúcar. A distribuição da água requerida para a agricultura irrigada assim obtida (considerando apenas as nove culturas) pode ser vista na Figura 2.

Figura 2-Distribuição espacial da água usada para irrigação considerando as maiores culturas no Brasil em 2007 por mesorregiões



Fonte: Funarbe (2011).

A partir dos coeficientes técnicos (FUNARBE, 2011) pôde-se obter o requerimento de água por cultura (das nove consideradas pelo modelo) para o ano de 2007 (ano base) em cada uma das regiões no Brasil (ver Tabela 1).

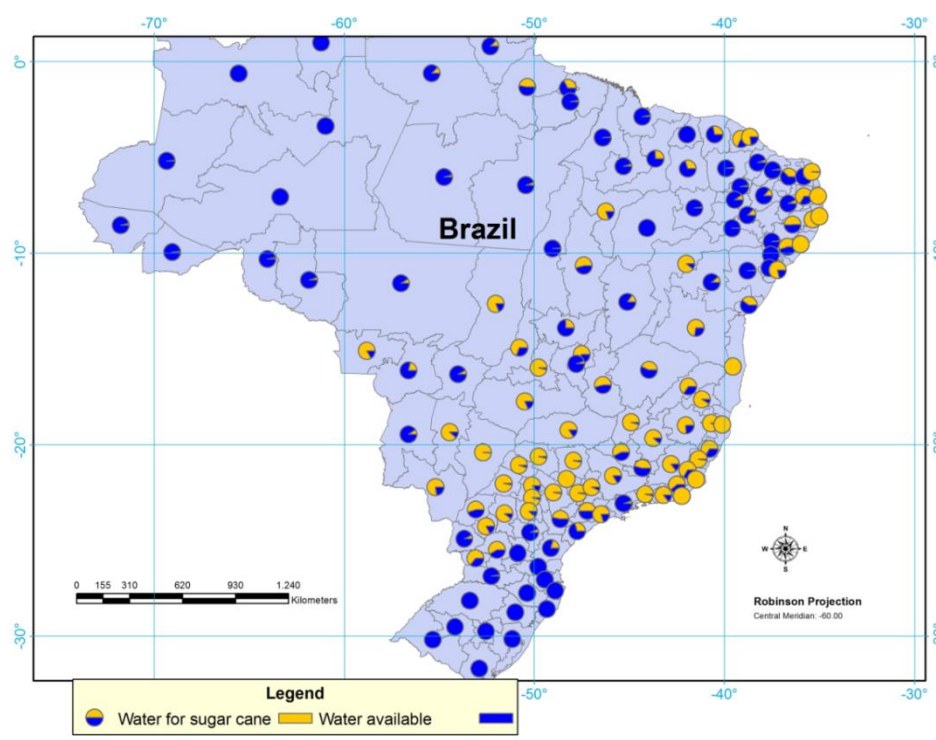
Tabela 1-Água usada na irrigação pelas maiores culturas no Brasil para o ano de 2007 (Milhões m<sup>3</sup>)

| Culturas       | Norte | Nordeste | Sudeste | Sul     | Centro-Oeste | Total           |
|----------------|-------|----------|---------|---------|--------------|-----------------|
| Cana-de-açúcar | 26,1  | 8.446,7  | 4.369,4 | 117,9   | 1.619,2      | <b>14.579,2</b> |
| Arroz          | 147,4 | 330,4    | 55,1    | 7.301,4 | 50,1         | <b>7.884,5</b>  |
| Milho          | 19,8  | 254,2    | 215,6   | 10,1    | 167,1        | <b>666,7</b>    |
| Soja           | 13,4  | 120,2    | 114,2   | 45,1    | 204,5        | <b>497,3</b>    |
| Feijão         | 6,0   | 273,5    | 102,8   | 0,5     | 57,0         | <b>439,8</b>    |
| Mandioca       | 19,3  | 123,7    | 8,0     | 2,5     | 3,2          | <b>156,8</b>    |
| Algodão        | 0,0   | 81,0     | 9,8     | 0,1     | 43,0         | <b>134,0</b>    |
| Sorgo          | 0,0   | 39,3     | 32,4    | 0,0     | 6,7          | <b>78,5</b>     |
| Trigo          | 0,0   | 0,0      | 0,1     | 0,1     | 0,1          | <b>0,2</b>      |

Fonte: Estes dados foram calculados com base nos coeficientes técnicos e na área irrigada publicados pela FUNARBE (2011).

Para o ano de 2007 observa-se que do total de 24 bilhões de m<sup>3</sup> cerca de 14 bilhões de m<sup>3</sup> foram requeridos pela cana-de-açúcar, e deste cerca de 8 bilhões de m<sup>3</sup> só na região Nordeste. A Figura 3 apresenta o percentual da água utilizada pela cana em relação a água total utilizada para irrigação.

Figura 3- Água para Irrigação e para Irrigação da Cana 2007



Fonte: Funarbe (2011).

A partir da Figura 3 é possível perceber que no Nordeste e no Sudeste, maiores produtores de cana-de-açúcar, praticamente, toda água utilizada na irrigação é utilizada na produção de cana.



Pode-se observar, ainda, a distribuição das culturas irrigadas (através das áreas) ao longo do território nacional na Figura 4. Avaliando a área plantada, também percebe-se o destaque para Cana-de-açúcar.

Figura 4- Distribuição das maiores culturas por área irrigada no Brasil (2007)



Fonte: Elaboração com base nos dados por município da Funarbe (2011).

A cana-de-açúcar é uma cultura com alto requerimento de água. Segundo Herrera-Martinez et al. (2013), a demanda por água é estimada entre 1.100 mm e 1.500 mm com uma taxa de evapotranspiração de 4 a 7 mm/dia. Porém, esse valor varia entre as regiões do Brasil, que apresentam diferentes condições climáticas e de produtividade na cultura da cana-de-açúcar.

Desde os anos 70 (início do Proálcool) até 2007, a produtividade da indústria da cana-de-açúcar no Brasil aumentou 130% devido, principalmente, ao desenvolvimento tecnológico agrícola, o que inclui novas variedades e o aumento de utilização de máquinas e implementos no manejo da cultura. No entanto, essa trajetória de crescimento vem se revertendo na última década. Consequência de problemas conjunturais, como baixa renovação nos canaviais e

adversidades climáticas, bem como de problemas estruturais como a estagnação tecnológica no setor (NYKO et al., 2013).

Segundo Nyko et al. (2013), a expectativa de expansão da área cultivada de cana-de-açúcar, de 8,5 milhões de hectares em 2012 para cerca 14 milhões<sup>16</sup> de hectares em 2030, vai requerer alterações significativas em todo o processo de produção. Algumas dessas questões são consenso, como adequar o sistema de mecanização a uma prática mais sustentável, melhorar a difusão das novas tecnologias, aumentar a renovação nos canaviais, etc. Outras questões associadas à produtividade da planta se mostraram significativas e polêmicas, como é o caso da irrigação da cana-de-açúcar.

Alguns especialistas afirmam que a irrigação deve ser incentivada, outros defendem que não, por considerar que seria a variedade da cana mais resistente ao déficit hídrico o mais indicado para receber incentivo, quer seja no plantio nas áreas de expansão, quer seja por problemas climáticos.

Mesmo os que defendem o incentivo a irrigação da cana não desconsideram as questões como o período de seca e a disponibilidade de água. A irrigação na cana-de-açúcar é uma tecnologia bem inicial em sua curva de aprendizagem (NYKO, 2013). Em 2006 o total de área plantada no cultivo da cana era de 6.390.474 hectares em todo território nacional (IBGE, 2013); destes apenas 1.071.349 hectares usavam algum tipo de irrigação na cultura de cana-de-açúcar, cerca de 17% (IBGE, 2006).

Mesmo assim, em percentual em relação à área plantada, a cana-de-açúcar apresenta um dos maiores em relação às demais culturas irrigadas. Já no Nordeste, o uso da irrigação na cultura da cana-de-açúcar é fator essencial para o crescimento, desenvolvimento e aumento de produtividade da cultura (SOUZA et al., 2012).

Segundo Inman-Bamber e Smith (2005) apud Souza et al. (2012) a variabilidade temporal das condições de umidade do solo, consequência da irregularidade das chuvas, é o fator que exerce maior peso na oscilação dos rendimentos da cultura de cana-de-açúcar. Portanto, a questão irrigação é fator fundamental no aumento de produtividade da cana, principalmente em áreas em que há irregularidade de chuvas ao longo do ano, como no Nordeste.

---

<sup>16</sup> O modelo original sem a restrição de água estima para 2030, 19 milhões de hectares.

Identificam-se três tipos de irrigação utilizados na cultura de cana-de-açúcar na Região Nordeste. Aspersão convencional, sistemas de irrigação mecanizados como autopropelidos, pivô central, pivô rebocável e linhas laterais móveis e a Irrigação por gotejamento. A aspersão convencional ainda predomina na região Nordeste onde há declives elevados, devido à facilidade de manejo. Os sistemas de irrigação mecanizados são usados nos tabuleiros costeiros da região Nordeste e representa grande aumento de produtividade. A irrigação por gotejamento superficial é incipiente. Entretanto, tem-se obtido produtividade de até 190 t/ha na região Nordeste com a irrigação por gotejamento, bem superior à produtividade média brasileira na safra 2010/2011, que foi de 77,4 t/ha (SOUZA et al., 2012).

Cada método apresenta características peculiares e podem ser adaptados aos mais diferentes tipos de situação. Dessa forma, a escolha dos sistemas de irrigação apropriados a cada tipo de situação e condições da área pode interferir de modo positivo ou negativo no seu uso. Obviamente os custos da irrigação variam de acordo com o sistema utilizado e as lâminas aplicadas. Em um estudo realizado em Alagoas, Cardozo (2005) aponta que os custos com irrigação, dependendo do sistema de irrigação e da lâmina aplicada, podem variar entre 500 R\$/ha e 7.500R\$/ha.

Experimentos realizados pela empresa brasileira de pesquisa agropecuária (EMBRAPA) em uma usina de cana-de-açúcar, localizada no Estado do Piauí, demonstraram o potencial de irrigação na Região Nordeste do Brasil: Segundo esse estudo, com algumas mudanças no processo de irrigação<sup>17</sup> os rendimentos da cana-de-açúcar podem aumentar mais de 2 vezes (ANDRADE et al., 2009).

Com base neste experimento, Martínez et al. (2013) simularam alterações na produção de etanol dado aumentos na produtividade da cultura. Para tanto foi considerado dois parâmetros: métodos de irrigação e melhoria das espécies de cana. A conclusão é que para 2020 o valor adicionado gerado pelo setor de cana-etanol na região Nordeste passaria de 2,8 bilhões de dólares para 4 bilhões de dólares no primeiro cenário e 9,4 bilhões de dólares do segundo cenário<sup>18</sup>, quando a área fosse expandida largamente. Segundo os autores a região

---

<sup>17</sup> O estudo da Embrapa conclui que a irrigação e fertirrigação da cana por gotejamento subsuperficial com 306 mm de irrigação, 59 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio e 35 kg ha<sup>-1</sup> de potássio proporciona rendimento máximo de colmos (137,9 t ha<sup>-1</sup>) e açúcar (20,3 t ha<sup>-1</sup>) em condições da usina União em Teresina, PI. Ou seja, a produtividade cresce de 67 para 137,9 t ha<sup>-1</sup>.

<sup>18</sup> O primeiro e o segundo cenário consideram a introdução de uma tecnologia mais avançada e eficiente que pode aumentar a produtividade da agricultura e da indústria, incluindo o uso de métodos eficientes de irrigação (por gotejamento). O segundo cenário, porém, inclui a expansão da produção considerando a utilização de terras adicionais.

NE tem potencial para ser uma nova fronteira para a produção de açúcar e etanol, o que representa expressivos impactos socioeconômicos, durante o desenvolvimento e expansão do setor não só para a região nordeste como também para o resto do Brasil.

O modelo original (Nuñez et al., 2012) inclui produtividade, considerando a média anual por região e por cultura dos anos 1996 e 2007. Para a projeção futura considera que essa produtividade cresce a uma taxa anual por cultura com base na média de 2007-2009 conforme Tabela 2. É importante salientar que a produtividade média no modelo original foi estimada sob a área plantada, sem distinguir área irrigada de área de sequeiro. Ou seja, a média subestima a produtividade das áreas irrigadas e superestima a produtividade das áreas de sequeiro. O modelo estendido considera alguns cenários que estimam diferentes produtividades para cultura irrigada e para cultura de sequeiro. Esses cenários serão apresentados na seção 5.5.

Tabela 2- Aumento percentual no rendimento das culturas baseado nas médias dos anos 2007-2009

| Cultura        | Rendimento Anual (%) |
|----------------|----------------------|
| Feijão         | 0,012                |
| Mandioca       | 0,005                |
| Milho          | 0,016                |
| Algodão        | 0,011                |
| Arroz          | 0,011                |
| Soja           | 0,009                |
| Sorgo          | 0,015                |
| Cana-de-açúcar | 0,016                |
| Trigo          | 0,042                |

Fonte: Nuñez et al., 2012.

Para o prognóstico de 2030 no modelo estendido, foram usadas as mudanças já previstas em cenários climáticos globais de temperaturas médias (entre 0,5 e 1,5°C por mês)<sup>19</sup> e valores médios de precipitação (entre -10 e +10mm por mês)<sup>20</sup> para modificar as demandas requeridas por cultura, município e mês em 2030. Para isso foram utilizadas as mudanças de

<sup>19</sup> Segundo estimativas do IPCC 2013. Esses valores variam de acordo com o modelo de cálculo do IPCC, a localidade e o Mês.

<sup>20</sup> Idem Nota 20.

temperatura e precipitação dos cenários do IPCC e incluídas na metodologia de cálculo dos coeficientes originais (FUNARBE, 2011), conforme será explicitado na seção 5.4

Deve-se ressaltar que a variável que mede a eficiência do processo de irrigação ( $E_a$ ), presente no cálculo dos coeficientes de técnicos de uso direto da água (retirada) usados nesse trabalho (FUNARBE, 2011) e obtidos a partir dos dados do GEF/PNUMA(2002) não foi atualizada para o cenário futuro. (ver seção 5.4). Na verdade, segundo avaliação de especialistas em irrigação<sup>21</sup> estes valores de  $E_a$  dados pelo GEF são melhores que as condições reais de 2006 e portanto são aceitáveis para serem usados no futuro. Não há expectativas de grandes melhorias para 2030 no que se refere a esta variável exógena.

Dessa forma, pôde-se atualizar os coeficientes técnicos para simular a variação do requerimento de água pelas culturas devido a mudanças climáticas. Nas simulações do modelo estendido nos cenários atual e futuro foram incluídos ainda dois cenários para simular o ganho adicional na produtividade gerado pela prática de irrigação em relação à de sequeiro, já que o modelo original não fazia esta distinção. (ver seção 5.5.)

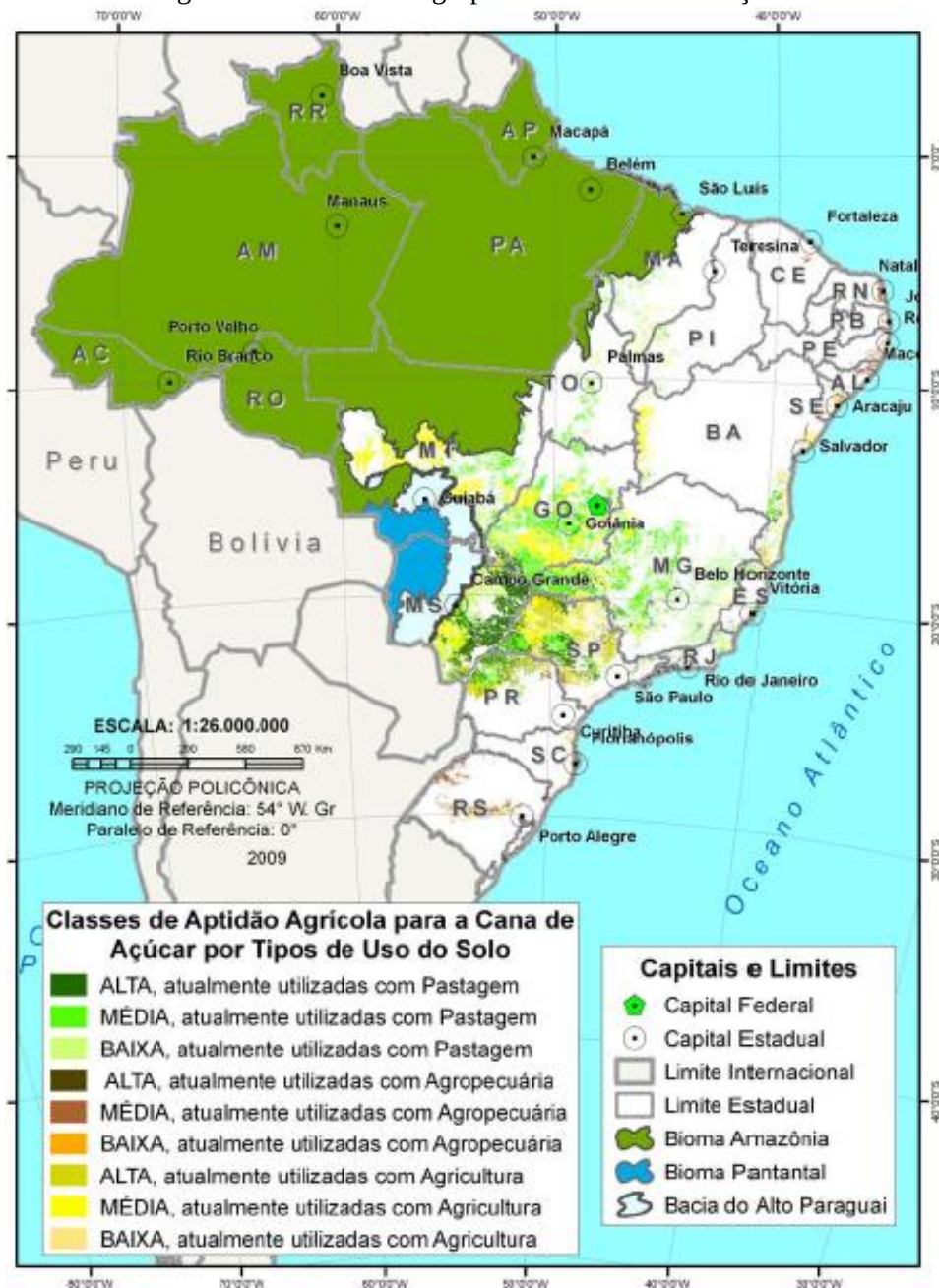
Ainda no modelo estendido não foram considerados os recentes ganhos de produtividade obtidos para a cana-de-açúcar diante de novas estratégias de irrigação, associados a uma maior aplicação de água por serem resultados incipientes. (ver referência da pesquisa na EMBRAPA no Piauí).

A EMBRAPA publicou em 2009 o zoneamento agropecuário da cana-de-açúcar visando orientar a expansão de terras para plantação da cana com o objetivo de atender as futuras demandas nacionais e internacionais por biocombustível e por açúcar. Nesse estudo estima-se um total de 64,7 milhões de hectares de área aptas a serem utilizadas no cultivo da cana. Essa área foi classificada quanto a aptidão agrícola, a saber: áreas com alta aptidão (19,2 milhões de hectares), média aptidão (41,2 milhões de hectares) e baixa aptidão (4,2 milhões de hectares). A Figura 5 apresenta o resultado desse estudo, e as áreas possíveis de expansão da cultura (MANZATTO et al., 2009).

---

<sup>21</sup> Demetrius David da Silva (Defesa de Tese em Economia. UFPE – PIMES). Comunicação Pessoal, 2015.

Figura 5-Zoneamento Agropecuário da Cana-de-Açúcar



Fonte: Manzatto et al. (2009).

Esse zoneamento foi usado no modelo original bem como no modelo estendido como restrição para expansão da área de cultivo da cana-de-açúcar. Porém, os modelos (originais e estendidos) consideram apenas a área de alta aptidão agrícola (19,2 milhões de hectares). Observa-se que essa área não foi utilizada totalmente nos resultados do modelo original, devido a outras restrições do modelo além da terra. Para o modelo estendido o não uso de todo o potencial de terra é ainda maior devido às restrições de disponibilidade hídrica, não presentes no modelo original.

Além de novas áreas para produção de cana-de-açúcar no Brasil, existe a alternativa de utilizar a área de pasto para este fim, desde que a pecuária passe a utilizar um processo de produção semi-intensiva. Ou seja, desde que o gado seja criado em confinamento, tendo sua alimentação complementada com ração, liberando a área de pasto para a plantação de cana-de-açúcar ou de outra cultura.

Isso já vem ocorrendo na agricultura brasileira segundo o IBGE. Entre 1996 e 2006, a área de lavoura no país aumentou 83,5% e a área de pasto reduziu em 3%. Porém, essa diminuição na área de pasto revela o uso mais intensivo da terra uma vez que os principais rebanhos cresceram mesmo com a diminuição da área de pasto. A saber, o rebanho bovino aumentou 11%, o suíno 14,9% e de aves 73,2% nesse período. Essa substituição da área de pasto por lavoura proporcionou uma maior produção de grãos no Brasil, especialmente a soja.

No Estado de São Paulo, entre os anos de 2003 e 2006, o crescimento da cultura da cana atingiu 26%. Segundo o CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa – isso foi consequência de uma redução da área plantada de milho além do número de cabeças de gado por hectare, o que representa uma maior intensidade na pecuária graças ao confinamento do animal que necessita de menor área de pasto (COELHO; LORA; GUARDABASSI, 2014).

A adoção de um processo semi-intensivo não mudaria o requerimento de água pela pecuária, já que a água é medida pelo número de cabeças de gado e a irrigação da área de pasto é muito pequena no Brasil. Assim, não foram usados como restrição os recursos hídricos necessários para a pecuária, supondo que os mesmos não seriam alterados.

## 5 METODOLOGIA

### 5.1 Programação linear com preços endógenos

Os modelos de Programação Linear são frequentemente usados para determinar em uma firma, a alocação ótima dos seus recursos dados preços fixos de insumo e produto. Porém, quando um grande número de empresas está envolvido, cada uma sendo um tomador de decisão economicamente racional, visando à alocação de recursos ótima, o produto agregado pode ser grande o suficiente para alterar o preço de mercado. Este é o caso, por exemplo, do uso de recursos e das decisões de produção em nível setorial ou em nível regional, onde uma grande região produtora está envolvida. Nesse caso, a suposição de preço fixo não é mais válida. Em vez disso, o preço deve ser determinado endogenamente, juntamente com o nível de produção das empresas e as decisões de alocação de recursos sujeitas às seguintes hipóteses:

- Suponha uma economia com  $K$  firmas que produzem  $N$  commodities. Considere  $k$  e  $i$  como os índices tal que,  $k = 1, \dots, K$  e  $i = 1, \dots, N$ . Suponha que a demanda do mercado para o produto  $i$  é dado por uma função de demanda  $P_i = f(Q_i)$  onde  $Q_i$  é a demanda agregada, ou seja, a quantidade de produção vendida por todas as empresas a preço  $P_i$ .
- Suponha que  $f$  é uma função linear. Assim, assume-se  $P_i = \alpha - \beta Q_i$ . Considerando que efeitos cruzados entre os preços são relevantes, então é necessário considerar uma matriz  $\beta$  com alguns termos fora da diagonal diferentes de zero.
- Suponha que cada empresa é dotada de  $m$  recursos de produção (terra, trabalho, água, etc)  $m = 1, \dots, M$ , dadas por um vetor  $b_k = (b_{1k}, b_{2k}, \dots, b_{Mk})$ . O vetor de atividades produtivas para a empresa  $k$  é denotado por  $q_k = (q_{1k}, q_{2k}, \dots, q_{Nk})$ , onde cada entrada de  $q$  representa a quantidade de mercadoria  $i$  produzida pela empresa  $k$ .
- Suponha que as relações de insumo e produto são descritos pelas tecnologias lineares onde  $A_k$  denota a matriz de coeficientes de insumo-produto para a empresa  $k$ , onde  $a_{mik}$  é a quantidade de insumo  $m$  necessária por unidade de produto  $i$  produzida pela empresa  $k$ .

Assim, as decisões de produção ao nível da firma são limitadas por desigualdades:

$$A_k \cdot q_k \leq b_k \quad (1)$$

Como cada empresa é considerada um tomador de preço, os preços de insumo-produto inicialmente considerados por todas as empresas são constantes e independentes das decisões de produção. Considere  $p = (p_1, \dots, p_n)$  representa o vetor de preços constantes do produto, que



supõe-se exógeno e  $\mathbf{c}_k = (c_{1k}, \dots, c_{nk})$  o vetor dos custos de produção por unidade de mercadoria produzida pela empresa  $k$ . A alocação de recursos ótima pode ser descrito por um modelo de programa linear (PL):

$$\begin{aligned} & \text{Maximizar } pq_k - c_k q_k \\ & \text{Sujeito à: } A_k q_k \leq b_k \\ & q_k \geq 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Considere  $u_k = (u_{1k}, \dots, u_{mk})$  o vetor multiplicador de Lagrange associado com o nível de restrição da firma  $k$ . O Lagrangeano para condição de otimalidade e as associadas condições de Kuhn-Tucker (K-T) são dadas pelas equações (3) a (8) a seguir:

$$L(q_k, u_k) = p \cdot q_k - c_k \cdot q_k + u_k(b_k - A_k \cdot q_k) \quad (3)$$

$$p - c_k - u_k \cdot A_k \leq 0 \quad (4)$$

$$q_k(p - c_k - u_k \cdot A_k) = 0 \quad (5)$$

$$A_k \cdot q_k \leq b_k \quad (6)$$

$$u_k(b_k - A_k \cdot q_k) = 0 \quad (7)$$

$$q_k \geq 0, u_k \geq 0 \quad (8)$$

Uma vez que o problema é um problema de programação linear, as condições K-T são necessárias e suficientes para uma solução ótima, sendo ainda possível assegurar a sua globalidade. Assim, resolvendo-se o problema linear representado pelo conjunto acima de equações e inequações obtém-se uma solução  $(q_k^*, u_k^*)$  onde  $q_k^*$  é o nível ótimo de produção de cada mercadoria pela empresa  $k$  e que uma vez agregado às soluções das demais empresas dará o nível de produção agregado de cada mercadoria  $i$  ( $Q_i$ ) e também determinará os preços endógenos  $P_i = f(Q_i) = \alpha - \beta Q_i$ . Já os valores de  $u_k^*$  são os multiplicadores de Lagrange do problema, ou seja, os preços-sombra de cada uma das restrições de disponibilidade de insumo.

## 5.2 O modelo original (adaptado de Nuñez, 2012)

O modelo de preços endógenos desenvolvido por Nuñez e Önal (NUÑEZ, 2012), objetiva simular e analisar os impactos das políticas de biocombustíveis no Brasil e nos EUA sobre o uso da terra. Inclui os mercados de combustíveis e de commodities agrícolas, bem como os setores de transporte e comércio, além do meio ambiente (Ver Figura 6). O modelo maximiza o excedente social representado pela soma do excedente dos produtores e dos consumidores, incluindo os mercados de commodities agrícolas e os mercados de

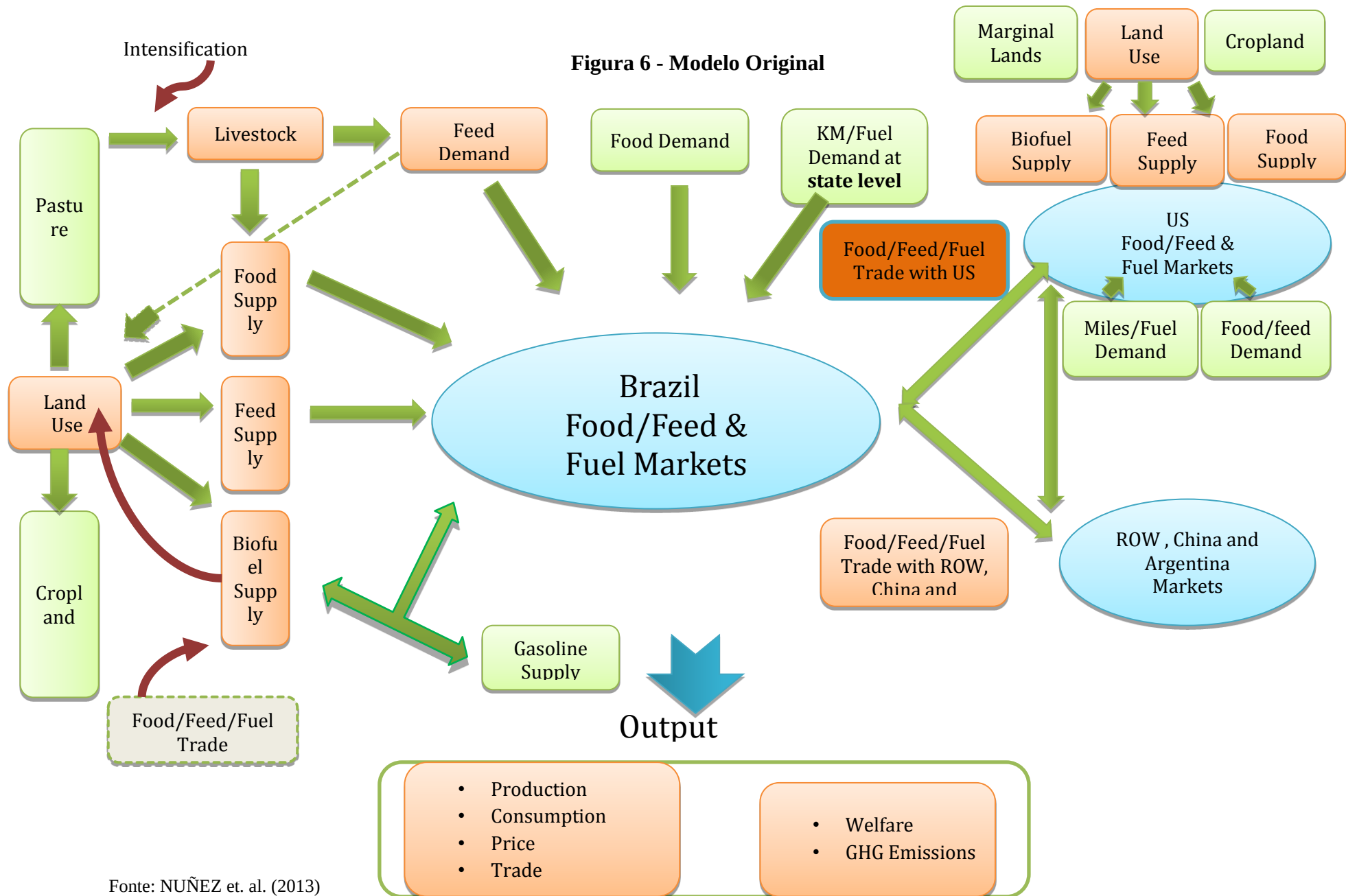
combustíveis nos EUA, Brasil, Argentina, China e resto-do-mundo (ROW). As restrições dizem respeito à matéria-prima (insumos e recursos naturais), limitações técnicas e políticas.

Para o Brasil, o modelo considera no mercado de commodities agrícolas as nove principais culturas, a saber: soja, milho, trigo, arroz, algodão, feijão, sorgo, mandioca e cana de açúcar, inclusive o seu potencial de gerar energia. Considera-se também a produção de carne bovina e o potencial da pecuária semi-intensiva, que tem o potencial de liberação de novas áreas para a agricultura. Em adição, inclui-se a prática de rotação inter e intra-anual para as grandes culturas, considerando a utilização comumente praticada. Além disso, a terra atribuída a todas as culturas e pastagens é limitada pela disponibilidade total de terras agrícolas em cada região (NUÑEZ, 2012).

O modelo original utiliza quatro cenários. Um de validação (*BaseLine*), e três cenários de previsão para 2022 que consideram diferentes hipóteses para políticas de biocombustíveis (*Business As Usual*, *All-Inclusive Policy* e *Mandates-Only*). O cenário de validação (*BaseLine*) reflete as condições observadas em 2007. Nesse cenário são usadas tarifas de importação de etanol e dos subsídios implementadas em 2007.

Ademais, ainda para 2007, o modelo considera para o Brasil o mandato máximo de mistura, ou seja, a proporção de etanol anidro misturado à gasolina de 25%, bem como as taxas de impostos aplicadas à gasolina e etanol, e o preço da gasolina regulada nas refinarias (R\$ 1,05) observadas neste ano. Nos EUA, os mandatos de mistura de biocombustíveis, subsídio para etanol celulósico, e as barreiras de importação, foram utilizadas conforme estabelecidos pela política *Renewable Fuel Standard* (RFS).

Figura 6 - Modelo Original



Fonte: NUÑEZ et. al. (2013)

Nos cenários de previsão para 2022 o modelo original estabelece o cenário *business-as-usual* (BAU) que é desenhado sem a introdução de nenhuma política de biocombustível nos EUA, e considera ainda que as importações do Resto do Mundo e da China são fixas em seu nível histórico. Esse cenário é tido como base para comparação dos demais cenários considerados alternativos (NUÑEZ, 2012).

Nos demais cenários para 2022, o primeiro (*all-inclusive policy*) considera a continuidade das políticas dos EUA de biocombustíveis atuais que prevaleceram em 2011, ou seja, o mandato RFS (com novas metas), barreiras de importação e subsídios e os níveis de importações de etanol do resto do mundo e na China como no caso BAU. O segundo cenário de (*Mandates-Only*) remove os incentivos fiscais dos biocombustíveis dos EUA e mantém as importações do resto do mundo e na China determinadas por mandatos na China e na Europa<sup>22</sup> (NUÑEZ, 2012).

Neste trabalho o modelo modificado para considerar as restrições de disponibilidade hídrica, utilizará apenas o *BaseLine* no ano de 2007 e o cenário *Mandates-Only* para fazer a previsão para 2030. O cenário *all-inclusive policy* não foi incluso uma vez que as barreiras de importação e os subsídios estabelecidos não estão mais em vigor a partir de 2011; porém, esse cenário, bem como novos cenários políticos e comerciais, podem ser utilizados em trabalhos futuros.

#### 5.2.1 A função-objetivo (adaptado de NUÑEZ, 2012):

A Função-Objetivo do modelo original corresponde ao excedente social, que é representada pela soma dos excedentes dos produtores e dos consumidores dos mercados das

---

<sup>22</sup> China e Europa são mercados importantes para os biocombustíveis. A União Europeia em 2009 aprovou a *Renewable Energy Directive* (RED), que define que cada país membro deve atingir uma taxa mínima de 10% de biocombustíveis misturando até 2020. Além do mandato que exige que 20% do consumo final de energia tenha origem de fontes renováveis. Devido essas políticas de mitigação adotadas pela União Europeia nos últimos anos a OCDE-FAO (2011) estima que a importação pode chegar a 2,4 bilhões litros de etanol até 2022. A China também é um potencial consumidor já que objetiva um consumo de energia não fósseis, de 15% em 2020 (BEAN et al., 2011 apud NUNES, 2012). De acordo com Araújo e Lu (2010) apud Nunes (2012) isso pode levar a um déficit de 7 bilhões litros na oferta de biocombustíveis chines em 2020. Além disso, em 2013 o governo chinês estabeleceu uma meta de consumo de 5 milhões de toneladas de biocombustíveis para 2011-2015, esse valor é quase o dobro do que foi estipulado para 2006-2010.

commodities agrícolas e do mercado de combustíveis nos EUA, Brasil, Argentina, China e resto do mundo (ROW).

O excedente do consumidor considera o consumo de commodities agrícolas e combustíveis nos EUA, Brasil, Argentina, China e resto do mundo (ROW). No mercado de combustíveis, o modelo considera que os consumidores no Brasil e nos EUA obtêm utilidade por quilômetro viajado. A utilidade é obtida a partir do consumo da mistura gasolina com etanol anidro (*gasol*), com taxas de mistura especificadas em cada país, dadas pela variável chamada no modelo de quilômetros viajados por veículo (*Vehicle Kilometers Travelled-VKT*).

Algumas culturas, como milho e cana-de-açúcar são utilizadas como matéria-prima para os biocombustíveis. No caso dos EUA, a demanda pela matéria-prima de biocombustíveis está ligada à demanda mandados pelo RFS (para os cenários de previsão: *All-Inclusive Policy* e *Mandates-Only*). No caso do Brasil, o uso da cana-de-açúcar como matéria-prima para o etanol está relacionado à demanda doméstica pelo biocombustível bem como a sua exportação, além da demanda doméstica e exportações de açúcar, todas determinadas endogenamente.

Os excedentes dos produtores são dados pela produção de commodities agrícolas e combustíveis nos EUA, Brasil, Argentina, China e resto do mundo (ROW), sujeitos, da mesma forma que o excedente do consumidor a limitações de recursos, técnicas e políticas. As variáveis de decisão são as áreas plantadas por cultura em nível regional e consequente oferta nacional de produtos agrícolas, que podem ser consumidos tanto no mercado doméstico ou exportados, tendo curvas de demanda linear com declividade negativa.

Na parte da Função-Objetivo relativa aos excedentes dos consumidores no mercado de combustíveis, considera-se no Brasil, para cada um dos 27 estados brasileiros, uma função de demanda por quilômetros viajados em veículos (VKT) para três tipos de veículos, a saber: veículos convencionais (CV), os veículos flex-fuel (FFV) e veículos a etanol (EDV). Os totais de energia usados por distância representados pela variável de quilômetros viajados por veículos (VKT) resultam dos quilômetros que podem ser feitos com um litro de cada tipo de combustível, sendo especificado de modo diferente para cada tipo de veículo. Cada estado recebe etanol e gasolina a partir das mesorregiões produtoras de etanol, refinarias de gasolina ou porto de importação que representem o menor custo.

Na parte relativa aos excedentes dos produtores agrícolas, modela-se a oferta agrícola nos Estados Unidos, Brasil e Argentina usando-se funções Leontief de produção. Esse

pressuposto implica numa função de utilidade quadrática aditiva que representa a soma do excedente dos produtores e dos consumidores nas cinco regiões globais. O custo total de produção de commodities agrícolas em cada região é expresso como uma função linear das áreas plantadas assumindo custos fixos de produção para as culturas individuais.

Neste lado da oferta agrícola o modelo é regionalmente desagregado em nível de mesorregião no Brasil, distritos nos EUA (*Crop Reporting District (CRD)*), e províncias na Argentina. Nesses três componentes regionalmente desagregados, o modelo inclui as maiores culturas/ mercadorias produzidas utilizando atividades de rotação de culturas intra-ano e inter-anos comumente praticados.

A vantagem comparativa entre culturas e pecuária em cada região é modelada explicitamente com base nos preços nacionais e mundiais, nos custos de produção, nos custos de processamento, nos custos de transporte, nos custos de conversão e nas produtividades regionais.

No lado da oferta do mercado de combustíveis uma função de oferta de gasolina para os EUA, ROW e China diferente da função do Brasil é utilizada para se obter o excedente desses produtores. As funções de oferta utilizadas para estes países são positivamente inclinadas enquanto que no Brasil ela é perfeitamente elástica, o que reflete a política de preços constantes de gasolina pura na refinaria deste país.

O fornecimento de combustível convencional em cada país e as demandas por exportação dessa commodity (gasolina) são incorporadas usando funções lineares, onde o custo total do comércio inclui as margens comerciais de transporte e outros.

Ao modelar o lado da oferta de biocombustíveis nos EUA, considera-se o comércio de etanol entre os EUA e o Brasil e as distorções desse comércio, incluindo os impostos e as tarifas. Além disso, a importação de etanol dos países da *Caribbean Basin Initiative (CBI)* está incluída como uma fonte de abastecimento de etanol para o mercado dos EUA. A Função-Objetivo nesta parte inclui também os subsídios de mistura de combustível dos EUA (créditos fiscais sobre os combustíveis misturados) e as receitas advindas dos co-produtos do etanol americano. Isso é considerado uma vez que o principal subproduto (*Distillers Dried Grains - DDG*) do etanol produzido nos EUA tornou-se um item importante de receita para processadores de etanol por meio de vendas, como alimento para pecuária e exportações para o resto do mundo.

No Brasil, o lado da oferta de biocombustíveis considera os custos de transporte de etanol produzido em diferentes mesorregiões para o porto mais próximo. Devido ao tamanho

do país e as longas distâncias entre as regiões de produção e os locais de consumo/exportação, incluiu-se esta componente de transporte de etanol para o Brasil.

Além da oferta e demanda dos nove commodities agrícolas consideradas no Brasil, introduziu-se também às associadas à carne bovina pois a mesma, através do potencial da pecuária semi-intensiva, tem o potencial de liberação de novas áreas para a agricultura. Foram consideradas três categorias de pastagem: plantadas em boas condições, plantada e degradada, e pastagem nativa. Cada tipo de pastagem pode conter qualquer uma das três atividades de pecuária de corte: ciclo completo, o desmame e acabamento. Sistemas de semi-intensificação estão restritos a ser implementados apenas em 'pastagens plantadas em boas condições'. O modelo assume que os produtores regionais representativos determinam a alocação ótima de terras para pastagem considerando cada sistema de produção, o tipo de pasto e de gado com base nos custos de carne bovina na região, incluindo o custo de plantio de sementes melhoradas e alimentação para os animais.

A maximização da Função-Objetivo assim constituída (NUÑEZ, 2012) estará sujeita a várias restrições principalmente associadas à disponibilidade de recursos naturais e às relacionadas a limitações técnicas. Essas restrições são descritas qualitativamente abaixo.

### 5.2.2 Restrições do modelo original (adaptado de NUÑEZ, 2012)

Como citado, os consumidores no Brasil e nos EUA obtém utilidade por quilômetro viajado, que é produzido a partir do consumo da mistura gasolina com etanol anidro (*gasol*), com taxas de mistura especificadas. Essas são as primeiras restrições do modelo original. Enquanto a mistura *gasol* é limitada a 10% nos EUA e a 25% no Brasil, os veículos *flex* podem consumir qualquer proporção de até 100% (E100) no Brasil. As primeiras restrições do modelo original assumem que a variável de quilômetros viajados por veículos (*VKT*) é proporcional à quantidade de combustível consumido, dependente de cada categoria de veículo.

Há também um conjunto de restrições que representam os mandatos de biocombustíveis dos EUA, como estabelecido pela a política RFS (apenas para os cenários de previsão – *All-Inclusive Policy* e *Mandates-Only*). Especificamente, o modelo requer que 132,5 bilhões de litros de etanol devem ser misturados com a gasolina, dos quais 60,5 bilhões

de litros deve ser biocombustível celulósico e 75,7 bilhões de litros deve ser biocombustível avançado.

Outras restrições consideram como esperado, a relação entre a oferta de Etanol e a da biomassa associada. Considerando que a oferta de etanol depende da disponibilidade de matéria prima, o modelo inclui em suas restrições a relação da oferta de etanol com a produção da matéria prima (biomassa), em função da área plantada.

Em seguida, aparecem restrições representando o equilíbrio entre a oferta e a demanda das commodities agrícolas em cada país. Nas mesmas constam, ao lado da demanda, a soma da demanda do consumidor naquele país com a demanda de alimentação para o setor da pecuária no Brasil, ao lado das exportações líquidas, que não pode exceder a oferta de commodities agrícolas daquele país. A oferta depende dos rendimentos da cultura e da quantidade de terras alocadas a cada cultura, portanto é determinada endogenamente. Importante sinalizar que o modelo calcula a possibilidade de expansão das áreas cultivadas sobre a área de pasto apenas no Brasil, determinando valores para variáveis chamadas *NewLand*. As novas áreas (*NewLand*) só poderão vir no Brasil das pastagens em ‘boas condições’ para cada mesorregião.

A fim de evitar extrema especialização na alocação de pastagens no Brasil, o modelo restringe a área alocada para graminídeos, de forma a não exceder 25% da área cultivada disponível em cada mesorregião. Uma dificuldade que muitas vezes é encontrada quando se trabalha com modelos de programação matemática, é que as soluções ótimas geradas pelo modelo podem envolver extrema especialização na produção agrícola, com cada região alocando toda a terra disponível para algumas culturas (ou até mesmo uma única). Tais soluções de canto não são representações realistas. Esta dificuldade é focada considerando a abordagem de “cultura mix” (MCCARL, 1982; ÖNAL; MCCARL, 1991 apud NUÑEZ, 2012), onde as soluções viáveis, ou seja, a distribuição de terra em cada região é restrita a uma combinação convexa dos padrões de culturas historicamente observadas nas regiões.

De modo a permitir alguma flexibilidade para além das misturas históricas do modelo, também foram incorporadas “misturas de culturas sintéticas” que são geradas pelo uso de variações hipotéticas nos preços de culturas e elasticidades-preço da demanda dos alimentos (CHEN; ONAL, 2012, apud NUÑEZ, 2012). Assim, para evitar mudanças irreais e especialização extrema no uso da terra, o modelo incluiu uma restrição para o Brasil, que determina a sua “cultura mix” incorporando algumas “culturas sintéticas”.



A expansão da cana no Brasil foi permitida apenas nas áreas estabelecidas dentro do Zoneamento Agroecológico da Cana (ZAE-Cana), dentre aquelas que foram classificadas como altamente adequadas para a produção de cana. O ZAE-Cana (MANZATTO et al., 2009) tem como objetivo controlar o processo de expansão através da definição das zonas mais adequadas para a produção de cana, considerando as condições biológicas, socioeconômicas, institucionais e físicas. Como resultado, este documento restringe a produção de cana-de-açúcar em mais de 80% das terras agrícolas brasileiras, incluindo Amazônia, Pantanal e outros ecossistemas sensíveis.

O modelo incluiu, ainda, para o Brasil, as restrições que descrevem as opções de produção de carne bovina. Com a mudança na criação de gado do sistema extensivo para o semi-intensivo, os requisitos de alimentação também mudam. O modelo assume que a alimentação no regime semi-intensivo vem apenas de farelo de soja e milho, no lugar das pastagens utilizadas no regime extensivo. A intensificação dos sistemas de produção é apontada por Barcellos et al (2008) como uma das alternativas de exploração agrícola sustentável, que pode minimizar a pressão sobre a abertura de novas áreas para produção agropecuária.

Para mais detalhes e equações, ver Nuñez (2012). Os Resultados do Modelo Original são apresentados, resumidamente, no Quadro 1 abaixo.

Quadro 1 - Resultados do Modelo Original para o Brasil

(Continua)

| CENÁRIOS                                                                                           | RESULTADOS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Validação</b><br><i>Cenário Base Line</i>                                                       | Na validação do modelo original, observa-se que o uso da terra e os preços das commodities agrícolas no Brasil estão dentro dos limites aceitáveis, variando em torno de 10% comparados aos valores observados de 2007.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Previsão</b> (Sem Políticas de biocombustíveis).<br><br>Scenario BAU - <i>business-as-usual</i> | Para o Brasil, a área plantada total aumenta em 6,5 milhões de hectares em relação ao uso de terras agrícolas de 2007. Este aumento vem principalmente da conversão de áreas de pastagem. Como consequência, a produção de carne bovina diminui em 3,5% com um significativo aumento nos preços de carne bovina. Para fornecer suplemento alimentar para a pecuária as áreas de milho e soja se expandem.<br>A produção de cana aumenta em 82% em relação a 2007 no Brasil para atender a maior demanda interna e exportação de etanol e açúcar. Como resultado, os preços das commodities agrícolas milho, soja e açúcar aumentam significativamente.<br>No setor de combustíveis, a produção de etanol aumenta em 2 vezes em relação ao nível de 2007, sendo 95% da produção consumidos no mercado interno. O preço do etanol hidratado puro (E100) diminui ligeiramente. O preço da unidade de distância percorrida por veículos flex (FFV) e veículos convencionais (CV) diminui e o total VKT dobra. |

Quadro 1 - Resultados do Modelo Original para o Brasil

(Conclusão)

| CENÁRIOS                                                                                                      | RESULTADOS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Previsão</b> (Com Políticas de biocombustíveis).</p> <p>Cenário 1: <i>U.S. all-inclusive policy</i></p> | <p>A área plantada no Brasil aumenta em 8,4%, com um aumento de áreas de milho (+19%) e de cana (+13%), em relação ao cenário BAU. Também em relação a este último cenário, a área de pastagem é reduzida e produção de carne diminui (-2,7%), apesar de significativa intensificação da pecuária (12%).</p> <p>A produção de milho aumenta significativamente (62-75 milhões de toneladas), como resultado do aumento da demanda internacional. O efeito nos preços de milho e de carne é substancial, enquanto os preços do açúcar e da soja aumentam um pouco em comparação com os níveis BAU.</p> <p>No setor de combustível, a produção de etanol de cana passa a ser cerca de 57 bilhões de litros, 24% a mais do que o nível BAU, a maioria dos quais é consumida internamente (72%) e o restante é exportado para os EUA (9,4 bilhões litros), China (2,8 bilhões litros) e ROW (3,4 bilhões litros). O preço da gasolina aumenta marginalmente enquanto o preço do etanol puro (E100) cai um pouco. Os preços por VKT pago pelo CV (<i>conventional vehicles</i>) e proprietários EDV (<i>etanol dedicated vehicles</i>) permanecem no mesmo nível do BAU, enquanto o VKT pago pelo FFV (<i>flex-fuel vehicles</i>) sobe 1,3%. O VKT total permanece no mesmo nível que no BAU. Assim, os impactos dessas mudanças sobre os consumidores de combustível no Brasil são desprezíveis.</p> |
| <p><b>Previsão</b> (Com Políticas de biocombustíveis).</p> <p>Cenário 2: <i>Mandate-Only</i></p>              | <p>A área de pasto no Brasil cai em dois milhões de hectares em relação ao cenário BAU. A intensificação na pecuária aumenta ainda mais (+16%) em relação ao cenário BAU. Boa parte da área de pasto liberado para produção vai para cana-de-açúcar.</p> <p>A área total de cana e a produção no Brasil expandem-se significativamente, cerca de 20% em relação ao cenário BAU. A principal razão desse aumento na produção de cana é a demanda por etanol de cana nos EUA, que se torna uma alternativa de combustível mais econômico.</p> <p>No setor de combustíveis, a produção de etanol de cana sobe de 56 bilhões litros no cenário '<i>all-inclusive policy</i>' para 75,5 bilhões litros neste cenário dos quais 25,3 bilhões litros são exportados para os EUA. O preço E100 no Brasil pode aumentar um pouco, porém, apenas 2%, enquanto o preço da mistura gasolina-etanol (<i>gasohol</i>) permanece o mesmo. Assim, o VKT total e VKT de todas as categorias de veículos permanecem praticamente constantes.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

Fonte: Nuñez, 2012.

Como descrito no item 2.3 há um link importante entre a produção de biocombustíveis no Brasil e os recursos hídricos. Este link diz respeito principalmente à disponibilidade de água em quantidade e qualidade necessária à produção da biomassa, que no caso do Brasil é primordialmente a cana-de-açúcar. Assim, espera-se que a provável expansão da produção de biocombustíveis, previsto no cenário *Mandate Only*, aumente a pressão sobre a disponibilidade e o uso dos recursos hídricos no Brasil, que pode vir a ter que ser transferida de outros setores. Para evitar uma situação em que uma potencial contribuição para o desafio das energias renováveis venha a transferir impactos negativos, ambientais e econômicos para as regiões produtoras deste país, devem-se definir políticas públicas de recursos hídricos específicas para o setor e para isso resultados de modelos de apoio à decisão são importantes.

Dado que o modelo original não incluía restrições de recursos hídricos na produção da biomassa, o presente trabalho se propôs a incluir restrições atuais a se utilizar no cenário de validação *Base Line* e futuras, a se utilizar no cenário de previsão *Mandate Only*, da disponibilidade dos recursos hídricos para o setor de agricultura irrigada no Brasil. As próximas seções apresentam com detalhes a metodologia utilizada para a inclusão da limitação deste recurso atuais e futuras no Brasil.

### 5.3 Incorporando ao modelo restrições de disponibilidade hídrica para a agricultura irrigada no Brasil no cenário atual

Para considerar a limitação de disponibilidade de água para a agricultura irrigada no Brasil, foram introduzidas no modelo original de programação matemática e de preços endógenos desenvolvido por Nuñez (2012), para cada mesorregião brasileira e mês, as restrições dadas por:

$$\sum_i w_{it,r} \Delta_{i,r} (CL_{br,r}^i + NL_{br,r}^i) \leq W_{t,r} \quad (9)$$

$w_{it,r}$  = coeficiente de retirada de água para a cultura (i) no mês (t) na mesorregião (r) em  $m^3 \cdot mês^{-1} \cdot ha^{-1}$ ;

$CL_{br,r}^i$  = terra plantada alocada para a cultura (i) no Brasil (br) para a mesorregião (r);

$NL_{br,r}^i$  = terra ainda não plantada alocada para a cultura (i) no Brasil (br) para a mesorregião (r);

$W_{t,r}$  = oferta total de água para agricultura irrigada no mês (t) na mesorregião (r) em  $m^3 \cdot ha^{-1}$ ;

$\Delta_{i,r}$  = Proporção atual (ano base 2006) de área irrigada em relação à área plantada para a cultura (i) na mesorregião (r).

A seguir serão detalhados os dados utilizados e o tratamento usado para identificar as variáveis exógenas utilizadas nestas restrições, ou seja,  $w_{it,r}$ ,  $W_{t,r}$  e  $\Delta_{i,r}$ .

Inicialmente, para identificar  $w_{it,r}$ , foi utilizado o seguinte procedimento: Partiu-se dos coeficientes técnicos de uso da água publicados pela FUNARBE (2011). Os mesmos por sua vez, utilizaram dados de área colhida e irrigada nos estados e municípios, disponibilizados pelo IBGE no Censo Agropecuário de 2006, que adotou a base municipal do IBGE de 2005 como referencial cartográfico. Ademais, os coeficientes (FUNARBE, 2011) também tiveram como base, dados de precipitação disponibilizados pela Agência Nacional de Águas – ANA, em escala mensal, do período de 2000 a 2008, em complemento à base de dados do ONS 2005 (1950 a 2000). Esta última base de dados também foi utilizada como referência para os

dados de evapotranspiração. Para o parâmetro de eficiência de irrigação a FUNARBE utilizou dados da ANA/GEF/PNUMA/OEA (2002).

O cálculo dos coeficientes técnicos de retirada para a irrigação, feito pela FUNARBE (2011), foi obtido para cada município a partir do balanço hídrico mensal dado pela equação:

$$K_{it,m} = \left[ \frac{(ETO_{t,m} \cdot Kc_{it,m} \cdot Ks_{i,m}) - pef_{it,m}}{Ea_{i,m}} \right] \cdot 10 \quad (10)$$

$K_{it,m}$  = Coeficiente de retirada para a irrigação da cultura (i) no mês (t), no município (m), em  $m^3 \cdot \text{mês}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ ;

$ETO_{t,m}$  = evapotranspiração de referência para o mês (t), no município (m), em  $\text{mm} \cdot \text{mês}^{-1}$ ;

$Kc_{it,m}$  = coeficiente médio associado à cultura (i) para o mês (t), no município (m), adimensional;

$Ks_{i,m}$  = coeficiente de umidade<sup>23</sup> da cultura (i) dado pelo seu método de irrigação mais frequente no município (m), adimensional;

$pef_{it,m}$  = precipitação efetiva da cultura (i) para o mês (t), no município (m),  $\text{mm} \cdot \text{mês}^{-1}$ ; e

$Ea_{i,m}$  = eficiência da irrigação aplicada<sup>24</sup> na cultura (i) dada pelo método de irrigação no município (m), adimensional.

Estes coeficientes técnicos, assim obtidos e publicados, foram tratados para que pudessem ser incorporados no modelo de preços endógeno original, como uma das variáveis exógenas  $w_{it,r}$  das restrições hídricas descritas na Equação (9).

A escala que o modelo original divide o Brasil é o de mesorregiões, que na verdade é um conjunto de municípios. Por isso, os coeficientes técnicos das culturas  $K_{it,m}$  (FUNARBE, 2011) calculados por município foram agregados para a mesorregião usando uma soma ponderada dos mesmos, cuja ponderação foi dada pelo percentual mensal de área irrigada da cultura daquele município em relação à área irrigada total na mesorregião a que o município pertence, como mostra a Equação (11):

$$w_{it,r} = \sum_{m \in r} \frac{\text{Area } Ir_{it,m}}{\text{Area } Ir_{it,r}} \cdot K_{it,m} \quad (11)$$

$w_{it,r}$  = coeficiente de retirada de água pela cultura (i), mês (t), na mesorregião (r) em  $(m^3 \cdot \text{mês}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1})$ ;

$\text{Area } Ir_{it,m}$  = área irrigada da cultura (i) no mês (t), no município (m) (para todo  $m$  contido na mesorregião  $r$ ) (hectare) obtido da FUNARBE (2011);

<sup>23</sup> Os valores de  $Ks$  aqui utilizados segundo FUNARBE (2011) foram obtidos pelo projeto GEF São Francisco (ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2002). A saber: Irrigação por aspersão:  $Ks = 0,81$ ; e Irrigação localizada:  $Ks = 0,88$ .

<sup>24</sup> A Eficiência de aplicação adotada pela FUNARBE (2011) foi obtida dos resultados de ANA/GEF/PNUMA/OEA (2002). A Saber: Irrigação por Aspersão:  $Ea = 0,71$  e Irrigação localizada:  $Ea = 0,79$ .

$Area\ Ir_{it,r}$  = área irrigada (2006) total da cultura (i) no mês (t), na mesorregião (r) (hectare) obtido da FUNARBE (2011);

$K_{it,m}$  = coeficiente técnico de retirada de água pela cultura (i) no mês (t), no município (m) ( $m^3.mês^{-1}.ha^{-1}$ ) obtido da FUNARBE (2011);

O Anexo C apresenta uma tabela com os valores anuais<sup>25</sup> desses coeficientes obtidos usando a equação (11). Como exemplo, a tabela a seguir apresenta valores de todos os meses relativos a culturas consideradas no modelo, que são cultivadas na mesorregião Mata Pernambucana – PE no Nordeste do Brasil. Para a referida mesorregião, a Cana-de-açúcar é a única cultura que retira água durante os 12 meses do ano. Sendo outubro e novembro os meses com maior retirada, 185,5 e 188,8  $mm.mês^{-1}$  respectivamente<sup>26</sup>.

Tabela 3 - coeficiente de retirada de água pela cultura (i), mês (t), na mesorregião (Mata Pernambucana - PE) em ( $mm. mês^{-1}$ )

| ( $mm. mês^{-1}$ )                       | Arroz | Cana-de-açúcar | Mandioca | Milho | Soja | Sorgo | Trigo | Algodão | Feijão |
|------------------------------------------|-------|----------------|----------|-------|------|-------|-------|---------|--------|
| janeiro                                  | 0     | 135,9          | 73,5     | 101,1 | 0    | 0     | 0     | 0       | 90,6   |
| fevereiro                                | 0     | 122,7          | 55,4     | 102,9 | 0    | 0     | 0     | 0       | 90,4   |
| março                                    | 0     | 74,6           | 0        | 54,5  | 0    | 0     | 0     | 0       | 50,6   |
| abril                                    | 0     | 52,5           | 0        | 2,1   | 0    | 0     | 0     | 0       | 0      |
| maio                                     | 0     | 32,6           | 0        | 0     | 0    | 0     | 0     | 0       | 0      |
| junho                                    | 0     | 1,2            | 0        | 0     | 0    | 0     | 0     | 0       | 0      |
| Julho                                    | 0     | 7,2            | 0        | 0     | 0    | 0     | 0     | 0       | 0      |
| agosto                                   | 0     | 65,2           | 9,2      | 0     | 0    | 0     | 0     | 0       | 0,5    |
| setembro                                 | 0     | 137,3          | 97,9     | 69,1  | 0    | 0     | 0     | 0       | 68,3   |
| outubro                                  | 0     | 185,5          | 161,0    | 123,1 | 0    | 0     | 0     | 0       | 116,3  |
| novembro                                 | 0     | 188,8          | 163,6    | 105,0 | 0    | 0     | 0     | 0       | 133,0  |
| dezembro                                 | 0     | 169,4          | 145,1    | 71,5  | 0    | 0     | 0     | 0       | 107,8  |
| <b>Valor Anual</b><br>( $mm. ano^{-1}$ ) | 0     | 103,2          | 102,2    | 85,7  | 0    | 0     | 0     | 0       | 101,2  |

Fonte: Elaboração Própria

A próxima variável exógena existente nas restrições de disponibilidade hídrica a se introduzir no modelo original (ver equação 9 -  $\Delta_{i,r}$ ) pondera a necessidade da retirada de água

<sup>25</sup> Os valores anuais foram obtidos multiplicando os coeficientes de retirada mensais pelas áreas irrigadas mensais, o que dá o volume mensal de retirada. As somas desses volumes mensais nos 12 meses foram divididas pela área irrigada total no ano, assim obtendo-se o coeficiente de retirada no ano em  $mm. ano^{-1}$ .

<sup>26</sup> Os coeficientes originais são dados em litros. segundo<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup>. Para transformar em  $mm. mês^{-1}$ . multiplica-se por 2.592.000 (numero de segundos no ano) divide-se por 1000 (transformando litros em m<sup>3</sup>), e finalmente divide-se por 10 (transformando m<sup>3</sup>.mês<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup> em  $mm. mês^{-1}$ ).

da cultura  $i$  na mesorregião  $r$  ( $w_{it,r}$ ), usando para isso o percentual de área irrigada que aquela cultura  $i$  tem em relação a sua área plantada total na mesorregião  $r$ .

Para obter esta proporção, utilizaram-se os dados de área irrigada do Censo 2006 (IBGE) e a área plantada do IBGE (Produção Agrícola Municipal). Para a área irrigada, o Censo só apresenta de forma desagregada as culturas de cana-de-açúcar e soja. As demais culturas consideradas no modelo estão agregadas em ‘Lavouras Temporárias’.

Ao mesmo tempo, o IBGE apresenta (Censo 2006) a área colhida com e sem irrigação para todas as principais culturas de forma desagregada. Esta relação, da área colhida irrigada sobre a área colhida total, foi utilizada para as demais culturas, pois são uma boa *proxy* do percentual de área irrigada total sobre a área plantada, relação esta não encontrada para as tais culturas.

Então, foram usados dois cenários: (1) adotando  $\Delta_{i,r}$  como sendo a razão entre área colhida irrigada e área colhida total para todas as culturas ( $\Delta^h_{i,r}$ ); (2) adotando a proporção existente entre área irrigada total e área plantada para a cana e soja como sendo o  $\Delta_{i,r}$  e para as outras culturas, adotando o  $\Delta^h_{i,r}$ .

De forma que no cenário 1:

$$\Delta_{i,r} = \Delta^h_{i,r} = \frac{\text{Harvested Area Used Irrigation}_{i,r}}{\text{Total Harvested Area}_{i,r}} \quad (\text{para todo } i) \quad (12.1)$$

E no cenário 2:

$$\Delta_{i,r} = \Delta^h_{i,r} = \frac{\text{Harvested Area Used Irrigation}_{i,r}}{\text{Total Harvested Area}_{i,r}} \quad (\text{para todo } i \text{ exceto Cana e Soja}) \quad (12.2)$$

$$\Delta_{i,r} = \frac{\text{Irrigated Area}_{i,r}}{\text{Area Plant}_{i,r}} \quad (\text{para } i = \text{Cana e Soja}) \quad (12.3)$$

$\Delta^h_{i,r}$  = taxa Corrente (ano base 2006) de área colhida utilizando irrigação dividido pela área colhida total para a cultura (i) na meso (r);

$\text{Harvested Area Used Irrigation}_{i,r}$  = Área colhida que usa irrigação para a cultura (i) e meso (r); (Fonte: Censo 2006 IBGE);

$\text{Total Harvested Area}_{i,r}$  = área colhida total para a cultura (i) na região (r); (Fonte: Censo 2006 IBGE);

$\text{Irrigated Area}_{i,r}$  = área irrigada das culturas (i = cana e soja) na meso (r) (Fonte: Censo 2006 IBGE);

$\text{Area Plant}_{i,r}$  = área Plantada da cultura (i) na meso (r). (Fonte: Produção Agropecuária mensal, IBGE).

Assim, o valor de retirada de água por hectare ( $w_{it,r}$ ), devidamente ponderado ( $\Delta_{i,r}$ ) para a mesorregião  $r$  é que será multiplicado pelas variáveis de decisão endógenas ( $\text{Cropland} - \text{CL}^i_{br,r}$ ,  $\text{Newland} - \text{NL}^i_{br,r}$ ) das áreas a se alocar para esta cultura. Os valores dos deltas

obtidos como proxy ( $\Delta^h_{i,r}$ ) e a partir dos valores do Censo 2006 ( $\Delta_{i,r}$ ) são apresentados no Anexo B.

O resultado somado de todas as culturas deve atender, a disponibilidade de água total para a agricultura irrigada, ou seja, a oferta total no mês  $t$  na mesorregião  $r$  ( $W_{t,r}$ ). Para estimar esta última variável exógena, a oferta de água para irrigação no cenário atual ( $W_{t,r}$ ), sem considerar a competição entre os diversos setores demandantes, utilizou-se o total de água retirado atualmente, obtido através dos coeficientes técnicos de retirada das mesorregiões, áreas irrigadas atuais e meses correspondentes, devidamente agregados por mesorregião a partir dos dados municipais (FUNARBE, 2011), conforme abaixo:

$$W_{t,r}(m^3) = \sum_i w_{it,r} * Area Ir_{it,r} \quad (13)$$

$W_{t,r}$  = oferta total de água para agricultura irrigada no mês ( $t$ ), mesorregião ( $r$ ) ( $m^3 \cdot ha^{-1}$ );

$w_{it,r}$  = coeficiente de retirada de água para a cultura ( $i$ ) no mês ( $t$ ), na mesorregião ( $r$ ) ( $m^3 \cdot mês^{-1} \cdot ha^{-1}$ );

$Area Ir_{it,r}$  = Área Irrigada (ano base) para a cultura ( $i$ ), no mês ( $t$ ), na mesorregião ( $r$ ) FUNARBE (2011)(hectar).

Uma vez obtidas estas disponibilidades por mesorregião e por mês, procurou-se compará-las com valores publicados para validar a estimativa. A ANA publicou na Conjuntura de Recursos Hídricos no Brasil – 2013 (ANA, 2013) uma vazão de retirada pela Irrigação no Brasil em 2006 de 865,5  $m^3/s$ . Transformando esse valor em volume anual, chega-se a vazão de retirada pela Irrigação no ano de 2006 de 26.920 milhões de  $m^3/ano$  (ANA, 2013).

Somando-se os parâmetros  $W_{t,r}$  de todas as mesorregiões e de todos os meses do ano o presente trabalho obteve, aproximadamente, 24.390 Milhões ( $m^3/ano$ ), o que é um valor de mesma ordem de grandeza dos dados da ANA. Essa estimativa é um pouco menor, como esperado, já que o presente trabalho considera apenas as nove maiores culturas, enquanto que a ANA considera todas as culturas irrigadas.

Essas restrições foram então introduzidas no modelo original, com os parâmetros descritos, e o modelo foi então resolvido para simular a condição atual. Sem as restrições hídricas, o modelo já tinha simulado bem o cenário atual, dado pelo ano de 2007. Com a Restrição hídrica, obteve-se uma nova solução nas condições atuais também satisfatória. (ver seção 6.1)

Para obter os resultados em 2030 – para o cenário *Mandate Only* – as variáveis exógenas utilizadas nas restrições de disponibilidade hídrica tiveram que ser atualizadas. Aquelas que foram obtidas a partir dos coeficientes técnicos de retirada para a agricultura

sofrem alterações, pois os mesmos devem sofrer alterações para mudanças de temperatura e precipitação previstas em cenários de mudanças climáticas.

Por isso, inicialmente foi feita uma atualização nas mesmas a partir das mudanças de precipitação e temperatura previstas em diversos modelos climáticos globais. Os coeficientes de retirada originais basearam-se nesses dados (temperatura e precipitação), por isso as variáveis exógenas obtidas a partir deles tiveram que ser alteradas. Além disso, foi considerada a ampliação de áreas para irrigação, que constam em projetos do Governo Federal já aprovados e previstos para estarem prontos em 2030. A atualização dos coeficientes técnicos de uso da água e associadas variáveis exógenas é descrita em detalhes na próxima seção.

#### 5.4 Restrições de disponibilidade hídrica para a agricultura irrigada no Brasil no cenário futuro – atualização das variáveis exógenas

Os coeficientes técnicos de retirada da água para irrigação, foram calculados por FUNARBE (2011) utilizando a Equação 10:

$$K_{it,m} = \left[ \frac{(ETO_{t,m} \cdot Kc_{it,m} \cdot Ks_{i,m}) - pef_{it,m}}{Ea_{i,m}} \right] \cdot 10 \quad (10)$$

A partir dos mesmos, como já descrito, foi obtida a variável exógena  $w_{it,r}$ , que agregou a informação para a mesorregião e foi então utilizada nas restrições de disponibilidade hídrica para o cenário atual. (Equação 9).

Considerando diferentes cenários climáticos estimados pelo IPCC (2013), ver Anexo E, que prevêem mudanças percentuais de precipitação média e variações absolutas de temperatura, e sendo a evapotranspiração função da temperatura (ver equação 16), os valores para os coeficientes de retirada (FUNARBE, 2011) originalmente utilizados foram alterados devido aos fatores climáticos da seguinte forma:

$$K'_{it,m} = \left[ \frac{(ETO'_{t,m} \cdot Kc_{it,m} \cdot Ks_{i,m}) - pef'_{it,m}}{Ea_{i,m}} \right] \cdot 10 \quad (14)$$

Sendo:  $K'_{it,m} = K_{it,m} + dK_{it,m}$

Então:

$$dK_{it,m} = \frac{\partial K_{it,m}}{\partial ETO_{t,m}} \cdot \frac{\partial ETO_{t,m}}{\partial T} \cdot dT_{t,m} + \frac{\partial K_{it,m}}{\partial pef_{t,m}} \cdot dPef_{it,m} \quad (15)$$



Para calcular a derivada parcial  $\frac{\partial ETO_{t,m}}{\partial T}$  utilizou-se a relação entre Evapotranspiração e Temperatura citadas pelo método Blaney-Criddle apud (FUNARBE, 2011):

$$ET_o = ET_p = [p \cdot (0,457 \cdot T + 8,13)] \quad (16)$$

Onde:

$ET_o$  = Evapotranspiração de referência, mm.dia<sup>-1</sup>;

$ET_p$  = Evapotranspiração potencial, para um dado mês, mm.dia<sup>-1</sup>;

$p$  = porcentagem média diária de horas de luz do sol sobre o total anual, tabelado em função do mês e da latitude do local; e

$T$  = temperatura média diária, durante o mês em °C.

Como:

$$\frac{\partial K_{it,m}}{\partial T_{o,t,m}} = \left[ \frac{(K_{cit,m} \cdot K_{Si,m})}{Ea_{i,m}} \right] \cdot 10 \quad (17)$$

$$\frac{\partial ETO_{t,m}}{\partial T} = p_{t,m} \cdot 0,457 \quad (18)$$

$$\frac{\partial K_{it,m}}{\partial Pef_{t,m}} = - \left[ \frac{10}{Ea_{i,m}} \right] \quad (19)$$

Então:

$$dK_{it,m} = \left[ \frac{(K_{cit,m} \cdot K_{Si,m})}{Ea_{i,m}} \right] \cdot 10 \cdot p_{t,m} \cdot 0,457 \cdot dT_{t,m} - \left[ \frac{10}{Ea_{i,m}} \right] \cdot dPef_{it,m} \quad (20)$$

Para esse cálculo, a rigor, seria necessário a obtenção dos parâmetros para cada município e mês ( $K_{cit,m}$ ,  $K_{Si,m}$ ,  $Ea_{t,m}$ ), conforme considerados no documento original (FUNARBE, 2011). Como as variáveis exógenas utilizadas na restrição hídrica ( $w_{it,r}$ -equação 9) a ser atualizada para o cenário futuro ( $w'_{it,r}$ ) foram obtidas por mesorregião utilizaram-se valores aproximados dos mesmos que melhor refletissem a mesorregião para obter  $dw_{it,r}$  conforme descrito abaixo:

$$dw_{it,r} = \left[ \frac{(K_{ci} \cdot K_{Si,r})}{Ea_{i,r}} \right] \cdot 10 \cdot p_{t,r} \cdot 0,457 \cdot dT_{t,r} - \left[ \frac{10}{Ea_{i,r}} \right] \cdot dPef_{it,r} \quad (21)$$

$K_{ci}$  = coeficiente médio da cultura (i);

$K_{Si,r}$  = coeficiente de umidade por cultura (i) por mesorregião (r);

$Ea_{i,r}$  = eficiência de irrigação por cultura (i) por mesorregião (r);

$p_{t,r}$  = porcentagem média diária de horas de luz do sol sobre o total anual, tabelado em função do mês (t) e da latitude do local associada à mesorregião (r);

$dT_{t,r}$  = variação absoluta na temperatura por mês (t) e por mesorregião (r);

$Pef_{it,r}$  = precipitação efetiva de cada cultura (i) no mês (t) de cada mesorregião (r) em (mm.mês<sup>-1</sup>).

Devido à indisponibilidade de microdados, que permitissem fazer o cálculo do  $K_c$  por mesorregiões optou-se por utilizar o  $K_{ci}$  padrão médio de cada cultura (ver Tabela 4), em

todas as mesorregiões e meses. Deve-se ressaltar que a atualização  $dw_{it,r}$  é que vai apresentar esta uniformidade nos valores deste coeficiente, mas os valores  $w_{it,r}$  trazem com eles as diferenças de  $Kc_{it,m}$  entre culturas, meses e municípios adotados pela FUNARBE(2011). Outro aspecto importante é que, segundo FUNARBE (2011), a utilização do coeficiente de umidade ( $Ks$ ), indiretamente, diminui o impacto do problema do uso de valores  $Kc$  padrão.

Tabela 4 - Coeficiente Médio das Culturas

|                | Kc_médio |
|----------------|----------|
| Algodão        | 1,20     |
| Arroz          | 1,20     |
| Cana-de-açúcar | 1,25     |
| Feijão         | 1,05     |
| Milho          | 1,20     |
| Trigo          | 1,15     |
| Sorgo          | 1,10     |
| Soja           | 1,15     |
| Mandioca       | 1,10     |

Fonte: FUNARBE, 2011

Os valores de  $Ks$  originais utilizados para os municípios são dados para cada cultura em função do seu método de irrigação mais frequente. Os mesmos foram obtidos pelo projeto GEF São Francisco (ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2002 apud FUNARBE, 2011), a saber: Irrigação por aspersão ( $Ks = 0,81$ ) e Irrigação localizada ( $Ks = 0,88$ ). Para obter esses mesmos valores para as mesorregiões consultaram-se os dados do censo agropecuário 2006 do IBGE, que fornece o tipo de técnica usada na irrigação por mesorregião, mas não identifica a cultura em que a mesma é utilizada.

Assim, para as mesorregiões que apresentaram área irrigada por aspersão igual ou maior que 50% da sua área irrigada total, considerou-se o coeficiente 0,81 (por aspersão) para todas as culturas ali localizadas. Para as mesorregiões que apresentaram um percentual de irrigação por aspersão menor do que 50%, foi considerado 0,88 o coeficiente  $Ks$  de todas as culturas localizadas nessa mesorregião.

Com relação à eficiência de irrigação, o valor utilizado pela FUNARBE foi por cultura em cada município. Como o método de irrigação pode apresentar diferentes níveis de

eficiência<sup>27</sup>, os dados originais utilizaram-se dos resultados da ANA/GEF/PNUMA/OEA (2002), dados por: Irrigação por aspersão ( $E_a = 0,71$ ) e Irrigação localizada ( $E_a = 0,79$ ). Para definir o  $E_{a_{i,r}}$  por cultura  $i$  e mesorregião  $r$  utilizou-se a mesma aproximação considerada para  $Ks_{i,r}$ . Em outras palavras, considerou-se que no cenário futuro, as mesmas condições de uso das tecnologias de irrigação no Brasil dadas por estes valores da ANA/GEF/PNUMA/OEA (2002) se manterão. Ressalta-se o que já foi informado anteriormente, que na opinião de SILVA (2015)<sup>28</sup> esta é uma premissa aceitável.

O valor de  $p_{t,r}$  foi obtido através da tabela abaixo, associando-se cada uma das mesorregiões com a respectiva latitude.

Tabela 5 - Proporção média diária ( $p$ ) de horas de luz para diferentes latitudes

| Lat. | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul   | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |
|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|
| 0S   | 0,27 | 0,27 | 0,27 | 0,27 | 0,27 | 0,27 | 0,277 | 0,27 | 0,27 | 0,27 | 0,27 | 0,27 |
| 5oS  | 0,28 | 0,28 | 0,28 | 0,27 | 0,27 | 0,27 | 0,277 | 0,27 | 0,27 | 0,28 | 0,28 | 0,28 |
| 10oS | 0,29 | 0,28 | 0,28 | 0,27 | 0,26 | 0,26 | 0,26  | 0,27 | 0,27 | 0,28 | 0,28 | 0,29 |
| 15oS | 0,29 | 0,28 | 0,28 | 0,27 | 0,26 | 0,25 | 0,26  | 0,26 | 0,27 | 0,28 | 0,29 | 0,29 |
| 20oS | 0,3  | 0,29 | 0,28 | 0,26 | 0,25 | 0,25 | 0,25  | 0,26 | 0,27 | 0,28 | 0,29 | 0,3  |
| 25oS | 0,31 | 0,29 | 0,28 | 0,26 | 0,25 | 0,24 | 0,24  | 0,26 | 0,27 | 0,29 | 0,3  | 0,31 |
| 30oS | 0,31 | 0,3  | 0,28 | 0,26 | 0,24 | 0,23 | 0,24  | 0,25 | 0,27 | 0,29 | 0,31 | 0,32 |
| 35oS | 0,32 | 0,3  | 0,28 | 0,25 | 0,23 | 0,22 | 0,23  | 0,25 | 0,27 | 0,29 | 0,31 | 0,32 |
| 40oS | 0,33 | 0,31 | 0,28 | 0,25 | 0,22 | 0,21 | 0,22  | 0,24 | 0,27 | 0,3  | 0,32 | 0,34 |
| 46oS | 0,34 | 0,31 | 0,28 | 0,24 | 0,21 | 0,2  | 0,2   | 0,23 | 0,27 | 0,3  | 0,34 | 0,35 |
| 50oS | 0,35 | 0,32 | 0,28 | 0,24 | 0,2  | 0,18 | 0,19  | 0,23 | 0,27 | 0,31 | 0,34 | 0,36 |

Fonte: Doorembos e Pruitt, (1990) apud Tucci. (1993).

A Variação da Temperatura ( $dT_{t,r}$ ) em valores absolutos foi obtida dos resultados dos modelos climáticos globais dados pelo IPCC (2013) por trimestre. O IPCC divide o mundo por regiões (ver anexo E), em que o Brasil aparece dividido em duas de suas regiões: a Região 11 (Norte, Nordeste, Centro Oeste e parte da Região Sudeste do Brasil) e a Região 12 (parte da região sudeste e a região sul do Brasil).

<sup>27</sup> Depende da uniformidade de distribuição das lâminas de irrigação, da condição de localização de aplicação dessas lâminas, das características dos emissores e da interferência das condições climáticas entre outros fatores.

<sup>28</sup> SILVA, D. D. (Defesa de Tese em Economia. UFPE – PIMES). Comunicação Pessoal, 2015.

Para transformar os dados trimestrais em mensais, apenas repetiu-se os dados do trimestre para cada um dos três meses, e para trazer os dados das Regiões 11 e 12 do IPCC para as mesorregiões do modelo utilizou-se a localização geográfica (latitude). Ou seja, todas as mesorregiões incluídas na Região 11 tomaram os dados de variação da temperatura prevista na Região 11, o mesmo é verdade para as mesorregiões contidas na Região 12.

Finalmente, era necessária uma correspondência entre Precipitação média mensal e precipitação efetiva mensal, pois os dados do IPCC preveem uma variação percentual na precipitação média no período e os valores dos coeficientes a se atualizar (ver Equação 20) estão em função da precipitação efetiva.

Para transformar a precipitação média mensal em efetiva usamos os dados da Tabela 6 descritos por Doorenbos & Pruitt (1992) no Boletim FAO n-24. Essa tabela incorpora alterações no comportamento da infiltração, em função da quantidade de recursos hídricos disponível no solo no momento da irrigação. Os valores de precipitação efetiva inicial  $P_{efit,r}$  foram então obtidos usando como parâmetro de entrada a precipitação mensal observada em cada mesorregião e em cada mês e a evapotranspiração potencial da cultura naquela mesorregião e naquele mês, usando a tabela abaixo.

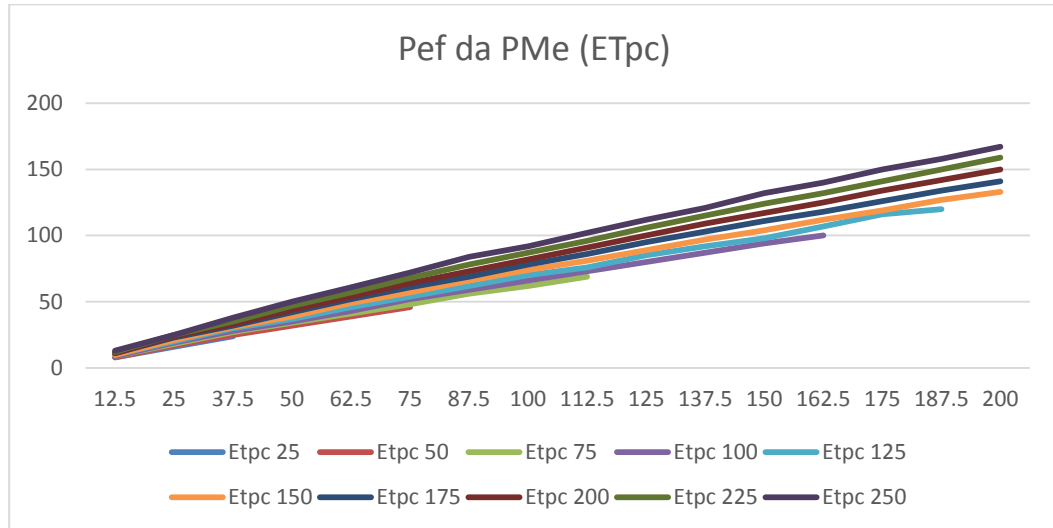
Tabela 6 - Valores de precipitação efetiva em função da evapotranspiração potencial mensal da cultura e da precipitação mensal

| Precipitação Mensal (mm)         |      |    |      |    |      |    |      |     |       |     |       |     |       |     |       |     |
|----------------------------------|------|----|------|----|------|----|------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
|                                  | 12,5 | 25 | 37,5 | 50 | 62,5 | 75 | 87,5 | 100 | 112,5 | 125 | 137,5 | 150 | 162,5 | 175 | 187,5 | 200 |
| Precipitação Efetiva Mensal (mm) |      |    |      |    |      |    |      |     |       |     |       |     |       |     |       |     |
| ETpc 25                          | 8    | 16 | 24   |    |      |    |      |     |       |     |       |     |       |     |       |     |
| ETpc 50                          | 8    | 17 | 25   | 32 | 39   | 46 |      |     |       |     |       |     |       |     |       |     |
| ETpc 75                          | 9    | 18 | 27   | 34 | 41   | 48 | 56   | 62  | 69    |     |       |     |       |     |       |     |
| ETpc 100                         | 9    | 19 | 28   | 35 | 43   | 52 | 59   | 66  | 73    | 80  | 87    | 94  | 100   |     |       |     |
| ETpc 125                         | 10   | 20 | 30   | 37 | 46   | 54 | 62   | 70  | 76    | 85  | 92    | 98  | 107   | 116 | 120   |     |
| ETpc 150                         | 10   | 21 | 31   | 39 | 49   | 57 | 66   | 74  | 81    | 89  | 97    | 104 | 112   | 119 | 127   | 133 |
| ETpc 175                         | 11   | 23 | 32   | 42 | 52   | 61 | 69   | 78  | 86    | 95  | 103   | 111 | 118   | 126 | 134   | 141 |
| ETpc 200                         | 11   | 24 | 33   | 44 | 54   | 64 | 73   | 82  | 91    | 100 | 109   | 117 | 125   | 134 | 142   | 150 |
| ETpc 225                         | 12   | 25 | 35   | 47 | 57   | 68 | 78   | 87  | 96    | 106 | 115   | 124 | 132   | 141 | 150   | 159 |
| ETpc 250                         | 13   | 25 | 38   | 50 | 61   | 72 | 84   | 92  | 102   | 112 | 121   | 132 | 140   | 150 | 158   | 167 |

Fonte: Doorenbos & Pruitt (1992) apud Funarbe 2011.

Assim, para cada valor de precipitação média mensal há vários valores de precipitação efetiva mensal que dependem da Evapotranspiração Potencial da Cultura. Ver Figura 7

Figura 7 - Relação entre PEf e PMe



Fonte: Elaboração Própria

Os dados de precipitação média mensal observado em cada mesorregião e em cada mês foram obtidos da EMBRAPA (2013) para alguns municípios brasileiros. Tomou-se para cada mesorregião os valores de um dos seus municípios como representativo da região inteira. Para calcular a Evapotranspiração Potencial da Cultura (ETpc) utilizou-se inicialmente a Equação (16) juntamente com a Tabela (7) -  $p_{t,r}$  - e a temperatura média mensal da mesorregião no mês, para calcular o  $ETO_{t,r}$ .

A temperatura média mensal da mesorregião foi obtida através de uma média aritmética das temperaturas médias dos municípios que compõem a mesorregião, dado também fornecido pela EMBRAPA (2013). Para associar a cultura, utilizou-se o  $Kc_i$  médio da mesma, e utilizando a equação abaixo, identificou-se o  $ETpc_{it,r}$ :

$$ETpc_{it,r} = ETO_{t,r} \cdot Kc_i \quad (22)$$

Como precisava-se estimar a variação da precipitação efetiva de cada cultura (i) no mês (t) de cada mesorregião (r), ou seja,  $dPef_{it,r}$  (ver equação 21), ainda era necessário calcular a precipitação efetiva final ( $Pef_{it,r}$ ), ou seja, aquela associada à precipitação média mensal após a aplicação da Variação Percentual na Precipitação Média (Pme) estimada pelos modelos do IPCC.

Aplicou-se então o percentual dado pelos modelos do IPCC sobre a precipitação média mensal de cada mesorregião e mês para obter o seu valor final na mesma mesorregião e mês. A precipitação efetiva por cultura, mesorregião e mês no futuro foi obtida da mesma forma já descrita acima, ou seja, a partir desta Precipitação média mensal final da mesorregião e mês utilizando-se a Tabela 6 e a Figura 7. Dessa forma, obteve-se a precipitação efetiva mensal por mesorregião e cultura devidamente ajustada pelas previsões dos modelos e pôde-se então obter a variação da precipitação efetiva em valores absolutos  $dPe_{it,r}$  necessários para atualização dos coeficientes utilizados nas restrições de disponibilidade hídrica ( $w_{it,r}$ ).

Para os cenários climáticos, o relatório do IPCC define quatro famílias (A1, A2, B1 e B2) que descreve as relações entre as forças motrizes das emissões de gases de efeito estufa e sua evolução ao longo do século 21 para as grandes regiões no mundo. A família A1 representa um mundo no futuro com um crescimento econômico muito rápido, a população mundial atingindo o pico em meados do século, com um declínio em seguida, e uma rápida introdução de tecnologias novas e mais eficientes. (Econômico e Global).

A família A2, por sua vez, representa um mundo muito heterogêneo, com o aumento contínuo da população mundial e o crescimento econômico orientado regionalmente, mais fragmentado e mais lento do que em outras histórias. (Econômico e Regional). A família B1, assim como a família A1, considera um crescimento econômico muito rápido, mas com rápidas mudanças nas estruturas econômicas em direção a uma economia de serviços e informação, com a introdução de tecnologias limpas e utilização eficiente dos recursos. (Ambiental e Global).

Finalmente, a família B2 representa um mundo em que a ênfase está em soluções locais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental, com o aumento contínuo da população (inferior a A2) e desenvolvimento econômico intermediário. (Ambiental e Regional). Para cada família o IPCC usa sete modelos diferentes que consideram algumas projeções quantitativas como, população e desenvolvimento econômico. Para mais detalhes ver Anexo E. Considerando as quatro famílias, e sete modelos diferentes, 28 famílias/modelos foram obtidos para atualizar os coeficientes para 2030.

Nessa fase de atualização não utilizou-se nenhum critério de seleção, essa seleção foi feita posteriormente na valiação dos resultados do modelo, conforme consta na seção (6.1). Para ilustrar os valores que foram obtidos a partir dos modelos do IPCC, a Tabela 7 apresenta os valores estimados de variação absoluta na temperatura e mudanças percentuais na

precipitação média do IPCC para a Região 12 (parte da região sudeste e a região sul do Brasil) para os meses de dezembro a fevereiro.

Tabela 7- Dados Estimados de Variação de Precipitação e Temperatura do IPCC para região 12 no mês de Dezembro a Fevereiro

| Dezembro a Fevereiro  | Temperatura Absoluta |        |        |        | Variação Percentual na Precipitação Média |       |       |       |
|-----------------------|----------------------|--------|--------|--------|-------------------------------------------|-------|-------|-------|
| IPCC Modelos\Famílias | A2                   | B2     | A1     | B1     | A2                                        | B2    | A1    | B1    |
| CCSRNIES              | 0,9981               | 1,0123 | 1,1420 | 0,8406 | -1,15                                     | -2,28 | -2,27 | -0,45 |
| CSIRO                 | 0,9188               | 0,9804 | 0,9923 | 1,0422 | -2,18                                     | -1,4  | -2,35 | -1,45 |
| ECHAM4                | 0,9568               | 0,9610 | 1,0525 | 0,8265 | 4,35                                      | 5,2   | 4,79  | 4,47  |
| HADCM3                | 1,0022               | 0,8445 | 1,0924 | 0,7347 | -0,57                                     | 3,57  | -0,62 | 3,11  |
| NCAR PCM              | 0,7206               | 0,7354 | 0,7927 | 0,6325 | 1,61                                      | 2,22  | 1,77  | 1,91  |
| CGCM2                 | 1,0471               | 1,1868 |        |        | 1,92                                      | 3,07  |       |       |
| GFDL-R30              | 0,8799               | 0,9197 |        |        | 2,87                                      | 0,84  |       |       |

Fonte: IPCC, 2013.

Usando valores como esses, obteve-se para cada cultura, mesorregião e mês na equação 21 a variação dos coeficientes já agregados, atualizados em função das mudanças de temperatura e precipitação nos diversos cenários climáticos ( $dw_{it,r}$ ). Assim:

$$w'_{it,r} = w_{it,r} + dw_{it,r} \quad (23)$$

A segunda variável exógena da Equação 9, que dá a oferta total para o setor de agricultura irrigada na mesorregião e no mês ( $W_{t,r}$ ) foi também atualizada a partir destes novos coeficientes ( $w'_{it,r}$ ), considerando também uma projeção de novas áreas irrigadas projetada para o futuro. Essa nova área irrigada foi obtida a partir de projetos do governo brasileiro, a saber, o projeto Mais irrigação e o PPA-Mais Brasil (ver anexo A), que fornecem novos valores de áreas irrigadas por município. Como os projetos não especificam as culturas a que essas novas áreas irrigadas serão destinadas, distribuiu-se as novas áreas por cultura, de forma a manter a mesma proporção de área irrigada atual com aquela cultura na mesorregião, conforme abaixo:

$$\text{Area Ir}'_{it,r} = \left( \text{Area Projeto}_r * \frac{\text{Area Ir}_{it,r}}{\text{area Ir}_{t,r}} \right) \quad (24)$$

Area Ir'<sub>it,r</sub> = área irrigada no futuro por cultura (i), por mês (t) e mesorregião (r);

Area Projeto<sub>r</sub> = área irrigada designada pelo programa 'Mais irrigação' por mesorregião (r);

Area Ir<sub>it,r</sub>= área irrigada (ano base 2006) por cultura (i), mês (t) e mesorregião (r) (FUNARBE, 2011);

Area Ir<sub>t,r</sub>= Total da area irrigada (ano base 2006) no mês (t) na mesorregião (r) (FUNARBE, 2011);

A nova oferta de água para irrigação passou a ser dada por:

$$W'_{t,r} = \sum_i w'_{it,r} * (Area Ir_{it,r} + Area Ir'_{it,r}) \quad (25)$$

$W'_{t,r}$ = nova oferta de água para agricultura irrigada no tempo (t) e por mesorregião (r);

$w'_{it,r}$ = novo coeficiente de consumo por cultura (i) no tempo (t), na mesorregião (r);

$Area Ir'_{it,r}$ = Nova área irrigada por cultura (i), no tempo (t), na mesorregião (r).

Finalmente, a última variável exógena ( $\Delta_{i,r}$ ) das restrições de disponibilidade hídrica (ver Equação 9) também será atualizada para representar a variação da proporção de área irrigada em relação a proporção anterior em relação ao cenário atual.

De forma que no cenário 1 no futuro:

$$\Delta'_{i,r} = \Delta^{h'}_{i,r} = \frac{Harvested Area Used Irrigation_{i,r} + Area HvtIrr'_{i,r}}{Total Harvested Area_{i,r} + Area HvtIrr'_{i,r}} \quad (\text{para todo } i) \quad (26.1)$$

E no cenário 2:

$$\Delta'_{i,r} = \Delta^{h'}_{i,r} = \frac{Harvested Area Used Irrigation_{i,r} + Area HvtIrr'_{i,r}}{Total Harvested Area_{i,r} + Area HvtIrr'_{i,r}} \quad (\text{para todo } i \text{ exceto Cana e Soja}) \quad (26.2)$$

$$\Delta'_{i,r} = \frac{Irrigated Area_{i,r} + Irrigated Area'_{i,r}}{Area Plant_{i,r} + Irrigated Area'_{i,r}} \quad (\text{para } i = \text{Cana e Soja}) \quad (26.3)$$

$\Delta^{h'}_{i,r}$ = proporção da **futura** área colhida utilizando irrigação dividido pela **futura** área colhida total para a cultura (i) no meso (r);

Area HvtIrr'\_{i,r}= Futura Área colhida com irrigação para a cultura (i) na região (r).

$$Area HvtIrr'_{i,r} = \left( Area Projeto_r * \frac{Area HvtIrr_{i,r}}{area HvtIrr_r} \right) \quad (27)$$

Area HvtIrr\_{i,r}= área colhida irrigada (Censo IBGE, 2006);

Area HvtIrr\_r= Total da area colhida(Censo IBGE, 2006);

$\Delta'_{i,r}$  = **Futura** Proporção entre Área irrigada e área plantada para as culturas i (i = soja e cana);

$Irrigated Area'_{i,r}$ = Futura Área irrigada para a cultura (i= cana e soja) na região (r) no período futuro.

$$Irrigated Area'_{i,r} = \left( Area Projeto_r * \frac{Irrigated Area_{i,r}}{Irrigated Area_r} \right) \quad (28)$$

$Irrigated Area_{i,r}$ = área irrigada (Censo IBGE, 2006);

$Irrigated Area_r$ = Total da área irrigada(Censo IBGE, 2006);



Como mencionado, a ANA publicou para 2006 o valor de vazão de retirada para irrigação de 26.920 milhões (m³/ano). O modelo estendido (incluindo as restrições de disponibilidade hídrica) para o cenário atual (2007) estimou a Oferta de Água para Agricultura irrigada no valor 24.390 milhões (m³/ano). A nova oferta de água  $W'_{t,r}$  para agricultura irrigada no Brasil em 2030, considerando a variação de temperatura e precipitação dados pelas famílias/ modelos do IPCC para todo o Brasil, bem como o aumento da área irrigada no Nordeste gerado pelo projeto “Mais irrigação”, varia conforme consta na Tabela 8.

Tabela 8 - Nova Oferta de Água para Agricultura Irrigada no Brasil

| IPCC<br>Model | IPCC cenários NEW PEF |        |        |        |
|---------------|-----------------------|--------|--------|--------|
|               | A2                    | B2     | A1     | B1     |
|               | Milhões M³/ano        |        |        |        |
| CCSRNIES      | 27.022                | 27.428 | 26.579 | 26.122 |
| CSIRO         | 26.294                | 26.103 | 26.302 | 26.278 |
| ECHAM4        | 26.212                | 25.899 | 26.219 | 25.931 |
| HADCM3        | 27.540                | 27.119 | 27.655 | 26.996 |
| NCAR_PCM      | 25.951                | 25.802 | 25.934 | 25.854 |
| CGCM2         | 26.138                | 26.246 | 26.137 | 26.137 |
| GFDL-R30      | 25.619                | 25.548 | 26.137 | 26.137 |
| Average       | 26.397                | 26.306 | 26.423 | 26.208 |

Fonte: Elaboração Própria

Todos os modelos apresentam uma oferta de água para agricultura irrigada maior do que a do ano base, variando entre 25.548 milhões (m³/ano) e 27.655 milhões (m³/ano). A seção 6.2 apresenta o critério de escolha do modelo utilizado para o futuro. Assim, as novas restrições de disponibilidade hídrica, considerando alterações nos coeficientes de retirada de água devido a mudanças em temperatura e precipitação médias, bem como a ampliação das atuais áreas irrigadas será:

$$\sum_i w'_{it,r} \cdot \Delta'_{i,r} \cdot (CL^i_{br,r} + NL^i_{br,r}) \leq W'_{t,r} \quad (29)$$

Que é a mesma Equação (9), tendo as três variáveis exógenas alteradas conforme foi detalhado na última seção deste capítulo.

Os valores dos  $\Delta_{i,r}$  e do  $\Delta'_{i,r}$  atualizados aparecem no anexo B para cada um dos cenários.

Os valores dos coeficientes atualizados  $w'_{it,r}$  também aparecem no Anexo C.

### 5.5 Atualização das produtividades

Com a inclusão das restrições de disponibilidade hídrica, fez-se necessário tratar os rendimentos das culturas considerando a hipótese de que parte da terra é irrigada. Como mencionado, o modelo original considera o rendimento médio dos anos de 1996 a 2006 e não diferencia produtividades de uma mesma cultura, se de sequeiro ou irrigadas. O modelo estendido introduz duas possibilidades para simular as diferenças na produtividade geradas pela prática de irrigação.

Inicialmente considerou-se uma média ponderada (Equação 30) de produtividades irrigadas e de sequeiro para cada cultura e região, usando como pesos as proporções de área irrigada em relação às áreas plantadas já levantadas pelas equações 12. Para calcular as produtividades de sequeiro e irrigadas das culturas utilizaram-se o produto e a área colhida do IBGE (Censo, 2006), apresentadas de forma distinta no caso de uso de irrigação e sequeiro.

$$Yield_{i,r} = \left( \frac{Produto_{i,r}^{utiliza irrigação}}{Harvested Area Used Irrigation_{i,r}} \cdot \Delta_{i,r} \right) + \left( \frac{Produto_{i,r}^{não utiliza irrigação}}{Harvested Area No Used Irrigation_{i,r}} \cdot (1 - \Delta_{i,r}) \right) \quad (30)$$

$Yield_{i,r}$  = Rendimento da cultura (i) na região (r) (Ver Anexo D);

$Produto_{i,r}^{utiliza irrigação}$  = Produto da cultura (i) na região (r) que utiliza irrigação; (Censo IBGE, 2006);

$Harvested Area Used Irrigation_{i,r}$  = Área colhida que usa irrigação para a cultura (i) e meso (r) (Censo IBGE, 2006);

$Produto_{i,r}^{não utiliza irrigação}$  = Produto da cultura (i) na região (r) que não utiliza irrigação (Censo IBGE, 2006);

$Harvested Area No Used Irrigation_{i,r}$  = Área colhida que não usa irrigação para a cultura (i) e meso (r) (Censo IBGE, 2006);

Conforme consta na Equação 12.2 e 12.3 o delta usado é a proxy  $\Delta_{i,r}^h$  para todas as culturas exceto soja e cana na meso (r). Para a soja e cana usa-se a área irrigada sobre a plantada dada pelo Censo 2006.

Alguns trabalhos empíricos estimam a diferença entre o ganho de produtividade com irrigação e sem irrigação. Glauber et al. (2011) estimaram a produtividade da cana de açúcar sobre a irrigação e a área de sequeiro, e concluíram que a produtividade média da cana aumenta 23% quando irrigada. Flumignan (2013) estima que a irrigação possa aumentar até três vezes a produtividade do trigo, porém esse trabalho utilizou um aumento de 50% para o trigo irrigado. Aquino e Berger (2011) estimaram um ganho na produtividade com o uso da irrigação de 78 a 85% em relação ao cultivo sob condições de sequeiro.

A EMBRAPA (2011) estima que a produtividade do Arroz irrigado é bem superior ao da produção de sequeiro. O presente trabalho considera um aumento de 10%. Almeida (2011)

estima um ganho de produtividade em torno de 20% para o sorgo quando utiliza irrigação. Baseado em Torres et al. (2014) utilizou-se um aumento de 10% para a produtividade do feijão irrigado e da mandioca irrigada (NASCIMENTO et al., 2010).

Tabela 9 - Ganhos Adicionais com Irrigação por Cultura

| Culturas       | Ganho com produtividade das culturas quando irrigadas |
|----------------|-------------------------------------------------------|
| Cana-de-açúcar | 23%                                                   |
| Milho          | 50%                                                   |
| Soja           | 50%                                                   |
| Trigo          | 40%                                                   |
| Algodão        | 60%                                                   |
| Arroz          | 10%                                                   |
| Sorgo          | 20%                                                   |
| Mandioca       | 10%                                                   |
| Feijão         | 10%                                                   |

Fonte: Elaboração Própria

Nesse caso, a segunda simulação parte da média utilizada pelo modelo original, acrescida desses percentuais (Tabela 9) segundo Equação 31:

$$Yield_{i,r} = Yield\_Medio_{i,r} * \Delta_{i,r} * (1 + ganho\%_i) + Yield\_Medio_{i,r} * (1 - \Delta_{i,r}) \quad (31)$$

$Yield\_Medio_{i,r}$  = Rendimento médio por cultura (i) e região (r) (modelo original);

$ganho\%_i$  = Ganho na produtividade gerado pela irrigação da cultura (i) dado pela Tabela 9.

O  $\Delta_{i,r}$  é o mesmo utilizado nas equações 12.2 e 12.3 e na equação 30 acima. Os valores obtidos com a equação 30, equação 31 e os valores médios adotados no modelo original aparecem no Anexo D.

Deve-se ressaltar que esta última simulação acrescenta-se um ganho de rendimento, dado pela irrigação de cada cultura obtido na literatura (Tabela 9), sobre a produtividade utilizada no modelo original. A produtividade utilizada no modelo original não distingue as áreas de sequeiro e irrigadas e, portanto, incorporam as características de ambas, o que deve levar a uma sub-estimativa das produtividades sob irrigação. As simulações obtidas com os três rendimentos utilizados<sup>29</sup> são apresentadas abaixo na Tabela 10.

---

<sup>29</sup> Rendimento médio do modelo original, Rendimento da cultura irrigada colhida e não irrigada colhida do ano de 2006 e rendimento médio original acrescido do ganho com irrigação obtida na literatura.

Tabela 10 - Validação para os três cenários para rendimento no Brasil (2007 em Milhões de Hectares)

| Culturas                   | Observado    | Validação                           |         |                                                               |         |                                                                               |         |
|----------------------------|--------------|-------------------------------------|---------|---------------------------------------------------------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------|---------|
|                            |              | Rendimento médio do modelo original |         | Rendimento médio acrescido do ganho com irrigação(Equação 31) |         | Rendimento real da cultura irrigada e não irrigada do ano de 2006(Equação 30) |         |
|                            |              | Delta 1                             | Delta 2 | Delta 1                                                       | Delta 2 | Delta 1                                                                       | Delta 2 |
| Cana-de-açúcar             | 7,09         | 6,18                                | 6,18    | 5,92                                                          | 5,99    | 8,41                                                                          | 8,43    |
| Milho                      | 14,01        | 11,90                               | 11,90   | 11,99                                                         | 11,87   | 11,67                                                                         | 11,68   |
| Soja                       | 20,57        | 22,97                               | 22,97   | 22,54                                                         | 22,97   | 21,47                                                                         | 21,50   |
| Trigo                      | 1,86         | 2,78                                | 2,78    | 2,78                                                          | 2,78    | 1,35                                                                          | 1,34    |
| Algodão                    | 1,13         | 0,99                                | 0,99    | 0,95                                                          | 0,98    | 0,80                                                                          | 0,81    |
| Arroz                      | 2,92         | 2,03                                | 2,03    | 1,95                                                          | 1,99    | 1,87                                                                          | 1,89    |
| Sorgo                      | 0,67         | 0,77                                | 0,77    | 0,76                                                          | 0,77    | 0,70                                                                          | 0,70    |
| <b>Total Área Plantada</b> | <b>47,98</b> | 42,61                               | 42,61   | 41,86                                                         | 42,35   | 42,45                                                                         | 42,41   |
| <b>Total Área de Pasto</b> | <b>127</b>   | 124,41                              | 124,41  | 124,53                                                        | 124,40  | 124,24                                                                        | 124,17  |

Fonte: Elaboração Própria

O cenário que apresentou o melhor resultado para a calibração foi o rendimento médio original, uma vez que os resultados mais se aproximam do observado, principalmente para Cana-de-açúcar. Esperava-se que o rendimento real da cultura irrigada colhida apresentasse um resultado mais próximo do observado, porém, esse rendimento foi estimado com base em dados apenas de um ano, enquanto que o ganho médio considera informações de vários anos.

O rendimento médio do modelo original por não diferenciar o rendimento da área irrigada da área de sequeiro apresenta um resultado que subestima o rendimento da área irrigada e superestima o rendimento da área de sequeiro. A inclusão do ganho com irrigação (cenário rendimento médio acrescido do ganho de irrigação) deveria corrigir a subestimação da área irrigada, porém, isso não se verifica. Por isso, deste ponto em diante, o trabalho apresenta os resultados considerando o cenário rendimento médio do modelo original.

## 6 RESULTADOS

Conforme já explicitado na seção 5.4 os coeficientes de retirada usados na Equação 29 relativo às restrições de disponibilidade hídrica em cenários futuros foram atualizados usando-se os dados de mudanças de precipitação e temperatura de diversos modelos climáticos publicados pelo IPCC (2013).

Para rodar o modelo e obter o resultado para 2030 atualizaram-se, além dos novos coeficientes de retirada, a área irrigada projetada para o futuro e os deltas de proporções entre áreas irrigadas e plantadas, usando duas hipóteses (cenário 1: Área colhida que usa irrigação pela área colhida total para todas as culturas consideradas no modelo e cenário 2: área irrigada das culturas pela área Plantada da cultura para soja e cana-de-açúcar e razão das áreas colhidas para as demais culturas).

As novas áreas irrigadas consideradas foram obtidas com base num projeto do governo federal chamado Projeto Mais Irrigação (BRASIL, 2012). Este projeto pretende aumentar/revitalizar a área irrigada brasileira em aproximadamente 538 mil hectares, sendo 414 mil hectares no Nordeste. O programa está dividido em quatro eixos (Ver Anexo A).

Além do ‘Mais Irrigação’, outros projetos como ‘programa de irrigação do semiárido brasileiro’ que será uma espécie de "PAC da Irrigação" pretende explorar de forma mais eficiente o potencial da irrigação (BRASIL, 2014a). Ademais, obras como a Transposição do São Francisco, que objetiva ampliar a infraestrutura hídrica para disponibilizar recursos hídricos a novas áreas irrigadas também estão sendo desenvolvidos no Brasil (BRASIL, 2014b), porém estes não apresentavam a definição e a localização das novas áreas irrigadas, por isso não foram incorporados ao modelo.

A nova área irrigada considerada na modelagem foi obtida usando apenas o projeto ‘Mais Irrigação’ na Região Nordeste. Como citado, a região Sudeste concentra cerca de 37% do total da área irrigada no país. Por isso, a simulação do modelo considerando que o aumento da área irrigada se concentre na região Nordeste não deve ficar muito longe da realidade. Como no projeto ‘Mais Irrigação’ não são especificadas as culturas a que essas novas áreas irrigadas serão destinadas, distribuiu-se as novas áreas por cultura, de forma a manter a mesma proporção de área irrigada atual com a cultura em cada mesorregião (ver equações 24).

Os dados de mudança de precipitação e temperatura são publicados pelo IPCC, para quatro cenários e usando sete modelos diferentes. Ou seja, são ao todo 28 diferentes previsões

para mudanças de temperatura e precipitação. A partir daí e usando o procedimento explicado na seção 5.4 calcularam-se 28 diferentes conjuntos de parâmetros exógenos a se usar na Equação 29 para 2030.

A água total disponível para agricultura irrigada considerada nestas 28 previsões é apresentada na Tabela 8. Segundo o IPCC, todos os modelos/cenários são representativos, logo, para esse trabalho, escolhemos ECHAM4 aleatoriamente. Os resultados para os outros 27 cenários, são apresentados no anexo F.

### 6.1 Principais resultados agregados

Inicialmente, o modelo é validado para o ano base de 2007, com as restrições de disponibilidade hídrica sendo consideradas para as mesorregiões (ver seção 5.3) e a disponibilidade de água para a agricultura irrigada dada por 24.390 milhões (m<sup>3</sup>/ano). (Ver Equação 13)

A Tabela 11 apresenta os resultados da área alocada para as principais culturas no Brasil, considerando ‘Rendimento médio’. Observa-se que, em geral, os resultados do modelo estendido se aproximaram dos valores observados (censo agropecuário). Da mesma forma, os resultados relativos à demanda total, fornecimento de culturas primárias e produtos processados, bem como comércio internacional, distribuição regional do padrão de culturas e alocação de recursos apresentaram aproximações satisfatórias. Como a validação não considera variação dos rendimentos, os resultados para o modelo com e sem restrição hídrica são idênticos. Por isso, a Tabela 11 apresenta uma única coluna para validação.

Tabela 11 - Resultados da Validação do Modelo para o Brasil (2007 em Milhões de Hectares)

|                            | <b>Observado</b> | <b>Validado</b> |
|----------------------------|------------------|-----------------|
| Cana-de-açúcar             | 7,09             | 6,18            |
| Milho                      | 14,01            | 11,90           |
| Soja                       | 20,57            | 22,97           |
| Trigo                      | 1,86             | 2,78            |
| Algodão                    | 1,13             | 0,99            |
| Arroz                      | 2,92             | 2,03            |
| Sorgo                      | 0,67             | 0,77            |
| <b>Total Área Plantada</b> | <b>47,98</b>     | 42,61           |
| <b>Total Área de Pasto</b> | <b>127,00</b>    | 124,41          |

Fonte: Elaboração Própria.

Os resultados simulados e validados para 2007 (ver escolha do cenário rendimento na seção 5.5 Tabela 10) mostraram que as restrições de disponibilidade hídrica para irrigação no Brasil apresentaram-se ativas (*binding constraint*), e os resultados para as principais culturas, Cana-de-açúcar, milho e soja, variaram em torno de 15% em relação aos valores observados (2007), o que foi considerado satisfatório.

Em seguida, o modelo foi usado para prever os impactos das demandas nacional e global de biocombustíveis projetadas para ano de 2030 sobre as alocações de terra para agricultura. Foram incorporadas projeções de aumento de produtividade das culturas no Brasil, Argentina e nos EUA baseado no rendimento médio das culturas para os anos de 2007 a 2009 como consta na Tabela 12, da mesma forma que no modelo original (seção 5.3).

Ademais, foram projetadas para o futuro a demanda interna e externa das comodites agrícolas (incluindo VKT) e as restrições de disponibilidade hídrica com os seus parâmetros exógenos (ver seção 5.4). Deve-se salientar que foi mantida a infraestrutura de irrigação existente relativa a 2006, de forma média (ver seção 5.4 relativa às atualizações dos coeficientes  $E_a$  e  $K_s$ ) mesmo tendo sido introduzidas atualizações nos coeficientes técnicos de uso das culturas, devido principalmente a aumentos previstos de temperatura e precipitação.

Tabela 12 - Taxa de Crescimento Médio no Rendimento para EUA, Brasil e Argentina aplicadas sobre as produtividades escolhidas para o modelo estendido

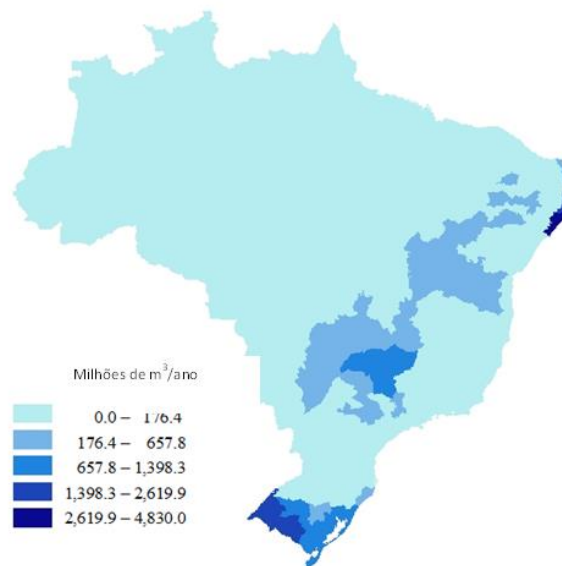
|                | USA    | BR     | ARG    |
|----------------|--------|--------|--------|
| Feijão1        | 0      | 0,0116 | 0      |
| Feijão2 e 3    | 0      | 0,0014 | 0      |
| Mandioca       | 0      | 0,0052 | 0      |
| Milho1         | 0,0126 | 0,016  | 0,0086 |
| Milho2         | 0      | 0,016  | 0      |
| Algodão        | 0,0014 | 0,0106 | 0      |
| Arroz          | 0,0039 | 0,0109 | 0      |
| Soja1          | 0,0157 | 0,009  | 0,0005 |
| Sorgo          | 0,01   | 0,0145 | 0      |
| Cana-de-açúcar | 0,0049 | 0,0164 | 0      |

Fonte: Modelo Original

Para a demanda do etanol global, foram considerados os pressupostos do cenário energético *Mandate Only*, único cenário utilizado neste trabalho, a saber: o mandato de mistura com biocombustível nos EUA como indicado na RFS, assumindo que as suas metas estabelecidas para 2022 vão prevalecer em 2030, bem como as demandas projetadas por parte

da UE, China e o resto do mundo (ver seção 5.2). Utilizando-se os valores obtidos para a variável que representa a disponibilidade hídrica para a agricultura irrigada projetada ( $w'_{it,r}$  ver Equação 23, capítulo 5) obtida neste estudo por mesorregiões no Brasil, obtém-se o mapa da Figura 8, que apresenta a distribuição espacial deste recurso.

Figura 8 - Distribuição Espacial projetada da água para agricultura irrigada no Brasil por mesorregião (2030)



Fonte: Elaboração Própria

Comparando a disponibilidade hídrica para a agricultura irrigada projetada para o futuro (2030) em relação ao ano base, percebe-se que a distribuição da água entre as regiões do Brasil mantêm-se praticamente a mesma. Como os novos investimentos em área irrigada encontrados em projetos do governo federal são no Nordeste (e incluídos no modelo), além dos maiores coeficientes de requerimento de água pelas culturas e alterações nas temperaturas e precipitações também são na região, é lá que aparece o maior acréscimo de água ofertado, como apresentado na Tabela 13.



Tabela 13 - Distribuição da ofertas totais de água atuais e projetadas para a agricultura irrigada no cenário IPCC - CCSRNIES A2 (Milhões de m<sup>3</sup> anuais)

| REGIÃO       | água 2006    |     | água 2030 <sup>30</sup> |     |
|--------------|--------------|-----|-------------------------|-----|
| NORTE        | 229          | 1%  | 241                     | 1%  |
| NORDESTE     | 9606         | 40% | 11638                   | 43% |
| SUDESTE      | 4876         | 20% | 5144                    | 19% |
| SUL          | 7468         | 31% | 7519                    | 28% |
| CENTRO-OESTE | 2107         | 9%  | 2272                    | 8%  |
| <b>TOTAL</b> | <b>24286</b> |     | <b>26815</b>            |     |

Fonte: Elaboração Própria

Os resultados do modelo deste estudo, comparados àqueles do modelo original (sem restrições de disponibilidade hídrica), são apresentados na Tabela 14 e mostram diferenças significativas, tanto no quantitativo de área de pasto que se transforma em área cultivada, quanto no novo *mix* das culturas nas áreas já utilizadas pela agricultura.

Tabela 14 - Simulação do Uso da Terra no Brasil considerando os modelos com e sem restrição de disponibilidade de água (2030, em Milhões de Hectares)

| (Milhões Ha)    | Observado     | Projeção (2030)                      |                                                    |         |
|-----------------|---------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------|---------|
|                 |               | Sem a restrição de recursos hídricos | Com a Restrição de recursos hídricos <sup>31</sup> |         |
|                 |               |                                      | Delta 1                                            | Delta 2 |
| Total de Terras | <b>47,98</b>  | 64,36                                | 50,84                                              | 51,35   |
| Cana de açúcar  | 7,09          | 19,01                                | 10,87                                              | 13,34   |
| Milho           | 14,01         | 14,56                                | 15,01                                              | 13,57   |
| Soja            | 20,57         | 28,55                                | 23,18                                              | 22,88   |
| Trigo           | 1,86          | 2,65                                 | 0,95                                               | 1,12    |
| Algodão         | 1,13          | 1,13                                 | 1,09                                               | 1,07    |
| Arroz           | 2,92          | 2,50                                 | 1,12                                               | 1,10    |
| Sorgo           | 0,67          | 0,59                                 | 0,30                                               | 0,29    |
| Mandioca        | 1,57          | 1,73                                 | 1,50                                               | 1,52    |
| Feijão          | 2,34          | 3,06                                 | 2,65                                               | 2,72    |
| área de Pasto   | <b>127,00</b> | 108,78                               | 101,82                                             | 102,96  |

Fonte: Elaboração Própria

<sup>30</sup> Para o Cenário do IPCC - CCSRNIES A2. A distribuição dos demais cenários segue a mesma tendência.

<sup>31</sup> Considerando rendimento médio do modelo original, sem ganhos da irrigação.

Pode-se levantar várias questões importantes a partir destes resultados. O modelo original (sem restrições hídricas) previu para 2030 uma expansão no Brasil do uso total de terras para produção agropecuária de cerca de 4% (partiu de 167 milhões de hectares em 2007 para 173 milhões de hectares), para atender o aumento da demanda por combustíveis, mesmo considerando os aumentos de produtividade das culturas utilizados. Além disso, a distribuição de terras para a agricultura entre as áreas de cultivo e pastagens é dramaticamente diferente em relação ao ano de validação.

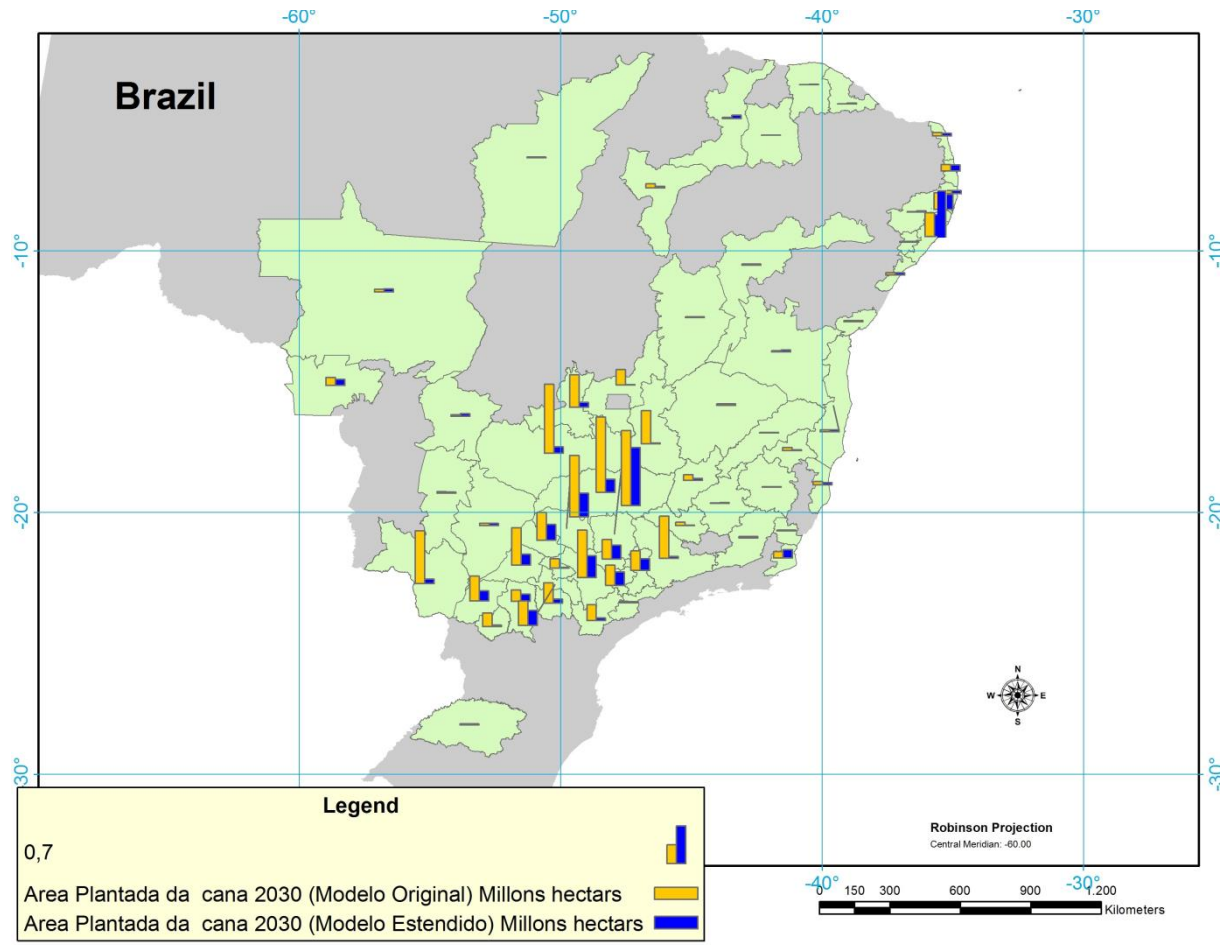
Quando a disponibilidade de água não é considerada, um aumento substancial (50% - de 42 milhões em 2007 para 64,36 milhões de hectares em 2030) é observado na área plantada total, a maioria dos quais (18 milhões de hectares, ) vem da conversão de pastagens em lavouras. As terras convertidas são usadas exclusivamente para a cana, soja e milho (cerca de 11, 5 e 2 milhões de hectares, respectivamente). As razões para isso são: *i*) aumento da produção de etanol de cana-de-açúcar para atender a demanda interna e das exportações (em particular para os EUA) e *ii*) para atender o aumento da demanda de alimentação para pecuária como resultado da intensificação e redução de pastagens.

Quando a disponibilidade de recursos hídricos é incorporada, no entanto, as projeções mudam bastante. Há uma redução significativa na área cultivada com cana-de-açúcar (10,87 e 13,34 milhões de hectares (delta 1 e 2 respectivamente), em oposição a 19,01 milhões de hectares, ver duas últimas colunas da Tabela 14). As razões para isso são: *i*) as regiões adequadas para a produção de cana têm disponibilidade de água limitada, o que favorece a produção de outras culturas em vez de cana de açúcar, cultura intensiva em uso de água; *ii*) a intensificação da pecuária de corte converte áreas de pasto para milho e soja.

Estes resultados invalidariam o argumento comum de que o Brasil tem uma vasta quantidade de recursos naturais, suficiente para atender a demanda mundial por etanol Sheldon e Roberts (2008). O Anexo F mostra os resultados obtidos quando consideradas as disponibilidades de água futuras, baseadas nas mudanças de temperatura e precipitação dos demais cenários climáticos globais (delta2).

A Figura 9 exibe a distribuição da área destinada ao cultivo da cana, resultante das projeções para 2030 para os dois modelos. O modelo original, sem incorporar as restrições de disponibilidade hídrica, perfaz um total 19,01 milhões hectares. O modelo estendido no cenário (2) mostra uma queda na a área alocada para a cana em 2030, que vai para um total de 13,34 milhões de hectares.

Figura 9 - Área Para Cultura de Cana - Modelo sem e com restrição de disponibilidade hídrica



Conforme consta na Tabela 15, o Sudeste e o Centro-Oeste apresentam as maiores quedas na área para cultura de cana, quando a restrição hídrica foi incluída. Isso deve-se principalmente a conversão de área de pasto, que era significativamente maior para o modelo sem a restrição hídrica. Como a cana de açúcar, como mencionado, é uma das culturas que mais demandam água, a expansão sobre a área de pasto no Sudeste e Centro-Oeste deixa de ocorrer, dado que o modelo não considerou aumentos significativos nestas regiões (ver tabela 13). Como na região Nordeste considerou-se um aumento na oferta, há uma expansão na área de cana da região em relação ao modelo sem restrições hídricas.

Tabela 35 - Área Para Cultura de Cana (Milhões ha)

| <b>Regiões</b> | <b>2006</b> | <b>Modelo Sem Restrição Hídrica(2030)</b> | <b>Modelo Com Restrição Hídrica(2030)</b> | <b>Variação entre os Modelos (2030)</b> |
|----------------|-------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|
| NORTE          | 0,02        | 0,01                                      | 0,01                                      | -1%                                     |
| NORDESTE       | 1,13        | 1,43                                      | 2,38                                      | 67%                                     |
| SUDESTE        | 4,16        | 11,54                                     | 7,36                                      | -36%                                    |
| SUL            | 0,48        | 1,73                                      | 1,95                                      | 13%                                     |
| CENTRO-OESTE   | 0,59        | 4,30                                      | 1,64                                      | -62%                                    |
| <b>BRASIL</b>  | <b>6,39</b> | <b>19,01</b>                              | <b>13,34</b>                              | <b>-30%</b>                             |

Fonte: Elaboração Própria

As projeções dos impactos da introdução das limitações hídricas no que se refere à produção de cana-de-açúcar e a consequente produção de etanol advindo da cana no Brasil, bem como os preços dos dois tipos de etanol resultantes no Brasil estão resumidos na Tabela 16.

Tabela 16 - Simulação para produção e processo industrial da Cana-de-açúcar no Brasil (2030)

|                                                      | <b>Modelo Sem Restrição Hídrica</b> | <b>Modelo Com Restrição Hídrica</b> | <b>Variação Percentual</b> |
|------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| Área Plantada com Cana-de-açúcar (M Ha)              | 19,01                               | 13,34                               | -30%                       |
| Produção de Cana-de-açúcar (M Ton)                   | 2.223,66                            | 1.502,31                            | -32%                       |
| Produção de açúcar (M Ton)                           | 457,65                              | 450,67                              | -2%                        |
| Produção de Etanol (M Ton)                           | 1.766,02                            | 1.051,64                            | -40%                       |
| Preço do Etanol Anidro produzido no BR (\$/litro)    | 0,45                                | 0,56                                | 25%                        |
| Preço do Etanol Hidratado produzido no BR (\$/litro) | 0,43                                | 0,54                                | 25%                        |
| Etanol da Cana-de-açúcar (B litro)                   | 144,42                              | 85,19                               | -41%                       |

Fonte: Elaboração Própria.

O uso da terra alocada para cultivo da cana para o Brasil cai significativamente (30%), consequentemente a sua produção também (32%), mais ainda cai à produção do etanol de cana (40%). Desta forma, os preços do etanol são afetados aumentando 25%.

Analisando os efeitos desses resultados de forma global, percebe-se que ao se incluir as restrições de disponibilidade hídrica, a produção de etanol nos Estados Unidos (EUA) aumenta acompanhando a queda da produção do etanol brasileiro, como mostra a Tabela 17.

Tabela 47 - Produção de Etanol por matéria prima no Brasil e nos EUA

|                                                          | Modelo Sem Restrição Hídrica | Modelo Com Restrição Hídrica | Variação Percentual |
|----------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------|
| <b>Milho Para produção de Etanol US (M Ton)</b>          | 143,54                       | 172,11                       | 20%                 |
| Etanol do Milho US (B litros)                            | 58,19                        | 69,77                        | 20%                 |
| Etanol Celulósico US (B litro)                           | 94,64                        | 94,64                        | 0%                  |
| <b>Cana-de-açúcar para produção de etanol BR (M Ton)</b> | 1.766,02                     | 1.051,64                     | -40%                |
| Etanol da Cana-de-açúcar Brasil (B litro)                | 144,42                       | 85,19                        | -41%                |
| Produção de Etanol Hidratado Brasil (B litro)            | 86,85                        | 29,18                        | -66%                |
| Produção de etanol Anidro Brasil (B litro)               | 57,57                        | 56,01                        | -3%                 |

Fonte: Elaboração Própria

Como consequência, o consumo no Brasil apresenta uma queda expressiva, enquanto que o consumo nos EUA se mantém constante como mostra a Tabela 18.

Tabela 58 - Variação no Consumo de etanol no Brasil e nos EUA

|                                     | Modelo Sem Restrição Hídrica | Modelo Com Restrição Hídrica | Variação Percentual |
|-------------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------|
| Consumo de Etanol nos EUA (B litro) | 177,91                       | 177,91                       | 0%                  |
| Consumo de Etanol no BR (B litro)   | 88,06                        | 40,42                        | -54%                |

Fonte: Elaboração Própria

Como esperado, com a menor produção de etanol no Brasil e maior nos EUA, percebe-se também uma inversão do sentido do comércio internacional do biocombustível. Sem restrições de disponibilidade hídrica, os EUA não exportam praticamente nenhum biocombustível para o Brasil e para o Resto do Mundo na projeção para 2030. Com as restrições hídricas, as exportações dos EUA para o Brasil crescem um pouco e Para o Resto do mundo crescem significativamente. Já as exportações do Brasil para os EUA se mantem constante e para o Resto do Mundo diminuem significativamente, como consta na Tabela 19.

Tabela 19 -Variação nas Exportações de Etanol do Brasil e dos EUA

|                                                   | Modelo Sem Restrição Hídrica | Modelo Com Restrição Hídrica | Variação Percentual |
|---------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------|
| Exportação de Etanol dos EUA para o BR (B litro)  | 0,00                         | 0,00                         | 1%                  |
| Exportação de Etanol dos US para ROW (B litro)    | 1,40                         | 12,98                        | 824%                |
| Exportação de Etanol do Brasil para US (B litro)  | 26,50                        | 26,50                        | 0%                  |
| Exportação de Etanol do Brasil para ROW (B litro) | 29,87                        | 18,27                        | -39%                |

Fonte: Elaboração Própria.

Com maior produção, consumo constante e um expressivo aumento das exportações de etanol na economia norte americana, o preço do etanol nos EUA sobe, com destaque para o preço ao produtor do etanol de milho (17%). Já para a economia Brasileira, uma menor produção eleva significativamente os preços dos dois tipos do etanol (25%) como consta na Tabela 20.

Tabela 60 - Variação nos Preços do Etanol no Brasil e nos EUA

|                                                                           | Modelo Sem Restrição Hídrica | Modelo Com Restrição Hídrica | Variação Percentual |
|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------|
| Etanol do Milho preço ao produtor US (\$/litro)                           | 0,61                         | 0,72                         | 17%                 |
| Etanol Celulósico preço ao produtor US (\$/litro)                         | 1,02                         | 1,09                         | 7%                  |
| Preço do Etanol US (\$/litro)                                             | 2,65                         | 2,65                         | 0%                  |
| Etanol Anidro da Cana-de-açúcar<br>Preço ao produtor Brasil (\$/litro)    | 0,45                         | 0,56                         | 25%                 |
| Etanol Hidratado da Cana-de-açúcar<br>Preço ao produtor Brasil (\$/litro) | 0,43                         | 0,54                         | 25%                 |

FONTE: Elaboração Própria

Sendo a gasolina uma alternativa ao etanol para os consumidores brasileiros na demanda por quilômetros viajados, tanto o consumo quanto a oferta aumentam, 73% e 44% respectivamente. Destaque para o aumento do consumo de gasolina em carros Flex no Brasil (84%), conforme apresentado na Tabela 21.

Tabela 71 - Consumo, oferta de Gasolina e preço do *Gasholl*

|                                               | Modelo Sem<br>Restrição<br>Hídrica | Modelo Com<br>Restrição<br>Hídrica | Variação<br>Percentual |
|-----------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------|
| <b>CONSUMO</b>                                |                                    |                                    |                        |
| Consumo de Gasolina por CVS US (B litro)      | 414,00                             | 414,00                             | 0%                     |
| Consumo de Gasolina por FFV US (B litro)      | 18,50                              | 18,50                              | 0%                     |
| Consumo de Gasolina Total US (B litros)       | 432,50                             | 432,50                             | 0%                     |
|                                               |                                    |                                    |                        |
| Consumo de Gasolina por CV Brasil (B litro)   | 5,07                               | 5,03                               | -1%                    |
| Consumo de Gasolina por FFV Brasil (B litro)  | 35,92                              | 66,05                              | 84%                    |
| Consumo de Gasolina Total Brasil (B litro)    | 40,99                              | 71,09                              | 73%                    |
|                                               |                                    |                                    |                        |
| Consumo de Gasolina ROW (B litro)             | 1.064,80                           | 1.064,80                           | 0%                     |
| <b>OFERTA</b>                                 |                                    |                                    |                        |
| Oferta de Gasolina US (B litros)              | 233,25                             | 233,25                             | 0%                     |
| Oferta de Gasolina Brasil (B litro)           | 67,95                              | 98,05                              | 44%                    |
| <b>GASOHOL</b>                                |                                    |                                    |                        |
| Gasohol preço ao consumidor US (\$/litro)     | 0,75                               | 0,75                               | 0%                     |
| Gasohol preço ao consumidor Brasil (\$/litro) | 1,18                               | 1,19                               | 1%                     |

Fonte: Elaboração Própria.

Já o consumo nos EUA e no ROW permanecem constantes. Outra variação importante é o preço do *Gasohol*, que, com as restrições de disponibilidade hídrica, apresenta um aumento de apenas 1% na economia brasileira como consta na Tabela 21.

## 6.2 Resultados projetados para 2030 referentes às demais commodities agrícolas

Como apresentado na Tabela 14, o resultado do modelo estendido, com restrições de disponibilidade hídrica, projetada para 2030, apresenta uma queda significativa na quantidade de terra alocada à plantação de cana-de-açúcar no Brasil em relação ao modelo original no cenário 2. Em relação às demais culturas, há menores variações na alocação. Apresenta-se agora maiores detalhes sobre essa alocação, bem como os impactos associados não só no Brasil, mas também nos EUA e na Argentina.

O Milho é utilizado tanto como alimentação humana e animal bem como matéria prima para produção de etanol. O milho é a principal biomassa utilizada nos EUA para

produção de etanol. Porém, há impactos ambientais significativos além de um balanço energético negativo, se comparado com outras biomassas.

Com as restrições de disponibilidade hídricas no Brasil, a alocação projetada para 2030 de terra para milho no país diminuem de 14,56 para 13,57 milhões de hectares considerando o delta 2 (ver Tabela 14). Porém a produção aumenta 7% o que deve-se a evolução do rendimento considerado para o milho (ver Tabela 9). Os preços por tonelada (ver Tabela 22), aumentam nas três economias, porém e o consumo doméstico diminui nos EUA e na Argentina e aumenta no Brasil.

Há um aumento nas exportações de milho da Argentina e dos EUA, porém, em valores absolutos esses aumentos são insignificantes. A produção de Milho que antes era destinada para o consumo doméstico dos EUA e para a exportação, passa a ser utilizada como insumo para produção do etanol americano, quando se introduzem as restrições hídricas no Brasil.

Tabela 82 - Variação na Produção, nos preços, nos consumos domésticos e nas exportações do Milho no Brasil, EUA e Argentina

|                                   | Modelo Sem Restrição Hídrica | Modelo Com Restrição Hídrica | Variação Percentual |
|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------|
| <b>PRODUÇÃO DE MILHO</b>          |                              |                              |                     |
| Brasil (M Ton)                    | 84,91                        | 90,98                        | 7%                  |
| US (M Ton)                        | 460,32                       | 465,34                       | 1%                  |
| Argentina (M Ton)                 | 13,49                        | 13,57                        | 1%                  |
| <b>PREÇO DO MILHO</b>             |                              |                              |                     |
| Brasil (\$/Ton)                   | 258,65                       | 291,95                       | 13%                 |
| US (\$/Ton)                       | 212,44                       | 254,36                       | 20%                 |
| Argentina (\$/Ton)                | 203,24                       | 245,16                       | 21%                 |
| <b>CONSUMO DOMÉSTICO DO MILHO</b> |                              |                              |                     |
| Brasil (M Ton)                    | 84,91                        | 90,98                        | 7%                  |
| US (M Ton)                        | 188,16                       | 169,60                       | -10%                |
| Argentina (M Ton)                 | 8,40                         | 7,81                         | -7%                 |
| <b>EXPORTAÇÃO DE MILHO</b>        |                              |                              |                     |
| Brasil (M Ton)                    | 128,61                       | 123,63                       | -4%                 |
| US (M Ton)                        | 0,0000011                    | 0,0000049                    | 353%                |
| Argentina (M Ton)                 | 5,09                         | 5,77                         | 13%                 |

Fonte: Elaboração Própria.

Com a restrição hídrica, a distribuição de terra nos EUA tenta compensar a produção de etanol que viria do Brasil e passa a não vir mais. Dessa forma, o modelo aloca nos EUA



mais terra para produção de Milho (para produção de seu etanol) em detrimento das demais culturas.

A terra destinada à plantação de trigo cai de 2,6 para 1,1 milhões de hectares no Brasil, o que representa uma queda de 58% na área plantada. Logo, a sua produção é muito influenciada por estas limitações, assim como seus preços e consumos domésticos nas demais economias. Para a produção de trigo em 2030 registram-se, em relação ao modelo original, uma queda de 57%, 2% e 8% no Brasil, US e na Argentina, respectivamente. O que provoca um aumento nos preços (9%, 10% e 10%) e uma queda no consumo doméstico (5%, 7% e 8%, respectivamente).

Tabela 93 - Variação na Produção, nos preços e nos consumos domésticos do Trigo no Brasil, EUA e Argentina

|                                   | Modelo Sem Restrição Hídrica | Modelo Com Restrição Hídrica | Variação Percentual |
|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------|
| <b>PRODUÇÃO DE TRIGO</b>          |                              |                              |                     |
| Brasil (M Ton)                    | 4,96                         | 2,15                         | -57%                |
| US (M Ton)                        | 67,50                        | 66,23                        | -2%                 |
| Argentina (M Ton)                 | 20,01                        | 18,49                        | -8%                 |
| <b>PREÇO DO TRIGO</b>             |                              |                              |                     |
| Brasil (\$/Ton)                   | 489,08                       | 533,05                       | 9%                  |
| US (\$/Ton)                       | 422,58                       | 466,55                       | 10%                 |
| Argentina (\$/Ton)                | 433,68                       | 477,65                       | 10%                 |
| <b>CONSUMO DOMÉSTICO DE TRIGO</b> |                              |                              |                     |
| Brasil (M Ton)                    | 36,59                        | 34,83                        | -5%                 |
| US (M Ton)                        | 9,02                         | 8,43                         | -7%                 |
| Argentina (M Ton)                 | 5,37                         | 4,94                         | -8%                 |

Fonte: Elaboração Própria.

Outro importante produto agrícola brasileira para o mercado internacional é a soja, pois o Brasil é um dos maiores exportadores de soja do mundo. Apesar de não ser uma cultura muito intensiva em água, as restrições hídricas, quando introduzidas alteram a quantidade de terra destinada para a referida cultura no país e, conseqüentemente, diminuem a produção brasileira em relação ao modelo original. Na economia Americana a terra destinada ao cultivo de soja aumenta (1%), (a produção aumenta (1%), o preço sobe (17%), e o consumo doméstico e as exportações caem (9%) e (6%), respectivamente).

Tabela 104 - Variação no Uso da Terra na Produção, nos preços, nos consumos domésticos e nas exportações da Soja no Brasil, EUA e Argentina

| <b>TERRA DESTINADA A SOJA</b>    | Modelo Sem Restrição Hídrica | Modelo Com Restrição Hídrica | Variação Percentual |
|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------|
| Brasil (M Ha)                    | 28,55                        | 22,88                        | -20%                |
| US (M Ha)                        | 26,18                        | 26,54                        | 1%                  |
| Argentina (M Ha)                 | 16,08                        | 16,44                        | 2%                  |
| <b>PRODUÇÃO DE SOJA</b>          |                              |                              |                     |
| Brasil (M Ton)                   | 92,76                        | 75,21                        | -19%                |
| US (M Ton)                       | 98,92                        | 99,44                        | 1%                  |
| Argentina (M Ton)                | 45,61                        | 46,87                        | 3%                  |
| <b>PREÇO SOJA</b>                |                              |                              |                     |
| Brasil (\$/Ton)                  | 560,03                       | 700,89                       | 25%                 |
| US (\$/Ton)                      | 581,71                       | 678,58                       | 17%                 |
| Argentina (\$/Ton)               | 565,03                       | 720,88                       | 28%                 |
| <b>CONSUMO DOMÉSTICO DE SOJA</b> |                              |                              |                     |
| Brasil (M Ton)                   | 3,59                         | 3,37                         | -6%                 |
| US (M Ton)                       | 2,41                         | 2,20                         | -9%                 |
| Argentina (M Ton)                | 1,57                         | 1,37                         | -13%                |
| <b>EXPORTAÇÃO DE SOJA</b>        |                              |                              |                     |
| Brasil (M Ton)                   | 51,55                        | 48,70                        | -6%                 |
| US (M Ton)                       | 61,86                        | 58,45                        | -6%                 |
| Argentina (M Ton)                | 1,15                         | 1,08                         | -6%                 |

Fonte: Elaboração Própria.

O Modelo considera ainda a possibilidade de liberação de área de pasto para o cultivo no Brasil, considerando a transformação da criação de gado para semi-intensiva. Obviamente, a substituição do processo extensivo em semi-intensivo aumenta a demanda de alimento para o gado, fator diretamente ligado ao aumento da produção do farelo e do óleo de soja.

Com relação ao Farelo de soja, a inserção da restrição hídrica no Brasil provoca uma queda da produção, aumento nos preços, no consumo doméstico e nas exportações. Porém, na economia Americana, o movimento é inverso. A produção de farelo de soja sobe significativamente, levando a uma queda do preço, ao aumento no consumo doméstico e das exportações. Ver Tabela 25.

Já o preço e as exportações de óleo de soja no Brasil aumentam, 32% e 25% respectivamente, diminuindo a produção (39%) e o consumo doméstico (-6%). Na economia Norte Americana, a produção, a exportação e o preço aumentam enquanto o consumo cae, conforme Tabela 26.

Tabela 115 - Variação na Produção, nos preços, nos consumos domésticos e nas exportações de Farelo de Soja no Brasil, EUA e Argentina

| <b>TERRA DESTINADA PRODUÇÃO DE FARELO DE SOJA</b> | Modelo Sem Restrição Hídrica | Modelo Com Restrição Hídrica | Variação Percentual |
|---------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------|
| Brasil (M Ton)                                    | 29,34                        | 18,04                        | -39%                |
| US (M Ton)                                        | 27,02                        | 30,26                        | 12%                 |
| Argentina (M Ton)                                 | 33,46                        | 34,65                        | 4%                  |
| <b>PREÇO FARELO DE SOJA</b>                       |                              |                              |                     |
| Brasil (\$/Ton)                                   | 370,90                       | 413,61                       | 12%                 |
| US (\$/Ton)                                       | 398,30                       | 387,68                       | -3%                 |
| Argentina (\$/Ton)                                | 336,23                       | 400,45                       | 19%                 |
| <b>CONSUMO DOMÉSTICO FARELO DE SOJA</b>           |                              |                              |                     |
| Brasil (M Ton)                                    | 30,66                        | 32,45                        | 6%                  |
| US (M Ton)                                        | 15,07                        | 16,60                        | 10%                 |
| Argentina (M Ton)                                 | 0,83                         | 0,77                         | -7%                 |
| <b>EXPORTAÇÃO FARELO DE SOJA</b>                  |                              |                              |                     |
| Brasil (M Ton)                                    | 13,15                        | 13,66                        | 4%                  |
| US (M Ton)                                        | 6,84                         | 7,10                         | 4%                  |
| Argentina (M Ton)                                 | 32,62                        | 33,88                        | 4%                  |

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 126 - Variação na Produção, nos preços, nos consumos domésticos e nas exportações de Óleo de Soja no Brasil, EUA e Argentina

| <b>TERRA DESTINADA PRODUÇÃO DE ÓLEO DE SOJA</b> | Modelo Sem Restrição Hídrica | Modelo Com Restrição Hídrica | Variação Percentual |
|-------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------|
| Brasil (M Ton)                                  | 6,77                         | 4,16                         | -39%                |
| US (M Ton)                                      | 6,24                         | 6,98                         | 12%                 |
| Argentina (M Ton)                               | 7,72                         | 8,00                         | 4%                  |
| <b>PREÇO ÓLEO DE SOJA</b>                       |                              |                              |                     |
| Brasil (\$/Ton)                                 | 1.879,50                     | 2.476,93                     | 32%                 |
| US (\$/Ton)                                     | 1.881,25                     | 2.465,43                     | 31%                 |
| Argentina (\$/Ton)                              | 1.682,07                     | 2.269,62                     | 35%                 |
| <b>CONSUMO DOMÉSTICO ÓLEO DE SOJA</b>           |                              |                              |                     |
| Brasil (M Ton)                                  | 7,37                         | 6,96                         | -6%                 |
| US (M Ton)                                      | 8,10                         | 7,22                         | -11%                |
| Argentina (M Ton)                               | 5,26                         | 4,96                         | -6%                 |
| <b>EXPORTAÇÃO ÓLEO DE SOJA</b>                  |                              |                              |                     |
| Brasil(M Ton)                                   | 0,91                         | 1,13                         | 25%                 |
| US (M Ton)                                      | 0,30                         | 0,36                         | 19%                 |
| Argentina(M Ton)                                | 2,46                         | 3,03                         | 23%                 |

Fonte: Elaboração Própria

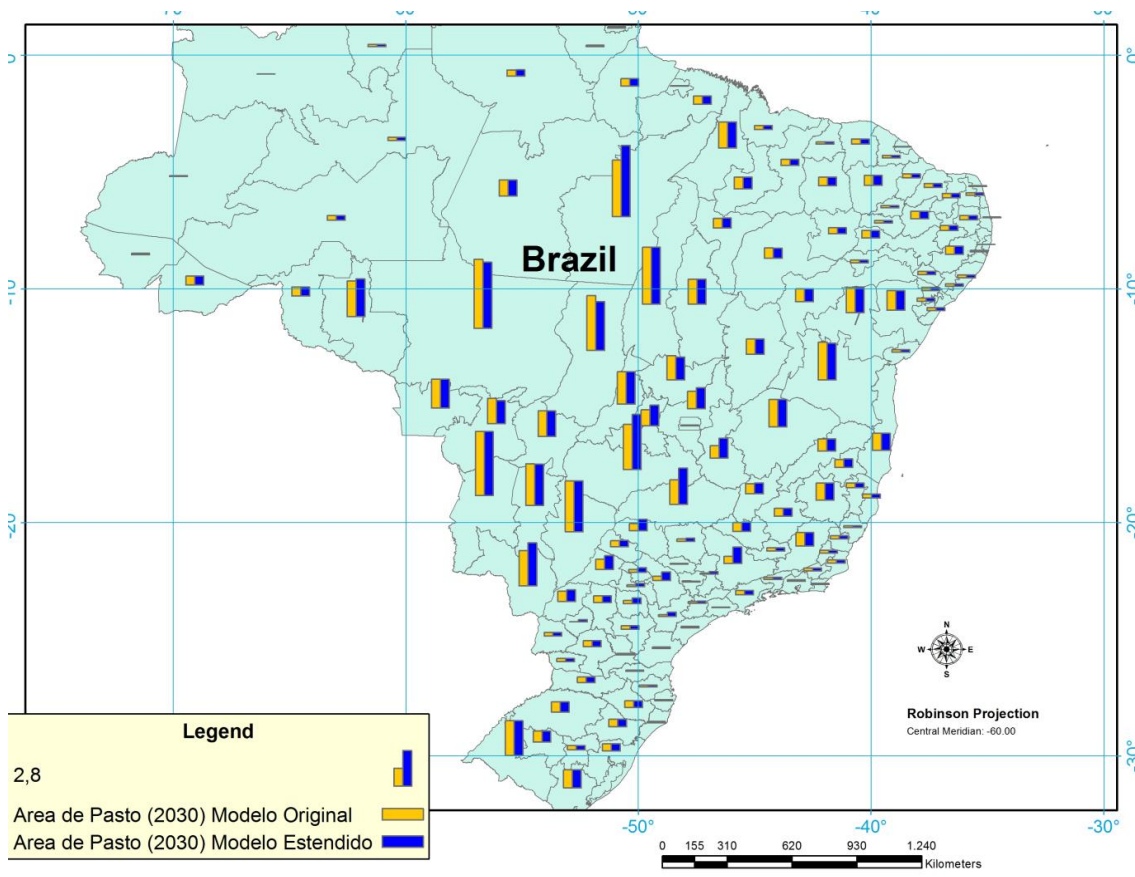
A próxima seção avalia, com mais detalhes, as mudanças provocadas pelas restrições hídricas no Brasil na produção de carne bem como nas áreas de pasto brasileiras.

### 6.3 Resultados projetados para 2030 referentes a áreas de pasto e produção de carne bovina

Como exposto na Tabela 14 no ano base (2007), a área total de pasto na economia brasileira é de 127 milhões de hectares. Quando resolvido o modelo sem as restrições hídricas, a área total de pasto no Brasil cai para 109 milhões de hectares aproximadamente em relação ao ano base, o que representa uma liberação de área de pasto para lavouras de aproximadamente 18,22 milhões de hectares.

Introduzidas as restrições hídricas, a área total de pasto na economia brasileira passa para 102,96 milhões de hectares (Delta 2), ou seja, a liberação de pasto para a lavoura aumenta de 18,22 milhões para 24,04 milhões de hectares. Boa parte da área convertida para pasto no modelo original (sem restrições hídricas) se destinam ao cultivo da cana-de-açúcar na região Sudeste e Centro-Oeste. Quando inserida a restrição hídrica a área de destinada convertida na região Centro-Oeste diminui. A Figura 10 ilustra essa diferença.

Figura 10 - Área de pasto



Fonte: Elaboração Própria

Tabela 137 - Área de Pasto (Milhões ha)

| Regiões      | Pasto 2006<br>Milhões ha | Modelo Sem<br>Restrição Hídrica | Modelo<br>Com<br>Restrição<br>Hídrica |
|--------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| NORTE        | 21,22                    | 19,27                           | 19,70                                 |
| NORDESTE     | 24,43                    | 24,01                           | 22,65                                 |
| SUDESTE      | 22,05                    | 15,68                           | 16,27                                 |
| SUL          | 12,49                    | 10,77                           | 9,49                                  |
| CENTRO-OESTE | 46,81                    | 39,05                           | 34,85                                 |
| <b>Total</b> | <b>127,00</b>            | <b>108,78</b>                   | <b>102,96</b>                         |

Fonte: Elaboração Própria.

Como esperado, a alteração na área de pasto bem como as mudanças na produção e no consumo do farelo de soja provocam uma mudança na produção, no consumo doméstico, na exportação e no preço da carne na economia Brasileira. Com a inclusão das restrições hídricas, no entanto, a taxa de intensificação aumenta o que expressa um aumento do número de cabeças de gado em pastos no regime semi-intensivo. Assim, a produção de carne no Brasil, bem como o consumo e a exportação diminuem.

Tabela 148 -Variação na produção, consumo, exportação e taxa de intensificação da produção de carne bovina no Brasil

|                                                 | Modelo Sem<br>Restrição Hídrica | Modelo Com<br>Restrição Hídrica | Variação<br>Percentual |
|-------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------|
| Produção de Carne Bovina no Brasil (M Ton)      | 7,94                            | 7,70                            | -3%                    |
| Consumo de Carne Bovina no Brasil (M Ton)       | 5,41                            | 5,23                            | -3%                    |
| Exportação de Carne Bovina no Brasil (M Ton)    | 2,52                            | 2,47                            | -2%                    |
| Preço de Carne Bovina no Brasil (\$/Ton)        | 18.637,20                       | 20.972,09                       | 13%                    |
| Nº de Cabeças em Pasto Semi-Intensivo no Brasil | 38,03                           | 47,52                           | 25%                    |
| Nº de Cabeças em Pasto Extensivo no Brasil      | 58,83                           | 47,88                           | -19%                   |
| Taxa de Intensificação                          | 0,39                            | 0,50                            | 27%                    |

Fonte: Elaboração Própria.

Por fim, como a função-objetivo é representada pela soma dos excedentes dos consumidores e produtores nos diversos setores, faz-se necessário avaliar a variação no bem-estar dos principais setores considerados no modelo.

#### 6.4 Resultados referentes à função de Bem-Estar

Na economia Norte Americana (Tabela 29), considerando o setor agrícola, o bem-estar do consumidor diminui 11%, já que o consumo das principais culturas diminui, enquanto que o bem-estar do produtor aumenta 21%, já que houve um aumento nos preços dos produtos agrícolas, gerando um saldo em bem estar social positivo após a inclusão das restrições hídricas. No Brasil, o bem-estar no setor agrícola, segue a mesma tendência, cai para os consumidores e aumenta para os produtores. No setor de combustíveis, no entanto, tanto no Brasil quanto nos Estados Unidos, o bem-estar dos consumidores praticamente não se altera, enquanto que o bem-estar dos produtores aumenta significativamente (42% e 8%, respectivamente), também consequência do aumento do preços dos combustíveis, quando inclui-se a restrição hídrica.

A soma do bem-estar de todos os setores na economia brasileira apresenta um aumento de 1%, enquanto que na economia Norte Americana apresenta um aumento de 1%. Isso pode ser explicado pela compensação do modelo na distribuição de terras por cultura. Dessa forma, o bem-estar do produtor tende a ser compensando com as variações do modelo. No entanto, o bem-estar do consumidor pode apresentar quedas significativas, e no caso da inclusão da restrição hídrica, ocorre essa queda, com o aumento dos preços.

Tabela 29 - Variação do Bem-Estar por Setor no Brasil e nos EUA

| Bem-Estar                                     | USA                          |                              |      | BR                           |                              |     |
|-----------------------------------------------|------------------------------|------------------------------|------|------------------------------|------------------------------|-----|
|                                               | Modelo Sem Restrição Hídrica | Modelo Com Restrição Hídrica | Δ%   | Modelo Sem Restrição Hídrica | Modelo Com Restrição Hídrica | Δ%  |
| <b>Setor Agrícola - Bem-Estar (B\$)</b>       | 386.1                        | 412.2                        | 7%   | 697.1                        | 685.9                        | -2% |
| Bem-Estar do Consumidor (B\$)                 | 172.3                        | 152.8                        | -11% | 379.0                        | 354.8                        | -6% |
| Bem-Estar do Produtor (B\$)                   | 213.8                        | 259.5                        | 21%  | 318.1                        | 331.2                        | 4%  |
| <b>Setor de Combustível – Bem-Estar (B\$)</b> | 3087.4                       | 3107.1                       | 1%   | 7237.6                       | 7277.9                       | 1%  |
| Bem-Estar do Consumidor (B\$)                 | 2842.0                       | 2842.0                       | 0%   | 7124.7                       | 7118.2                       | 0%  |
| Bem-Estar do Produtor (B\$)                   | 245.4                        | 265.2                        | 8%   | 112.8                        | 159.7                        | 42% |
| <b>Total Bem-Estar (B\$)</b>                  | 3491.5                       | 3535.4                       | 1%   | 7977.0                       | 8017.1                       | 1%  |
| Bem-Estar na Produção de Milho (B\$)          | 85.7                         | 106.2                        | 24%  | 0.0                          | 0.0                          | 0%  |
| Bem-Estar na Produção de Celulose (B\$)       | 34.7                         | 41.1                         | 19%  | 0.0                          | 0.0                          | 0%  |
| Bem-Estar na Produção de Etanol (B\$)         | 0.0                          | 0.0                          | 0%   | 10.2                         | 11.5                         | 13% |

Fonte: Elaboração Própria.

Pode-se também analisar o desempenho por quilometro viajado por veículo (VKT) em termos de consumo e preço por tipo de carro. Inicialmente, a Tabela 30 apresenta a variação do consumo por milha para cada tipo de carro bem como o consumo por gasolina e etanol nos EUA. Percebe-se que tanto por milha consumida, quanto por tipo de fonte, a inclusão da restrição hídrica não promove nenhum efeito na economia americana.

Tabela 30 - Variação no Consumo de Gasolina e etanol dos EUA

| <b>CONSUMO DE MILHAS</b>                | Modelo Sem Restrição Hídrica | Modelo Com Restrição Hídrica | Variação Percentual |
|-----------------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------|
| Total USA (B km)                        | 7.070,2                      | 7.070,2                      | 0%                  |
| para Veículo Convencional USA (B litro) | 5.830,6                      | 5.830,6                      | 0%                  |
| para Veículo Flex USA (B litro)         | 1.239,6                      | 1.239,6                      | 0%                  |
| <b>CONSUMO DE GASOLINA</b>              |                              |                              |                     |
| Total USA (B litro)                     | 432,5                        | 432,5                        | 0%                  |
| para Veículo Convencional USA (B litro) | 414,0                        | 414,0                        | 0%                  |
| para Veículo Flex USA (B litro)         | 18,5                         | 18,5                         | 0%                  |
| <b>CONSUMO DE ETANOL</b>                |                              |                              |                     |
| Total USA (B litro)                     | 177,9                        | 177,9                        | 0%                  |
| para Veículo Convencional USA (B litro) | 73,1                         | 73,1                         | 0%                  |
| para Veículo Flex USA (B litro)         | 104,9                        | 104,9                        | 0%                  |

Fonte: Elaboração Própria.

Já na economia brasileira, tanto o consumo por km quanto por tipo de combustível sofrem uma alteração significativa, como consta na Tabela 31. O Consumo total por quilômetro apresenta uma queda, sendo mais expressiva quando considerada por veículo convencional (CVS). Porém, se for analisado o consumo por gasolina e por etanol, percebe-se um aumento significativo no consumo de gasolina, sendo compensado por uma queda no consumo por etanol, como era esperado.

Já em relação aos preços (Tabela 32), percebe-se novamente que não há alteração na economia americana, nem em relação ao preço por quilômetro nem ao preço ao consumidor do Etanol 85. Já na economia brasileira, com a inclusão das restrições hídricas, o preço por Km (Etanol 100) aumenta para todos os tipos de automóveis, bem como o preço ao consumidor do Etanol 100.

Tabela 151 - Variação no Consumo de Gasolina e etanol no Brasil

|                                                                  | Modelo<br>Sem<br>Restrição<br>Hídrica | Modelo Com<br>Restrição<br>Hídrica | Δ%    |
|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|-------|
| <b>CONSUMO POR KM</b>                                            |                                       |                                    |       |
| Total Brasil (B Km)                                              | 1.751,1                               | 1.746,8                            | -0,3% |
| para Veículo Convencional Brasil (B Km)                          | 108,6                                 | 106,6                              | -2%   |
| para Veículo Flex Brasil (B Km)                                  | 1.642,1                               | 1.640,2                            | 0%    |
| <b>CONSUMO DE GASOLINA</b>                                       |                                       |                                    |       |
| Total Brasil (B litro)                                           | 41,0                                  | 71,1                               | 73%   |
| para Veículo Convencional Brasil (B Km)                          | 5,1                                   | 5,0                                | -1%   |
| para Veículo Flex Brasil (B Km)                                  | 35,9                                  | 66,1                               | 84%   |
| <b>CONSUMO DE ETANOL</b>                                         |                                       |                                    |       |
| Total Brasil (B litro)                                           | 88,1                                  | 40,4                               | -54%  |
| Consumo por E. Anidro para Veículo Convencional Brasil (B litro) | 1,7                                   | 1,7                                | -1%   |
| Consumo por E. Anidro para Veículo Flex Brasil (B litro)         | 12,0                                  | 22,0                               | 84%   |
| Consumo de E100 para EDV Brasil (B litro)                        | 0,03                                  | 0,00                               | -100% |
| Consumo de E100 para FFV Brasil (B litro)                        | 74,4                                  | 16,7                               | -78%  |

Fonte: Elaboração Própria.

Tabela 162 - Variação dos preços por Km e aos consumidores no Brasil e nos EUA

|                                             | USA                                   |                                       |    | Brasil                                |                                       |     |
|---------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|----|---------------------------------------|---------------------------------------|-----|
|                                             | Modelo<br>Sem<br>Restrição<br>Hídrica | Modelo<br>Com<br>Restrição<br>Hídrica | Δ% | Modelo<br>Sem<br>Restrição<br>Hídrica | Modelo<br>Com<br>Restrição<br>Hídrica | Δ%  |
| <b>Preço por tipo de carro e de mistura</b> |                                       |                                       |    |                                       |                                       |     |
| Preço por Km para CVS (\$/km)               | 0,037                                 | 0,037                                 | 0% | 0,073                                 | 0,075                                 | 3%  |
| Preço por Km para FFV (\$/km)               | -0,147                                | -0,147                                | 0% | 0,068                                 | 0,073                                 | 8%  |
| Preço por Km para EDV (\$/Km)               |                                       |                                       |    | 0,113                                 | 0,133                                 | 18% |
| Preço do E85 para o consumidor (\$/litro)   | -1,473                                | -1,473                                | 0% |                                       |                                       |     |
| Preço do E100 para o consumidor (\$/litro)  |                                       |                                       | 0% | 0,756                                 | 0,831                                 | 10% |

Fonte: Elaboração Própria.



## 7 CONCLUSÃO

Neste trabalho, um modelo de programação matemática original, que representa os setores de combustíveis, commodities agrícolas e de transporte do Brasil e nos EUA é estendido de forma a considerar as limitações de recursos hídricos para a agricultura irrigada no Brasil. Os resultados projetados para 2030 indicam que a consideração das restrições de disponibilidade hídrica para irrigação afetam o uso da terra, o processo de intensificação da pecuária e a expansão da produção de cana-de-açúcar no Brasil. Especificamente, quando as restrições de água não são consideradas, 18,22 milhões de hectares de pastagens são previstos para serem convertidos em lavouras, dos quais 11,54 milhões de hectares seriam alocados para a cana-de-açúcar.

Ao introduzir as restrições hídricas nota-se que a conversão de pastagens se torna menor, 24,04 milhões de hectares, dos quais apenas 7,36 milhões de hectares são alocados para a cana. Esta é uma cultura muito intensiva em recursos hídricos se compararmos com as demais culturas (ver anexo C).

Na projeção para 2030 com restrições de disponibilidade hídrica, a área de cana alocada para o modelo cai de um total previsto de 19,01 milhões de hectares (modelo original) para 13,34 milhões de hectares. A maior queda (absoluta) é a área alocada para o Sudeste (36%) e Centro-Oeste (62%) e há uma elevação no Nordeste (67%), já que é previsto uma maior oferta de água para a irrigação na região, em vista dos investimentos em novas áreas do governo federal e maiores requerimentos de água devido às mudanças climáticas.

Estes resultados consideram a disponibilidade de água para irrigação atual e projetada para 2030, e uma estimativa otimista das eficiências de uso das tecnologias de irrigação atuais, utilizadas nas mesorregiões do Brasil mantidas no futuro. É importante ressaltar que no Brasil, com novas necessidades de água das culturas devido às mudanças do clima e aumento de áreas destinadas à irrigação, sem mudanças significativas na eficiência dos sistemas de irrigação, a demanda de água para irrigação deve aumentar e pressionar uma mudança na distribuição entre os usos. Isso deve intensificar os conflitos, especialmente em regiões como o Nordeste, onde a disponibilidade de água é menor do que nas demais regiões do Brasil, e onde o setor de irrigação tem um papel muito importante para o desenvolvimento sócio-econômico.

Ademais, modelos climáticos globais prevêm expressivas modificações no clima do Nordeste do Brasil. De acordo com uma avaliação feita pela Krol et al. (2010) para o Estado

do Ceará, deve haver queda na precipitação na região, o que deve causar reduções em grande escala na disponibilidade de águas superficiais armazenadas, levando a um desequilíbrio crescente entre demanda de água e abastecimento de água depois de 2025.

É importante destacar que investimentos em tecnologias de irrigação que levem a um aumento significativo na eficiência do uso, bem como a escolha de culturas adequadas para as diferentes regiões podem permitir uma ampliação de áreas irrigadas, mesmo sem o aumento na oferta e disponibilidade de recursos hídricos para o setor. Isto diminui o risco de conflitos entre usuários, sem impedir o crescimento econômico. Para isso, políticas públicas de alocação de recursos hídricos são essenciais para incentivar o uso racional e eficiente, através de uma gestão da demanda eficaz.

Deve-se salientar que o modelo pode ser usado para considerar outras projeções, além das aqui descritas e analisadas. Sugere-se para futuros estudos simulações que considerem aumentos de produtividade na cultura da cana-de-açúcar no Brasil, incluindo os associados à irrigação plena que vem mostrando aumentos significativos de rendimento no Nordeste (ANDRADE et al., 2009).

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília, 2012. Ed. Especial.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Resolução nº 102, de 30 de janeiro de 2014. Disponível em: <[http://arquivos.ana.gov.br/saladesituacao/ReducaoTemporaria/Resolucao\\_102\\_2014.pdf](http://arquivos.ana.gov.br/saladesituacao/ReducaoTemporaria/Resolucao_102_2014.pdf)> Acesso em: 25 fev. 2014a.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Região hidrográfica Amazônica**. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/amazonica.aspx>> Acesso em: 22 jan. 2014b.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). /GEF/PNUMA/OEA. **Projeto GEF São Francisco, 2002**. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/gefsf/>> Acesso em: 22 dez. 2012.

ALMEIDA, E. L. D. de. **Irrigação de plantas forrageiras tropicais e sorog granífero na região do arenito caiuá - Paraná**. 2011. Dissertação (Mestrado em )-Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2011.

ANDRADE, A. et al. Níveis de irrigação e fertirrigação por gotejamento subsuperficial na produção de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 38., Juazeiro. **Anais...** Juazeiro, 2009.

AQUINO, L. A. de; BERGER, P. G. Evolução da cadeia para construção de um setor forte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO & I COTTON EXPO, 8., 2011, Campina Grande. **Anais...**Campina Grande: Embrapa Algodão, 2011. p.1803-1809. (CD-ROM) Produtividade do algodoeiro irrigado por aspersão ou gotejamento.

BERGER, M. ; FINKBEINER, M. Water Footprinting: how to address water use in life cycle assessment? **Sustainability**, v. 2, n. 4, p. 919-944, 2010.

BERNDES, G. Bioenergy and water: the implications of large-scale bioenergy production for water use and supply. **Global Environmental Change**, v. 12, n. 4, p. 253-271, 2012.

BERNDES, G. Future Biomass Energy Supply: the consumptive water use perspective. **International Journal of Water Resources Development**, v. 24, n. 2, p. 235- 245, 2008.

BIBLIOTECA digital. EMBRAPA: cultivo de arroz irrigado no Brasil; Disponível em:<<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrrigadoBrasil/ca p01.htm>>. Acesso em: 13 jun. 2014.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm) >. Acesso em: 10 fev. 2015.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Governo Federal lança PAC da irrigação**. Disponível em: < <http://www.integracao.gov.br> > Acesso em: 12 jan. 2014a.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Programa Mais Irrigação**: irrigando a terra para produzir mais. Disponível em: <[http://www.integracao.gov.br/c/document\\_library/get\\_file?uuid=ac648b0e-d31b-498b-a946-d8ed96de0a21&groupId=10157](http://www.integracao.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=ac648b0e-d31b-498b-a946-d8ed96de0a21&groupId=10157)> Acesso em: maio 2012.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **O que é o Projeto São Francisco**. Disponível em: < <http://www.integracao.gov.br/pt/web/guest/o-que-e-o-projeto> > Acesso em: 21 jan. 2014b.

BRASIL. Ministério do Planejamento. Política de Desenvolvimento Produtivo e Ambiental. **Plano Mais Brasil PPA 2012-2015**. 2014c

CARDOZO, L. E. C. Manejo de cana-de-açúcar em áreas com irrigação complementar. In: SIMPÓSIO DA AGROINDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR NO ESTADO DE ALAGOAS, 22., 2005, Maceió. **Anais da STAB – Regional Leste**, 2005. CD-ROM.

CARPENTIERI, A. E.; LARSON, E. D. ; WOODS, J. Future biomass-based electricity supply in northeast Brasil. **Biomass and Bioenergy**, v. 4, n. 3, p. 149-173, 1993.

CHIU, Y.W.; WALSETH, B. ; SUH, S. Water embodied in bioethanol in the United States. **Environmental Science & Technology**, v. 43, n. 8, p. 2688-2692, 2009.

COELHO, S. T.; LORA, B. A.; GUARDABASSI, P. M. Environmental Aspectos on the Cana-de-açúcar Ethanol Choin in the Sao Paulo. In: CORTEZ, L. A. B. (Coord.). **Cana-de-açúcar bioethanol — R&D for Productivity and Sustainability**, São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 2014. p. 241-250.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Brasil). **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**: quarto levantamento da safra 2013/14 e primeiro levantamento da safra 2014/15. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=>>>. Acesso em: 10 dez. 2014.

COSTA, Ecio de Farias. **Os determinantes do crédito na fruticultura irrigada no Vale do São Francisco**. Séries *Working Paper* BNDES/ANPEC Programa de Fomento à Pesquisa em Desenvolvimento Econômico. *Working Paper* no. 29, 2012.

DATAGRO - **O Brasil não está preparado para o aumento da demanda por etanol que se elevará bastante até 2020**. Disponível em: <[http://www.asplanpb.com.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=232:o-brasil-nao-esta-preparado-para-o-aumento-da-demanda-por-etanol-que-se-eleva-ate-2020&catid=34:noticias&Itemid=54](http://www.asplanpb.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=232:o-brasil-nao-esta-preparado-para-o-aumento-da-demanda-por-etanol-que-se-eleva-ate-2020&catid=34:noticias&Itemid=54)> Acesso em: 2 maio 2014.

DOMINGUEZ-FAUS, R. et al. The water footprint of biofuels: a drink or drive issue? **Environmental Science & Technology**, v.43, n. 9, p. 3005-3010, 2009.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Las necesidades de água de los cultivos**. Roma: FAO, 1992.

ECONOMIC RESEARCH INSTITUTE FOR ASEAN AND EAST ASIA. Working Group for Sustainable Biomass Utilisation Vision in East Asia. Environmental Aspects of Biomass Utilisation. In: SAGISAKA, M. (Ed.). **Sustainable biomass utilisation vision in East Asia**: ERIA Research Project Report. 2007-6-3, Chiba: IDE-JETRO, 2008. p. 70-103.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Banco de Dados Climáticos no Brasil**. Monitoramento por Satélite. USP EsalQ. Disponível em: <<http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br/index.php>>. Acesso em: 12 jun. 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Uva e Vinho**: sistema de Produção, v.8, dez. 2005.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Análise de conjuntura dos biocombustíveis Ano 2013**. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/Petroleo/Documents/Forms/AllItems.aspx>>. Acesso em: 10 fev. 2014.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Renewable Fuel Standard Program (RFS2). **Regulatory Impact Analysis Program**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/otaq/renewablefuels/420r10006.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2013.

FALKENMARK, M. et al. **Water**: a reflection of Land Use. Options for Counteracting Land and Water Mismanagement. Stockholm: Swedish Natural Science Research Council. Stockholm. 1999.

FINGERMAN, K.R. et al. Accounting for the water impacts of ethanol production. **Environmental Research Letters**, v. 5, n.1, 2010.

FLUMIGNAN, D. L. et al. Influência da irrigação na cultura do trigo. **Eng. Agríc.**, v. 33, n.1, p. 75-88, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162013000100009>>. Acesso em: 15 jan. 2014.

FONTES, A. S.; OLIVEIRA J. I. R; MEDEIROS, Y. D. P. A evaporação em açudes no semi-árido nordestino do Brasil e a gestão das águas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 15., 2003. **Anais...**2003.

FUNDAÇÃO DE APOIO A UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. **Desenvolvimento da Matriz de Coeficientes técnicos para recursos hídricos no Brasil**, 2011.

FUNDAÇÃO JOAQUIM NABUCO. **Transformações recentes da fronteira agrícola e implicações para a dinâmica espacial do Brasil**. Termo de Referência. Recife, 1995.

GAVA, G. J. de C. et al. Productivity of three sugarcane cultivars under dry and drip irrigated management. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.3, mar. 2011.

GERBENS-LEENES, P.W.; HOEKSTRA, A.Y. ; VAN DER MEER, T. **Water footprint of bio-energy and other primary energy carriers**. Delft, the Netherlands: UNESCO-IHE, Institute of Water Education, 2008a. Disponível em: <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report29-WaterFootprintBioenergy.pdf>. Acesso em: 08 abr. 2014.

GERBENS-LEENES, P.W.; HOEKSTRA, A.Y. ; VAN DER MEER, T. The water footprint of energy from biomass: a quantitative assessment and consequences of an increasing share of bio-energy in energy supply. **Ecological Economics**, v. 68, n. 4, p. 1052-1060, 2008b.

GOLDEMBERG, J.; COELHO, S. T.; GUARDABASSI, Patrícia. The sustainability of ethanol production from Cana-de-açúcar. **Energy Policy**, v. 36, p. 2086– 2097, 2008.

GUNKEL, G. et al. Cana-de-açúcar Industry as a source of water pollution: case study on the situation in Ipojuca River, Pernambuco, Brasil. **Water Air & Soil Pollution**, n.180, p. 261-269, 2007.

HAROU, J. J. et al. Hydroeconomic models: concepts, design, applications and future prospects. **Journal of Hydrology**, n. 375, p. 627- 643, 2009.

HENDERICK, P. ; WILLIAMS, R. H. Trigeneration in a northern Chinese village using crop residues. **Energy for Sustainable Development**. v. 4, n. 3, oct. 2000. Disponível em: <http://hopi.iea.org:10000/search/search/C.view=default/results?q=World+primary+energy+demand+by+source%2C>. Acesso em: 12 ago. 2014.

HERTEL, T.W. et al. Global land use and Greenhouse Gas emissions impacts of U.S. Maize Ethanol: estimating Market-Mediated Responses. **BioScience**, v. 60, n. 3, p. 223-231, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo agropecuário 2006**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br> Acesso em: 04 jan. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção agrícola municipal**. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br> Acesso em: 12 jan. 2013.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Fourth Assessment Report: Climate Change 2013**. Disponível em: [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg3/en/contents.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/contents.html) Acesso em: 12 jun. 2014.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. IPCC WGII AR5 Chapter 3 - Subject to Final Copyedit 1 28 October 2013. **Freshwater Resources**. Disponível em: <http://ipcc-wg2.gov/AR5/report/final-drafts/>. Acesso em: 15 out. 2013.

KING, C.W. ; WEBBER, M. E. Water intensity of transportation. **Environmental Science & Technology**, v. 42, n. 21, p.7866-7872, 2008.

KROL, Maarten et al. Effects of small reservoirs on large scale water availability. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON ENVIRONMENTAL MODELLING AND SOFTWARE. International Environmental Modelling and Software Society. **Anais...**Modelling for Environment's Sake, Fifth Biennial Meeting, Ottawa, Canada David A. Swayne, Wanhong Yang, A. A. Voinov, A. Rizzoli, T. Filatova (Eds.), 2010.

LEITE, L. L. L. **Modelo matemático de otimização para apoio à decisão na operação dos reservatórios de Três Marias e Sobradinho**. 2013.102p. Dissertação (Mestrado) - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

LORA, B. A. et al. **Levantamento georreferenciado da expansão da cultura de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo**. [S.l. : s.n.], 2006.

MANZATTO, C.V. **Zoneamento agroecológico da Cana-de-Açúcar**: expandir a produção, preservar a vida, garantir o futuro. [S.l. : s.n.], 2009. Documentos EMBRAPA, 110.

MARTINEZ, S. H. et al. Analysis of socio-economic impacts of sustainable Cana-de-açúcar - ethanol production by means of inter-regional Input-Output analysis: demonstrated for Northeast Brasil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 28, p. 290-316, 2013.

MARTINS, E.S. et al. Climate change impacts on water resources management: adaptation challenges and opportunities in Northeast Brasil. In: THE WORLD BANK GROUP. (Org.). **Latin America and Caribbean Region Environment and Water occasional paper series**. Washington DC: World Bank, 2013. v.1, p. 1-6.

MARTINS, E. S. et al. **Climate Change Impacts on Water Resources Management**. EIA. Disponível em: <http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/iedindex3.cfm?tid=44&pid=44&aid=2&cid=regions&syid=1990&eyid=2012&unit=QBTU> Acesso em: dez. 2013.

MELO, B. Boi verde e o conceito da forma de criar gado. **Jornal O Estado de São Paulo**, 04 de set. 2002.

MORAES, M. M. G. A.; RINGLER, C.; CAI, X. Policies and instruments affecting water use for bioenergy production. **Biofuels, Bioproducts & Biorefining**, v. 5, p. 431-444, 2011.

MOREIRA, J. Water Use and Impacts due Ethanol Production in Brasil. In: INTERNATIONAL WATER MANAGEMENT INSTITUTE AND FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION CONFERENCE. **Linkage between Energy and Water Management for Agriculture in Developing Countries**. Hyderabad. India. January, 2007. p.29-30.

NASCIMENTO, J. M. O. do et al. Níveis de irrigação e produtividade de mandioca 'salangor preta' em cruz das almas-ba. In: REUNIÃO REGIONAL DA SBPC NO RECÔNCAVO DA BAHIA, 2010. Salvador. **Anais...**Salvador, 2010.

NUÑEZ, H. A. **A prospective analysis of brazilian biofuel economy: land use, Infrastructure Development and Fuel Pricing Policies.** Dissertation Submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Agricultural and Applied Economics in the Graduate College of the University of Illinois at Urbana-Champaign, 2012.

NUÑEZ, H. A.; ÖNAL, H. ; KHANNA, M. Land use and economic effects of alternative biofuel policies in Brazil and the United States. **Agricultural Economics**, v. 44, n. 4-5, p. 487-499, 2013.

NYKO D. et al. A evolução das tecnologias agrícolas do setor sucroenergético: estagnação passageira ou crise estrutural? **BNDES Setorial**, n. 37, p. 399-442, 2013.

ONGLEY, E. Control of Water Pollution from Agriculture. **FAO Irrigation and Drainage Paper 55**. GEMS/Water Collaborating Centre, Canada Centre for Inland Waters, Burlington, Canada. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1996.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (Brasil). **Estimativas das vazões para as atividades de uso consuntivo da recursos hídricos em bacias do sistema interligado nacional.** Brasília: ONS; FAHMA-DZETA; ANA; ANEEL; MME, 2005.

PACHECO, T. F. **Produção de etanol: primeira ou segunda geração?** Embrapa Agroenergia, 2011.

PERRY, C. et al. Increasing productivity in irrigated agriculture: agronomic constraints and hydrological realities. **Agricultural Water Management**, v. 96, n. 11 , p.1517-1524, 2009.

PERRY, J. ;VANDERKLEIN, E. **Water quality: management of a natural resource.** Oxford, UK: Blackwell,1996.

PFAFSTETTER, O. **Classificação de bacias hidrográficas: metodologia de codificação.** Rio de Janeiro: DNOS, 1989.

PFISTER, S.; KOEHLER, A. ; HELLWEG, S. Assessing the environmental impacts of freshwater consumption in LCA. **Environmental Science & Technology**, v. 43, n. 11 p.4098-4104, 2009.

ROCKSTRÖM, J. et al. Future water availability for global food production: the potential of green water for increasing resilience to global change. **Water Resources Research**, v.45 , W00A12. ,2009.

RODRIGUES, A. **Aspectos jurídicos, econômicos e internacionais.** [S.l.] : Ed. Synergia, 2011.

RUOSTEENOJA, K. et al. Future climate in world regions: an intercomparison of model-based projections for the new IPCC emissions scenarios. **The Finnish Environment 644**, Finnish Environment Institute, 83p. 2003.

SAMPAIO, Y.; VITAL, T.; SAMPAIO, G. R. Biocombustíveis: quatro questões sobre seu Futuro. **Economia e Desenvolvimento**, Recife, v. 10, n. 1, 2011.



SEARCHINGER, T. et. al. Use of U.S. croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land use change. **Science**, v. 319, p.1238-1240, 2008.

SHELDON, I.; ROBERTS, M. US comparative advantage in bioenergy: a Heckscher-Ohlin-Ricardian approach. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 90, n. 5, p. 1233-1238, 2008.

SMEETS, E. et al. The sustainability of Brazilian ethanol – An assessment of the possibilities of certified production. **Biomass and Bioenergy**, v. 32, p.781-813, 2008.

SOUZA, Janio K. C. de et al. A importância da irrigação para a produção de cana-de-açúcar no Nordeste do Brasil. **Revista Educação Agrícola Superior**, v. 27, n. 2, p.133-140, 2012.

SUDHA, P.; RAVINDRANATH, N. H. Land availability and biomass production potential in India. **Biomass and Bioenergy**, v.16, p. 207-221, 1999.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v. 38. n. 1, 1948.

TORRES, José Luiz Rodrigues et al. Produtividade de feijão sobre laminas de irrigação e coberturas de solo. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 6, 2014.

TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. São Paulo: EDUSP, 1993.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Acompanhamento de safra**. Disponível em: < <http://www.unicadata.com.br> >. Acesso em: 02 jan. 2013.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Oeko-Institut and IEA Bioenergy Task **The bioenergy and Water Nexus**, n.43, 2011.

VECCHIA, Rodnei. **O meio ambiente e as energia renováveis: instrumentos de liderança visionária para o sociedade sustentável**. Barueri, SP: Manole: Minha Editora, 2010.

VON SPERLING, Marcos. Introdução á qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4. ed. [S.l.]: Ed UFMG, 2005.

ZOMER, R. J. et al. **Carbon, land and water: a global analysis of the hydrologic dimensions of climate change mitigation through afforestation/reforestation**. IWMI Research Report 101. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI), 2006.

WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME . **Water in a Changing World**. was officially launched on at the 5th World Water Forum in Istanbul, Turkey. March 16, 2009.

ANEXO A - TOTAL DE ÁREA IRRIGADA: PROGRAMA MAIS IRRIGAÇÃO (BRASIL,  
2012)

**Eixo 3: 27 projetos com 61 mil há (sendo 16 Novos):**

Ayres de Souza / CE – 615 ha  
Icó-Lima Campos / CE – 4.263 ha  
Várzea do Boi / CE – 630 há  
Várzea de Flores / MA – 1.720 há  
Cruzeta / RN – 196 ha  
Pau dos Ferros / RN – 657 ha  
São Gonçalo / PB – 2.404 ha  
Sumé / PB – 274 há  
Moxotó / PE – 8.596 há  
Boa Vista / PE – 131 há  
Betume / SE – 2.865 há  
Cotinguiba-Pindoba / SE – 2.237 ha  
Propriá / SE – 1.177 ha  
Boacica / AL – 3.334 ha  
Itiúba / AL – 894 ha  
Estreito / BA – 2.735 há

**Eixo 4: 18 projetos com 155 mil há (sendo 15 novos):**

Baixada Maranhense / MA – 5.000 ha  
Boa Esperança/Rio Balseiro / MA – 5.000 ha  
Platôs de Guadalupe - 3ª Etapa / PI – 5.000 ha  
Salinas / PI – 2.000 ha  
Ibicuitinga / CE – 15.000 há  
Mendubim / RN – 8.300 ha  
Vertente Litorânea / PB – 3.000 ha  
Eixo Norte – trecho VI / PE – 34.000 ha  
Serra Negra / PE – 6.000 ha  
Terra Nova / PE – 8.000 ha  
Inhapi / AL – 4.300 ha  
Mucambo-Cuscuzzeiro / BA – 6.000 ha  
Iuiu / BA – 30.000 ha  
Mucugê-Ibicoara/BA – 3.000 ha  
Rio de Contas/BA – 2.000 ha

## ANEXO B - DELTAS

ANEXO B1 - Delta 1 – Cenário atual: Razão entre área colhida irrigada e área colhida total para todas as culturas ( $\Delta_{i,r}^h$ ) (Fonte: IBGE, Censo Agropecuário 2006)

| Mesorregiões                    | Arroz | Cana-de-açúcar | Mandioca | Milho | Soja | Sorgo | Trigo | Algodão | Feijão |
|---------------------------------|-------|----------------|----------|-------|------|-------|-------|---------|--------|
| Madeira-Guaporé - RO            | 0.01  | 0.07           | 0.06     | 0.01  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Leste Rondoniense - RO          | 0.01  | 0.03           | 0.02     | 0.01  | 0.01 | -     | -     | -       | 0.00   |
| Vale do Juruá - AC              | 0.00  | 0.00           | 0.01     | 0.00  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Vale do Acre - AC               | 0.01  | 0.01           | 0.01     | 0.01  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Norte Amazonense - AM           | -     | -              | 0.03     | -     | -    | -     | -     | -       | -      |
| Sudoeste Amazonense - AM        | 0.01  | 0.01           | 0.03     | 0.01  | -    | -     | -     | -       | 0.00   |
| Centro Amazonense - AM          | -     | -              | 0.02     | 0.00  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Sul Amazonense - AM             | 0.00  | -              | 0.02     | 0.00  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Norte de Roraima - RR           | 0.64  | 0.01           | 0.01     | 0.04  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Sul de Roraima - RR             | 0.01  | -              | -        | 0.00  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Baixo Amazonas - PA             | 0.00  | 0.06           | 0.01     | 0.01  | 0.03 | -     | -     | -       | 0.00   |
| Marajó - PA                     | 0.00  | 0.92           | 0.14     | 0.00  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Metropolitana de Belém - PA     | 0.00  | -              | 0.01     | 0.00  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Nordeste Paraense - PA          | 0.06  | 0.03           | 0.02     | 0.03  | -    | -     | -     | -       | 0.00   |
| Sudoeste Paraense - PA          | 0.02  | -              | 0.00     | 0.01  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Sudeste Paraense - PA           | 0.01  | 0.99           | 0.01     | 0.02  | 0.01 | -     | -     | -       | 0.00   |
| Norte do Amapá - AP             | -     | -              | 0.01     | -     | -    | -     | -     | -       | -      |
| Sul do Amapá - AP               | 0.11  | 0.08           | 0.01     | 0.01  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Ocidental do Tocantins - TO     | 0.23  | 0.02           | 0.00     | 0.02  | 0.09 | -     | -     | -       | -      |
| Oriental do Tocantins - TO      | 0.02  | 0.99           | 0.00     | 0.02  | 0.04 | -     | -     | -       | 0.04   |
| Norte Maranhense - MA           | 0.02  | 0.03           | 0.03     | 0.02  | -    | -     | -     | -       | 0.00   |
| Oeste Maranhense - MA           | 0.01  | -              | 0.01     | 0.01  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Centro Maranhense - MA          | 0.03  | 0.02           | 0.00     | 0.01  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Leste Maranhense - MA           | 0.02  | 0.73           | 0.04     | 0.01  | -    | -     | -     | -       | 0.00   |
| Sul Maranhense - MA             | 0.02  | 0.29           | 0.05     | 0.05  | 0.02 | -     | -     | -       | 0.01   |
| Norte Piauiense - PI            | 0.38  | 0.03           | 0.01     | 0.01  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Centro-Norte Piauiense - PI     | 0.01  | 0.09           | 0.01     | 0.02  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Sudoeste Piauiense - PI         | 0.02  | 0.05           | 0.02     | 0.01  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Sudeste Piauiense - PI          | 0.12  | 0.10           | 0.01     | 0.01  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Noroeste Cearense - CE          | 0.07  | 0.11           | 0.01     | 0.07  | -    | -     | -     | -       | 0.00   |
| Norte Cearense - CE             | 0.01  | 0.26           | 0.01     | 0.02  | -    | -     | -     | -       | 0.00   |
| Metropolitana de Fortaleza - CE | 0.05  | 0.32           | 0.02     | 0.04  | -    | -     | -     | -       | 0.00   |

| Mesorregiões                          | Arroz | Cana-de-açúcar | Mandioca | Milho | Soja | Sorgo | Trigo | Algodão | Feijão |
|---------------------------------------|-------|----------------|----------|-------|------|-------|-------|---------|--------|
| Sertões Cearenses - CE                | 0.16  | 0.09           | 0.01     | 0.02  | -    | 0.56  | -     | 0.00    | 0.00   |
| Jaguaribe - CE                        | 0.99  | 0.03           | 0.02     | 0.16  | 0.99 | 0.04  | -     | -       | 0.00   |
| Centro-Sul Cearense - CE              | 0.62  | 0.37           | 0.12     | 0.10  | -    | 0.08  | -     | 0.02    | 0.00   |
| Sul Cearense - CE                     | 0.14  | 0.13           | 0.03     | 0.07  | -    | -     | -     | -       | 0.00   |
| Oeste Potiguar - RN                   | 0.99  | 0.27           | 0.10     | 0.06  | -    | 0.03  | -     | 0.02    | 0.00   |
| Central Potiguar - RN                 | 0.83  | 0.99           | 0.01     | 0.07  | -    | 0.03  | -     | -       | 0.00   |
| Agreste Potiguar - RN                 | -     | 0.00           | 0.02     | 0.01  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Leste Potiguar - RN                   | -     | 0.66           | 0.04     | 0.10  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Sertão Paraibano - PB                 | 0.55  | 0.37           | 0.04     | 0.06  | -    | -     | -     | 0.08    | 0.00   |
| Borborema - PB                        | -     | -              | 0.06     | 0.06  | -    | -     | -     | 0.07    | -      |
| Agreste Paraibano - PB                | -     | 0.09           | 0.01     | 0.07  | -    | -     | -     | -       | 0.00   |
| Mata Paraibana - PB                   | -     | 0.45           | 0.05     | 0.06  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Sertão Pernambucano - PE              | 0.40  | 0.15           | 0.01     | 0.03  | -    | 0.00  | -     | -       | 0.00   |
| São Francisco Pernambucano - PE       | 0.54  | 0.14           | 0.94     | 0.16  | -    | 0.02  | -     | -       | 0.00   |
| Agreste Pernambucano - PE             | -     | 0.08           | 0.03     | 0.05  | -    | 0.01  | -     | 0.00    | 0.01   |
| Mata Pernambucana - PE                | -     | 0.56           | 0.08     | 0.44  | -    | -     | -     | -       | 0.00   |
| Metropolitana de Recife - PE          | -     | 0.56           | 0.12     | 0.75  | -    | -     | -     | -       | 0.00   |
| Sertão Alagoano - AL                  | -     | 0.01           | 0.01     | 0.01  | -    | -     | -     | 0.00    | -      |
| Agreste Alagoano - AL                 | -     | 0.23           | 0.04     | 0.03  | -    | -     | -     | 0.00    | 0.00   |
| Leste Alagoano - AL                   | 0.76  | 0.99           | 0.11     | 0.03  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Sertão Sergipano - SE                 | -     | -              | 0.06     | 0.01  | -    | -     | -     | -       | 0.00   |
| Agreste Sergipano - SE                | -     | 0.04           | 0.01     | 0.01  | -    | -     | -     | -       | 0.00   |
| Leste Sergipano - SE                  | 0.28  | 0.17           | 0.00     | 0.06  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Extremo Oeste Baiano - BA             | 0.08  | 0.14           | 0.04     | 0.14  | 0.06 | -     | -     | 0.08    | 0.00   |
| Vale São-Franciscano da Bahia - BA    | 0.99  | 0.51           | 0.02     | 0.03  | -    | 0.00  | -     | 0.31    | 0.00   |
| Centro Norte Baiano - BA              | 0.99  | 0.01           | 0.01     | 0.01  | -    | 0.07  | -     | -       | 0.00   |
| Nordeste Baiano - BA                  | -     | 0.05           | 0.01     | 0.01  | -    | -     | -     | -       | 0.00   |
| Metropolitana de Salvador - BA        | -     | 0.00           | 0.02     | 0.02  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Centro Sul Baiano - BA                | 0.99  | 0.21           | 0.01     | 0.07  | -    | 0.02  | -     | 0.03    | 0.00   |
| Sul Baiano - BA                       | -     | 0.33           | 0.01     | 0.01  | -    | -     | -     | -       | 0.00   |
| Noroeste de Minas - MG                | 0.46  | 0.99           | 0.01     | 0.32  | 0.25 | 0.39  | 0.97  | 0.15    | 0.01   |
| Norte de Minas - MG                   | 0.17  | 0.06           | 0.03     | 0.05  | 0.02 | 0.04  | -     | 0.04    | 0.00   |
| Jequitinhonha - MG                    | 0.07  | 0.04           | 0.05     | 0.02  | -    | -     | -     | -       | 0.00   |
| Vale do Mucuri - MG                   | 0.02  | 0.06           | 0.02     | 0.03  | -    | -     | -     | -       | 0.00   |
| Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba - MG | 0.01  | 0.35           | 0.01     | 0.09  | 0.05 | 0.06  | 0.29  | 0.08    | 0.02   |

| Mesorregiões                         | Arroz | Cana-de-açúcar | Mandioca | Milho | Soja | Sorgo | Trigo | Algodão | Feijão |
|--------------------------------------|-------|----------------|----------|-------|------|-------|-------|---------|--------|
| Central Mineira - MG                 | 0.03  | 0.71           | 0.01     | 0.12  | 0.29 | -     | -     | -       | 0.00   |
| Metropolitana de Belo Horizonte - MG | 0.06  | 0.14           | 0.01     | 0.05  | 0.10 | 0.14  | -     | -       | 0.00   |
| Vale do Rio Doce - MG                | 0.13  | 0.08           | 0.02     | 0.03  | -    | -     | -     | -       | 0.02   |
| Oeste de Minas - MG                  | 0.08  | 0.01           | 0.05     | 0.05  | 0.16 | -     | -     | -       | 0.00   |
| Sul/Sudoeste de Minas - MG           | 0.07  | 0.30           | 0.03     | 0.03  | -    | 0.22  | -     | -       | 0.00   |
| Campo das Vertentes - MG             | 0.00  | 0.03           | 0.09     | 0.04  | -    | -     | -     | -       | 0.01   |
| Zona da Mata - MG                    | 0.08  | 0.38           | 0.12     | 0.03  | -    | -     | -     | -       | 0.01   |
| Noroeste Espírito-santense - ES      | 0.15  | 0.90           | 0.05     | 0.21  | -    | -     | -     | -       | 0.18   |
| Litoral Norte Espírito-santense - ES | 0.99  | 0.31           | 0.02     | 0.08  | -    | -     | -     | -       | 0.03   |
| Central Espírito-santense - ES       | 0.83  | 0.23           | 0.02     | 0.21  | -    | -     | -     | -       | 0.17   |
| Sul Espírito-santense - ES           | 0.07  | 0.35           | 0.01     | 0.03  | -    | -     | -     | -       | 0.03   |
| Noroeste Fluminense - RJ             | 0.33  | 0.16           | 0.30     | 0.05  | -    | -     | -     | -       | 0.06   |
| Norte Fluminense - RJ                | 0.57  | 0.21           | 0.07     | 0.10  | -    | -     | -     | -       | 0.13   |
| Centro Fluminense - RJ               | 0.11  | 0.03           | 0.91     | 0.14  | -    | -     | -     | -       | 0.19   |
| Baixadas - RJ                        | -     | 0.06           | 0.01     | -     | -    | -     | -     | -       | 0.03   |
| Sul Fluminense - RJ                  | -     | 0.02           | 0.04     | 0.01  | -    | -     | -     | -       | 0.02   |
| Metropolitana do Rio de Janeiro - RJ | -     | 0.02           | 0.07     | 0.60  | -    | -     | -     | -       | 0.10   |
| São José do Rio Preto - SP           | 0.04  | 0.09           | 0.07     | 0.04  | 0.03 | -     | -     | 0.02    | -      |
| Ribeirão Preto - SP                  | 0.08  | 0.16           | 0.07     | 0.15  | 0.08 | 0.02  | -     | -       | -      |
| Araçatuba - SP                       | -     | 0.07           | 0.12     | 0.06  | 0.09 | 0.06  | -     | -       | 0.02   |
| Bauru - SP                           | 0.27  | 0.19           | 0.06     | 0.14  | 0.25 | -     | 0.67  | 0.49    | -      |
| Araraquara - SP                      | -     | 0.09           | 0.03     | 0.06  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Piracicaba - SP                      | -     | 0.03           | 0.26     | 0.02  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Campinas - SP                        | 0.14  | 0.25           | 0.03     | 0.11  | 0.09 | 0.25  | -     | 0.02    | 0.01   |
| Presidente Prudente - SP             | 0.02  | 0.09           | 0.03     | 0.05  | 0.03 | -     | -     | 0.00    | -      |
| Marília - SP                         | -     | 0.01           | 0.04     | 0.02  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Assis - SP                           | 0.06  | 0.22           | 0.03     | 0.03  | 0.03 | -     | 0.08  | -       | -      |
| Itapetininga - SP                    | 0.10  | 0.06           | 0.02     | 0.13  | 0.27 | -     | 0.32  | 0.87    | 0.00   |
| Macro Metropolitana Paulista - SP    | 0.03  | 0.01           | 0.07     | 0.08  | -    | -     | 0.29  | -       | -      |
| Vale do Paraíba Paulista - SP        | 0.57  | 0.03           | 0.08     | 0.02  | -    | -     | -     | -       | 0.02   |
| Litoral Sul Paulista - SP            | 0.24  | 0.85           | 0.06     | 0.02  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Metropolitana de São Paulo - SP      | -     | -              | 0.07     | 0.02  | -    | -     | -     | -       | 0.00   |
| Noroeste Paranaense - PR             | 0.77  | 0.02           | 0.02     | 0.01  | 0.02 | -     | 0.01  | 0.01    | 0.00   |
| Centro Ocidental Paranaense - PR     | 0.03  | 0.12           | 0.03     | 0.01  | 0.02 | -     | 0.01  | 0.02    | 0.00   |
| Norte Central Paranaense - PR        | 0.01  | 0.15           | 0.01     | 0.03  | 0.02 | -     | 0.03  | 0.04    | 0.01   |

| Mesorregiões                            | Arroz | Cana | Mandioca | Milho | Soja | Sorgo | Trigo | Algodão | Feijão |
|-----------------------------------------|-------|------|----------|-------|------|-------|-------|---------|--------|
| Norte Pioneiro Paranaense - PR          | 0.05  | 0.20 | 0.01     | 0.03  | 0.04 | -     | 0.02  | 0.00    | 0.00   |
| Centro Oriental Paranaense - PR         | 0.01  | -    | 0.01     | 0.01  | 0.01 | -     | 0.00  | -       | 0.00   |
| Oeste Paranaense - PR                   | 0.03  | 0.00 | 0.01     | 0.02  | 0.02 | -     | 0.01  | -       | 0.00   |
| Sudoeste Paranaense - PR                | 0.00  | 0.00 | 0.01     | 0.01  | 0.01 | -     | 0.01  | -       | 0.01   |
| Centro-Sul Paranaense - PR              | 0.01  | 0.06 | 0.00     | 0.01  | 0.01 | -     | 0.01  | -       | 0.01   |
| Sudeste Paranaense - PR                 | 0.03  | -    | 0.00     | 0.01  | 0.74 | -     | 0.02  | -       | 0.01   |
| Metropolitana de Curitiba - PR          | 0.31  | 0.03 | 0.01     | 0.01  | 0.03 | -     | 0.03  | -       | 0.01   |
| Oeste Catarinense - SC                  | 0.00  | 0.00 | 0.01     | 0.02  | 0.01 | -     | 0.00  | -       | 0.01   |
| Norte Catarinense - SC                  | 0.96  | 0.07 | 0.11     | 0.02  | 0.01 | -     | -     | -       | 0.02   |
| Serrana - SC                            | -     | -    | -        | 0.02  | 0.02 | -     | 0.01  | -       | 0.01   |
| Vale do Itajaí - SC                     | 0.75  | 0.00 | 0.01     | 0.04  | -    | -     | -     | -       | 0.04   |
| Grande Florianópolis - SC               | 0.25  | 0.01 | 0.05     | 0.04  | -    | -     | -     | -       | 0.03   |
| Sul Catarinense - SC                    | 0.79  | 0.01 | 0.02     | 0.03  | -    | -     | -     | -       | 0.02   |
| Noroeste Rio-grandense - RS             | 0.44  | 0.00 | 0.01     | 0.03  | 0.03 | 0.03  | 0.03  | -       | 0.05   |
| Nordeste Rio-grandense - RS             | -     | 0.00 | 0.01     | 0.02  | 0.01 | -     | 0.02  | -       | 0.04   |
| Centro Ocidental Rio-grandense - RS     | 0.99  | 0.01 | 0.01     | 0.03  | 0.03 | -     | 0.01  | -       | 0.08   |
| Centro Oriental Rio-grandense - RS      | 0.90  | 0.01 | 0.01     | 0.01  | 0.05 | -     | -     | -       | 0.04   |
| Metropolitana de Porto Alegre - RS      | 0.77  | 0.03 | 0.01     | 0.01  | 0.10 | -     | -     | -       | 0.04   |
| Sudoeste Rio-grandense - RS             | 0.83  | 0.01 | 0.02     | 0.05  | 0.09 | -     | 0.02  | -       | 0.14   |
| Sudeste Rio-grandense - RS              | 0.82  | -    | 0.02     | 0.02  | 0.08 | -     | -     | -       | 0.03   |
| Pantaneais Sul Mato-grossense - MS      | 0.59  | 0.01 | 0.04     | 0.33  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Centro Norte de Mato Grosso do Sul - MS | 0.62  | 0.44 | 0.02     | 0.03  | 0.01 | 0.01  | -     | -       | -      |
| Leste de Mato Grosso do Sul - MS        | 0.14  | 0.99 | 0.01     | 0.02  | 0.01 | -     | -     | -       | -      |
| Sudoeste de Mato Grosso do Sul - MS     | 0.38  | 0.20 | 0.01     | 0.05  | 0.03 | -     | 0.01  | 0.04    | 0.02   |
| Norte Mato-grossense - MT               | 0.01  | 0.07 | 0.01     | 0.03  | 0.01 | -     | -     | 0.08    | 0.03   |
| Nordeste Mato-grossense - MT            | 0.01  | 0.99 | 0.00     | 0.02  | 0.03 | -     | -     | -       | -      |
| Sudoeste Mato-grossense - MT            | 0.00  | 0.14 | 0.01     | 0.00  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Centro-Sul Mato-grossense - MT          | 0.01  | 0.00 | 0.01     | 0.03  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Sudeste Mato-grossense - MT             | -     | 0.00 | 0.01     | 0.07  | 0.04 | 0.02  | -     | 0.05    | -      |
| Noroeste Goiano - GO                    | 0.03  | 0.83 | 0.01     | 0.03  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Norte Goiano - GO                       | 0.14  | 0.04 | 0.02     | 0.02  | 0.01 | -     | -     | -       | 0.00   |
| Centro Goiano - GO                      | 0.02  | 0.74 | 0.01     | 0.06  | 0.02 | 0.02  | -     | -       | 0.01   |
| Leste Goiano - GO                       | 0.28  | 0.60 | 0.02     | 0.20  | 0.04 | 0.05  | 0.36  | -       | 0.01   |
| Sul Goiano - GO                         | 0.05  | 0.55 | 0.02     | 0.05  | 0.04 | 0.01  | 0.52  | 0.05    | 0.03   |
| Distrito Federal - DF                   | 0.99  | 0.15 | 0.33     | 0.14  | 0.03 | 0.03  | 0.50  | -       | 0.00   |

ANEXO B2 - Delta 1 – Cenário Futuro: Razão entre área colhida irrigada e área colhida total para todas as culturas acrescida da área irrigada do mais irrigação. ( $\Delta_{ir}^h$ )

| mesorregiões                | Arroz | Cana-de-açúcar | Mandioca | Milho | Soja | Sorgo | Trigo | Algodão | Feijão |
|-----------------------------|-------|----------------|----------|-------|------|-------|-------|---------|--------|
| Madeira-Guaporé - RO        | 0.01  | 0.07           | 0.06     | 0.01  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Leste Rondoniense - RO      | 0.01  | 0.03           | 0.02     | 0.01  | 0.01 | -     | -     | -       | 0.00   |
| Vale do Juruá - AC          | 0.00  | 0.00           | 0.01     | 0.00  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Vale do Acre - AC           | 0.01  | 0.01           | 0.01     | 0.01  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Norte Amazonense - AM       | -     | -              | 0.02     | -     | -    | -     | -     | -       | -      |
| Sudoeste Amazonense - AM    | 0.01  | 0.01           | 0.01     | 0.00  | -    | -     | -     | -       | 0.00   |
| Centro Amazonense - AM      | -     | -              | 0.01     | 0.00  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Sul Amazonense - AM         | 0.00  | -              | 0.02     | 0.00  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Norte de Roraima - RR       | 0.64  | 0.01           | 0.01     | 0.04  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Sul de Roraima - RR         | 0.01  | -              | -        | 0.00  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Baixo Amazonas - PA         | 0.00  | 0.06           | 0.01     | 0.01  | 0.03 | -     | -     | -       | 0.00   |
| Marajó - PA                 | 0.00  | 0.13           | 0.01     | 0.00  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Metropolitana de Belém - PA | 0.00  | -              | 0.01     | 0.00  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Nordeste Paraense - PA      | 0.02  | 0.00           | 0.02     | 0.03  | -    | -     | -     | -       | 0.00   |
| Sudoeste Paraense - PA      | 0.01  | -              | 0.00     | 0.01  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Sudeste Paraense - PA       | 0.01  | 0.98           | 0.01     | 0.02  | 0.01 | -     | -     | -       | 0.00   |
| Norte do Amapá - AP         | -     | -              | 0.01     | -     | -    | -     | -     | -       | -      |
| Sul do Amapá - AP           | 0.11  | 0.08           | 0.01     | 0.01  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Ocidental do Tocantins - TO | 0.23  | 0.02           | 0.00     | 0.02  | 0.09 | -     | -     | -       | -      |
| Oriental do Tocantins - TO  | 0.02  | 0.92           | 0.00     | 0.02  | 0.04 | -     | -     | -       | 0.04   |
| Norte Maranhense - MA       | 0.02  | 0.03           | 0.02     | 0.02  | -    | -     | -     | -       | 0.00   |
| Oeste Maranhense - MA       | 0.02  | 0.00           | 0.01     | 0.01  | 1.00 | -     | -     | -       | -      |
| Centro Maranhense - MA      | 0.05  | 0.83           | 0.00     | 0.03  | 0.13 | -     | -     | -       | -      |
| Leste Maranhense - MA       | 0.01  | 0.73           | 0.03     | 0.01  | -    | -     | -     | -       | 0.00   |
| Sul Maranhense - MA         | 0.05  | 0.29           | 0.05     | 0.05  | 0.02 | -     | -     | -       | 0.01   |
| Norte Piauiense - PI        | 0.33  | 0.03           | 0.01     | 0.01  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Centro-Norte Piauiense - PI | 0.06  | 0.10           | 0.01     | 0.02  | 1.00 | -     | -     | -       | -      |
| Sudoeste Piauiense - PI     | 0.02  | 0.05           | 0.02     | 0.01  | -    | -     | -     | -       | -      |
| Sudeste Piauiense - PI      | 0.09  | 0.23           | 0.01     | 0.01  | 1.00 | 0.01  | -     | -       | -      |
| Noroeste Cearense - CE      | 0.04  | 0.11           | 0.01     | 0.07  | -    | -     | -     | -       | 0.00   |
| Norte Cearense - CE         | 0.01  | 0.26           | 0.01     | 0.02  | -    | -     | -     | -       | 0.00   |

| <b>mesorregiões</b>                | <b>Arroz</b> | <b>Cana-de-açúcar</b> | <b>Mandioca</b> | <b>Milho</b> | <b>Soja</b> | <b>Sorgo</b> | <b>Trigo</b> | <b>Algodão</b> | <b>Feijão</b> |
|------------------------------------|--------------|-----------------------|-----------------|--------------|-------------|--------------|--------------|----------------|---------------|
| Metropolitana de Fortaleza - CE    | 0.13         | 0.32                  | 0.02            | 0.03         | 1.00        | -            | 1.00         | -              | 0.00          |
| Sertões Cearenses - CE             | 0.13         | 0.09                  | 0.01            | 0.01         | -           | 0.09         | -            | 0.00           | 0.00          |
| Jaguaribe - CE                     | 0.99         | 0.67                  | 0.05            | 0.09         | 1.00        | 0.04         | 0.86         | -              | 0.00          |
| Centro-Sul Cearense - CE           | 0.41         | 0.37                  | 0.12            | 0.04         | -           | 0.08         | -            | 0.02           | 0.00          |
| Sul Cearense - CE                  | 0.41         | 0.16                  | 0.03            | 0.05         | 1.00        | -            | 1.00         | -              | 0.00          |
| Oeste Potiguar - RN                | 0.62         | 0.27                  | 0.10            | 0.06         | -           | 0.03         | -            | 0.02           | 0.00          |
| Central Potiguar - RN              | 0.44         | 0.80                  | 0.01            | 0.04         | -           | 0.03         | 0.20         | -              | 0.00          |
| Agreste Potiguar - RN              | -            | 0.05                  | 0.02            | 0.01         | 1.00        | -            | -            | -              | -             |
| Leste Potiguar - RN                | 1.00         | 0.66                  | 0.04            | 0.10         | 1.00        | -            | 1.00         | -              | -             |
| Sertão Paraibano - PB              | 0.29         | 0.37                  | 0.04            | 0.04         | -           | 0.39         | -            | 0.08           | 0.00          |
| Borborema - PB                     | -            | 0.93                  | 0.14            | 0.05         | 1.00        | 0.26         | -            | 0.07           | -             |
| Agreste Paraibano - PB             | -            | 0.09                  | 0.01            | 0.03         | -           | -            | -            | -              | 0.00          |
| Mata Paraibana - PB                | 1.00         | 0.46                  | 0.06            | 0.19         | 1.00        | -            | 1.00         | -              | -             |
| Sertão Pernambucano - PE           | 0.92         | 0.09                  | 0.02            | 0.03         | 0.98        | 0.00         | 1.00         | -              | 0.00          |
| São Francisco Pernambucano - PE    | 0.54         | 0.92                  | 0.63            | 0.11         | 0.99        | 0.02         | 1.00         | -              | 0.00          |
| Agreste Pernambucano - PE          | -            | 0.08                  | 0.02            | 0.04         | -           | 0.01         | -            | 0.00           | 0.01          |
| Mata Pernambucana - PE             | -            | 0.56                  | 0.03            | 0.08         | -           | -            | -            | -              | 0.00          |
| Metropolitana de Recife - PE       | -            | 0.56                  | 0.05            | 0.25         | 1.00        | -            | -            | -              | 0.00          |
| Sertão Alagoano - AL               | -            | 0.01                  | 0.01            | 0.01         | -           | -            | -            | 0.00           | -             |
| Agreste Alagoano - AL              | 0.51         | 0.44                  | 0.01            | 0.02         | 0.01        | -            | -            | 0.00           | 0.00          |
| Leste Alagoano - AL                | 0.76         | 0.69                  | 0.03            | 0.02         | -           | -            | -            | -              | -             |
| Sertão Sergipano - SE              | -            | -                     | 0.05            | 0.01         | -           | -            | -            | -              | 0.00          |
| Agreste Sergipano - SE             | 1.00         | 0.56                  | 0.01            | 0.01         | 1.00        | -            | -            | -              | 0.00          |
| Leste Sergipano - SE               | 0.28         | 0.17                  | 0.00            | 0.05         | 1.00        | 1.00         | -            | -              | -             |
| Extremo Oeste Baiano - BA          | 0.08         | 0.14                  | 0.04            | 0.12         | 0.06        | -            | -            | 0.08           | 0.00          |
| Vale São-Franciscano da Bahia - BA | 0.28         | 0.51                  | 0.02            | 0.03         | -           | 0.00         | -            | 0.31           | 0.00          |
| Centro Norte Baiano - BA           | 0.67         | 0.01                  | 0.01            | 0.01         | -           | 0.07         | -            | -              | 0.00          |
| Nordeste Baiano - BA               | -            | 0.05                  | 0.01            | 0.01         | -           | -            | -            | -              | 0.00          |
| Metropolitana de Salvador - BA     | 1.00         | 0.46                  | 0.03            | 0.61         | 1.00        | -            | 1.00         | -              | -             |
| Centro Sul Baiano - BA             | 0.61         | 0.21                  | 0.01            | 0.06         | -           | 0.02         | -            | 0.03           | 0.00          |
| Sul Baiano - BA                    | -            | 0.33                  | 0.01            | 0.01         | 1.00        | -            | -            | -              | 0.00          |
| Noroeste de Minas - MG             | 0.46         | 0.85                  | 0.01            | 0.32         | 0.24        | 0.39         | 0.97         | 0.15           | 0.01          |
| Norte de Minas - MG                | 0.17         | 0.06                  | 0.03            | 0.05         | 0.02        | 0.04         | -            | 0.04           | 0.00          |
| Jequitinhonha - MG                 | 0.07         | 0.04                  | 0.03            | 0.02         | -           | -            | -            | -              | 0.00          |
| Vale do Mucuri - MG                | 0.02         | 0.06                  | 0.02            | 0.03         | -           | -            | -            | -              | 0.00          |



| <b>mesorregiões</b>                   | <b>Arroz</b> | <b>Cana-de-açúcar</b> | <b>Mandioca</b> | <b>Milho</b> | <b>Soja</b> | <b>Sorgo</b> | <b>Trigo</b> | <b>Algodão</b> | <b>Feijão</b> |
|---------------------------------------|--------------|-----------------------|-----------------|--------------|-------------|--------------|--------------|----------------|---------------|
| Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba - MG | 0.01         | 0.35                  | 0.01            | 0.09         | 0.05        | 0.06         | 0.29         | 0.08           | 0.02          |
| Central Mineira - MG                  | 0.03         | 0.65                  | 0.01            | 0.12         | 0.29        | 0.10         | -            | -              | 0.00          |
| Metropolitana de Belo Horizonte - MG  | 0.06         | 0.10                  | 0.01            | 0.05         | 0.10        | 0.08         | -            | -              | 0.00          |
| Vale do Rio Doce - MG                 | 0.13         | 0.07                  | 0.02            | 0.03         | -           | -            | -            | -              | 0.02          |
| Oeste de Minas - MG                   | 0.08         | 0.01                  | 0.05            | 0.05         | 0.16        | -            | -            | -              | 0.00          |
| Sul/Sudoeste de Minas - MG            | 0.07         | 0.30                  | 0.03            | 0.03         | -           | 0.22         | -            | -              | 0.00          |
| Campo das Vertentes - MG              | 0.00         | 0.03                  | 0.09            | 0.01         | -           | -            | -            | -              | 0.01          |
| Zona da Mata - MG                     | 0.08         | 0.37                  | 0.12            | 0.03         | -           | -            | -            | -              | 0.01          |
| Noroeste Espírito-santense - ES       | 0.15         | 0.78                  | 0.05            | 0.21         | -           | -            | -            | -              | 0.18          |
| Litoral Norte Espírito-santense - ES  | 0.72         | 0.31                  | 0.02            | 0.08         | -           | -            | -            | -              | 0.03          |
| Central Espírito-santense - ES        | 0.48         | 0.23                  | 0.02            | 0.21         | -           | -            | -            | -              | 0.17          |
| Sul Espírito-santense - ES            | 0.07         | 0.21                  | 0.01            | 0.03         | -           | -            | -            | -              | 0.03          |
| Noroeste Fluminense - RJ              | 0.33         | 0.16                  | 0.28            | 0.05         | -           | 1.00         | -            | -              | 0.06          |
| Norte Fluminense - RJ                 | 0.57         | 0.21                  | 0.07            | 0.10         | -           | -            | -            | -              | 0.13          |
| Centro Fluminense - RJ                | 0.11         | 0.03                  | 0.40            | 0.14         | -           | -            | -            | -              | 0.19          |
| Baixadas - RJ                         | -            | 0.06                  | 0.01            | -            | -           | -            | -            | -              | 0.02          |
| Sul Fluminense - RJ                   | -            | 0.02                  | 0.03            | 0.01         | -           | -            | -            | -              | 0.02          |
| Metropolitana do Rio de Janeiro - RJ  | -            | 0.02                  | 0.07            | 0.14         | -           | -            | -            | -              | 0.10          |
| São José do Rio Preto - SP            | 0.04         | 0.09                  | 0.07            | 0.04         | 0.03        | -            | -            | 0.02           | -             |
| Ribeirão Preto - SP                   | 0.08         | 0.16                  | 0.06            | 0.15         | 0.08        | 0.02         | -            | -              | -             |
| Araçatuba - SP                        | -            | 0.07                  | 0.05            | 0.06         | 0.09        | 0.06         | -            | -              | 0.02          |
| Bauru - SP                            | 0.27         | 0.19                  | 0.02            | 0.14         | 0.25        | -            | 0.67         | 0.49           | -             |
| Araraquara - SP                       | -            | 0.09                  | 0.02            | 0.06         | -           | -            | -            | -              | -             |
| Piracicaba - SP                       | -            | 0.03                  | 0.18            | 0.02         | -           | -            | -            | -              | -             |
| Campinas - SP                         | 0.14         | 0.25                  | 0.03            | 0.11         | 0.09        | 0.25         | -            | 0.02           | 0.01          |
| Presidente Prudente - SP              | 0.02         | 0.09                  | 0.02            | 0.05         | 0.03        | -            | -            | 0.00           | -             |
| Marília - SP                          | -            | 0.01                  | 0.04            | 0.02         | -           | -            | -            | -              | -             |
| Assis - SP                            | 0.06         | 0.22                  | 0.03            | 0.03         | 0.03        | -            | 0.08         | -              | -             |
| Itapetininga - SP                     | 0.10         | 0.06                  | 0.02            | 0.13         | 0.27        | -            | 0.32         | 0.87           | 0.00          |
| Macro Metropolitana Paulista - SP     | 0.03         | 0.01                  | 0.07            | 0.08         | -           | -            | 0.27         | -              | -             |
| Vale do Paraíba Paulista - SP         | 0.57         | 0.03                  | 0.08            | 0.02         | -           | -            | -            | -              | 0.02          |
| Litoral Sul Paulista - SP             | 0.24         | 0.11                  | 0.01            | 0.02         | -           | -            | -            | -              | -             |
| Metropolitana de São Paulo - SP       | -            | 0.25                  | 0.07            | 0.02         | -           | -            | -            | -              | 0.00          |
| Noroeste Paranaense - PR              | 0.77         | 0.02                  | 0.02            | 0.01         | 0.02        | -            | 0.01         | 0.01           | 0.00          |
| Centro Ocidental Paranaense - PR      | 0.03         | 0.12                  | 0.03            | 0.01         | 0.02        | -            | 0.01         | 0.02           | 0.00          |

| <b>mesorregiões</b>                     | <b>Arroz</b> | <b>Cana</b> | <b>Mandioca</b> | <b>Milho</b> | <b>Soja</b> | <b>Sorgo</b> | <b>Trigo</b> | <b>Algodão</b> | <b>Feijão</b> |
|-----------------------------------------|--------------|-------------|-----------------|--------------|-------------|--------------|--------------|----------------|---------------|
| Norte Central Paranaense - PR           | 0.01         | 0.15        | 0.01            | 0.03         | 0.02        | -            | 0.03         | 0.03           | 0.01          |
| Norte Pioneiro Paranaense - PR          | 0.05         | 0.20        | 0.01            | 0.03         | 0.04        | -            | 0.02         | 0.00           | 0.00          |
| Centro Oriental Paranaense - PR         | 0.01         | -           | 0.01            | 0.01         | 0.01        | -            | 0.00         | -              | 0.00          |
| Oeste Paranaense - PR                   | 0.03         | 0.00        | 0.01            | 0.02         | 0.02        | 0.05         | 0.01         | -              | 0.00          |
| Sudoeste Paranaense - PR                | 0.00         | 0.00        | 0.01            | 0.01         | 0.01        | -            | 0.01         | -              | 0.01          |
| Centro-Sul Paranaense - PR              | 0.01         | 0.03        | 0.00            | 0.01         | 0.01        | -            | 0.01         | -              | 0.01          |
| Sudeste Paranaense - PR                 | 0.03         | -           | 0.00            | 0.01         | 0.36        | -            | 0.02         | -              | 0.01          |
| Metropolitana de Curitiba - PR          | 0.31         | 0.03        | 0.01            | 0.01         | 0.03        | -            | 0.03         | -              | 0.01          |
| Oeste Catarinense - SC                  | 0.00         | 0.00        | 0.01            | 0.02         | 0.01        | -            | 0.00         | -              | 0.01          |
| Norte Catarinense - SC                  | 0.94         | 0.07        | 0.11            | 0.02         | 0.01        | -            | -            | -              | 0.02          |
| Serrana - SC                            | -            | -           | -               | 0.02         | 0.02        | -            | 0.01         | -              | 0.01          |
| Vale do Itajaí - SC                     | 0.70         | 0.00        | 0.01            | 0.03         | -           | -            | -            | -              | 0.04          |
| Grande Florianópolis - SC               | 0.25         | 0.01        | 0.05            | 0.02         | -           | -            | -            | -              | 0.03          |
| Sul Catarinense - SC                    | 0.79         | 0.01        | 0.02            | 0.02         | -           | -            | -            | -              | 0.02          |
| Noroeste Rio-grandense - RS             | 0.44         | 0.00        | 0.01            | 0.03         | 0.03        | 0.03         | 0.03         | -              | 0.05          |
| Nordeste Rio-grandense - RS             | -            | 0.00        | 0.01            | 0.02         | 0.01        | -            | 0.02         | -              | 0.02          |
| Centro Ocidental Rio-grandense - RS     | 0.96         | 0.01        | 0.01            | 0.03         | 0.03        | -            | 0.01         | -              | 0.05          |
| Centro Oriental Rio-grandense - RS      | 0.90         | 0.01        | 0.01            | 0.01         | 0.05        | -            | -            | -              | 0.03          |
| Metropolitana de Porto Alegre - RS      | 0.77         | 0.02        | 0.01            | 0.01         | 0.10        | -            | -            | -              | 0.02          |
| Sudoeste Rio-grandense - RS             | 0.83         | 0.01        | 0.02            | 0.05         | 0.09        | -            | 0.02         | -              | 0.14          |
| Sudeste Rio-grandense - RS              | 0.82         | -           | 0.01            | 0.02         | 0.08        | -            | -            | -              | 0.02          |
| Pantaneais Sul Mato-grossense - MS      | 0.59         | 0.01        | 0.04            | 0.33         | -           | -            | -            | -              | -             |
| Centro Norte de Mato Grosso do Sul - MS | 0.53         | 0.44        | 0.01            | 0.03         | 0.01        | 0.01         | -            | -              | -             |
| Leste de Mato Grosso do Sul - MS        | 0.14         | 0.87        | 0.01            | 0.02         | 0.01        | -            | -            | -              | -             |
| Sudoeste de Mato Grosso do Sul - MS     | 0.38         | 0.18        | 0.01            | 0.05         | 0.03        | -            | 0.01         | 0.04           | 0.02          |
| Norte Mato-grossense - MT               | 0.01         | 0.07        | 0.01            | 0.03         | 0.01        | -            | -            | 0.08           | 0.03          |
| Nordeste Mato-grossense - MT            | 0.01         | 0.52        | 0.00            | 0.02         | 0.03        | -            | -            | -              | -             |
| Sudoeste Mato-grossense - MT            | 0.00         | 0.11        | 0.01            | 0.00         | -           | -            | -            | -              | -             |
| Centro-Sul Mato-grossense - MT          | 0.01         | 0.00        | 0.01            | 0.03         | -           | -            | -            | -              | -             |
| Sudeste Mato-grossense - MT             | -            | 0.00        | 0.01            | 0.07         | 0.04        | 0.02         | -            | 0.03           | -             |
| Noroeste Goiano - GO                    | 0.03         | 0.48        | 0.01            | 0.03         | -           | -            | -            | -              | -             |
| Norte Goiano - GO                       | 0.14         | 0.04        | 0.02            | 0.02         | 0.01        | -            | -            | -              | 0.00          |
| Centro Goiano - GO                      | 0.02         | 0.74        | 0.01            | 0.06         | 0.02        | 0.02         | -            | -              | 0.01          |
| Leste Goiano - GO                       | 0.28         | 0.60        | 0.02            | 0.20         | 0.04        | 0.04         | 0.36         | -              | 0.01          |
| Sul Goiano - GO                         | 0.05         | 0.39        | 0.02            | 0.05         | 0.04        | 0.01         | 0.52         | 0.05           | 0.03          |
| Distrito Federal - DF                   | 0.75         | 0.15        | 0.28            | 0.14         | 0.03        | 0.03         | 0.50         | -              | 0.00          |

ANEXO B3 - Delta 2 – Cenário atual e Futuro: adotando a proporção existente entre área irrigada e área plantada para a cana e soja para 2006( (IBGE, 2006) e 2030

| mesorregiões                    | 2006 $\Delta_{i,r}$ ) |      | 2030 $\Delta'_{i,r}$ . |      |
|---------------------------------|-----------------------|------|------------------------|------|
|                                 | Cana-de-açúcar        | Soja | Cana-de-açúcar         | Soja |
| Madeira-Guaporé - RO            | 0.07                  | -    | -                      | -    |
| Leste Rondoniense - RO          | 0.03                  | -    | -                      | 0.02 |
| Vale do Juruá - AC              | 0.00                  | -    | -                      | -    |
| Vale do Acre - AC               | 0.01                  | -    | -                      | -    |
| Norte Amazonense - AM           | -                     | -    | -                      | -    |
| Sudoeste Amazonense - AM        | 0.01                  | -    | -                      | -    |
| Centro Amazonense - AM          | -                     | -    | -                      | -    |
| Sul Amazonense - AM             | -                     | -    | -                      | -    |
| Norte de Roraima - RR           | 0.01                  | -    | -                      | -    |
| Sul de Roraima - RR             | -                     | -    | -                      | -    |
| Baixo Amazonas - PA             | 0.06                  | -    | -                      | 0.01 |
| Marajó - PA                     | 0.13                  | -    | -                      | -    |
| Metropolitana de Belém - PA     | -                     | -    | -                      | -    |
| Nordeste Paraense - PA          | 0.00                  | -    | -                      | -    |
| Sudoeste Paraense - PA          | -                     | -    | -                      | -    |
| Sudeste Paraense - PA           | 0.98                  | -    | -                      | -    |
| Norte do Amapá - AP             | -                     | -    | -                      | -    |
| Sul do Amapá - AP               | 0.08                  | -    | -                      | -    |
| Ocidental do Tocantins - TO     | 0.02                  | -    | -                      | 0.02 |
| Oriental do Tocantins - TO      | 0.92                  | 1.00 | 1.00                   | 0.03 |
| Norte Maranhense - MA           | 0.03                  | -    | -                      | -    |
| Oeste Maranhense - MA           | 0.00                  | -    | -                      | -    |
| Centro Maranhense - MA          | 0.83                  | -    | -                      | -    |
| Leste Maranhense - MA           | 0.73                  | 0.47 | 0.47                   | -    |
| Sul Maranhense - MA             | 0.29                  | -    | -                      | 0.02 |
| Norte Piauiense - PI            | 0.03                  | 0.01 | 0.01                   | -    |
| Centro-Norte Piauiense - PI     | 0.10                  | 0.13 | 0.13                   | -    |
| Sudoeste Piauiense - PI         | 0.05                  | 0.14 | 0.14                   | -    |
| Sudeste Piauiense - PI          | 0.23                  | 0.19 | 0.19                   | -    |
| Noroeste Cearense - CE          | 0.11                  | 0.17 | 0.17                   | -    |
| Norte Cearense - CE             | 0.26                  | 0.20 | 0.20                   | -    |
| Metropolitana de Fortaleza - CE | 0.32                  | 0.15 | 0.15                   | -    |
| Sertões Cearenses - CE          | 0.09                  | 0.04 | 0.04                   | -    |
| Jaguaribe - CE                  | 0.67                  | 0.02 | 0.02                   | -    |
| Centro-Sul Cearense - CE        | 0.37                  | 0.26 | 0.26                   | -    |

| mesorregiões                          | 2006           |      | 2030           |      |
|---------------------------------------|----------------|------|----------------|------|
|                                       | Cana-de-açúcar | Soja | Cana-de-açúcar | Soja |
| Sul Cearense - CE                     | 0.16           | 0.12 | 0.12           | -    |
| Oeste Potiguar - RN                   | 0.27           | 0.22 | 0.22           | -    |
| Central Potiguar - RN                 | 0.80           | 1.00 | 1.00           | -    |
| Agreste Potiguar - RN                 | 0.05           | -    | -              | -    |
| Leste Potiguar - RN                   | 0.66           | 0.37 | 0.37           | -    |
| Sertão Paraibano - PB                 | 0.37           | 0.18 | 0.18           | -    |
| Borborema - PB                        | 0.93           | -    | -              | -    |
| Agreste Paraibano - PB                | 0.09           | 0.14 | 0.14           | -    |
| Mata Paraibana - PB                   | 0.46           | 0.23 | 0.23           | -    |
| Sertão Pernambucano - PE              | 0.09           | 0.05 | 0.05           | -    |
| São Francisco Pernambucano - PE       | 0.92           | -    | -              | -    |
| Agreste Pernambucano - PE             | 0.08           | 0.03 | 0.03           | -    |
| Mata Pernambucana - PE                | 0.56           | 0.18 | 0.18           | -    |
| Metropolitana de Recife - PE          | 0.56           | 0.28 | 0.28           | -    |
| Sertão Alagoano - AL                  | 0.01           | -    | -              | -    |
| Agreste Alagoano - AL                 | 0.44           | 0.11 | 0.11           | -    |
| Leste Alagoano - AL                   | 0.69           | 0.46 | 0.46           | -    |
| Sertão Sergipano - SE                 | -              | -    | -              | -    |
| Agreste Sergipano - SE                | 0.56           | 0.01 | 0.01           | -    |
| Leste Sergipano - SE                  | 0.17           | 0.15 | 0.15           | -    |
| Extremo Oeste Baiano - BA             | 0.14           | 0.20 | 0.20           | 0.04 |
| Vale São-Franciscano da Bahia - BA    | 0.51           | 0.79 | 0.79           | -    |
| Centro Norte Baiano - BA              | 0.01           | 0.01 | 0.01           | -    |
| Nordeste Baiano - BA                  | 0.05           | 0.03 | 0.03           | -    |
| Metropolitana de Salvador - BA        | 0.46           | 0.00 | 0.00           | -    |
| Centro Sul Baiano - BA                | 0.21           | 0.13 | 0.13           | -    |
| Sul Baiano - BA                       | 0.33           | 0.15 | 0.15           | -    |
| Noroeste de Minas - MG                | 0.85           | 0.38 | 0.38           | 0.10 |
| Norte de Minas - MG                   | 0.06           | 0.03 | 0.03           | 0.12 |
| Jequitinhonha - MG                    | 0.04           | 0.04 | 0.04           | -    |
| Vale do Mucuri - MG                   | 0.06           | 0.05 | 0.05           | -    |
| Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba - MG | 0.35           | 0.19 | 0.19           | 0.03 |
| Central Mineira - MG                  | 0.65           | 0.32 | 0.32           | -    |
| Metropolitana de Belo Horizonte - MG  | 0.10           | 0.10 | 0.10           | -    |
| Vale do Rio Doce - MG                 | 0.07           | 0.04 | 0.04           | -    |
| Oeste de Minas - MG                   | 0.01           | 0.00 | 0.00           | -    |

|                                      | 2006           |      | 2030           |      |
|--------------------------------------|----------------|------|----------------|------|
| mesorregiões                         | Cana-de-açúcar | Soja | Cana-de-açúcar | Soja |
| Sul/Sudoeste de Minas - MG           | 0.30           | 0.03 | 0.03           | 0.01 |
| Campo das Vertentes - MG             | 0.03           | 0.01 | 0.01           | -    |
| Zona da Mata - MG                    | 0.37           | 0.17 | 0.17           | -    |
| Noroeste Espírito-santense - ES      | 0.78           | 0.17 | 0.17           | -    |
| Litoral Norte Espírito-santense - ES | 0.31           | 0.25 | 0.25           | -    |
| Central Espírito-santense - ES       | 0.23           | 0.17 | 0.17           | -    |
| Sul Espírito-santense - ES           | 0.21           | 0.25 | 0.25           | -    |
| Noroeste Fluminense - RJ             | 0.16           | 0.06 | 0.06           | -    |
| Norte Fluminense - RJ                | 0.21           | 0.20 | 0.20           | -    |
| Centro Fluminense - RJ               | 0.03           | 0.01 | 0.01           | -    |
| Baixadas - RJ                        | 0.06           | 0.06 | 0.06           | -    |
| Sul Fluminense - RJ                  | 0.02           | 0.00 | 0.00           | -    |
| Metropolitana do Rio de Janeiro - RJ | 0.02           | 0.04 | 0.04           | -    |
| São José do Rio Preto - SP           | 0.09           | 0.05 | 0.05           | 0.03 |
| Ribeirão Preto - SP                  | 0.16           | 0.14 | 0.14           | 0.04 |
| Araçatuba - SP                       | 0.07           | 0.02 | 0.02           | 0.02 |
| Bauru - SP                           | 0.19           | 0.14 | 0.14           | 0.11 |
| Araraquara - SP                      | 0.09           | 0.09 | 0.09           | -    |
| Piracicaba - SP                      | 0.03           | 0.03 | 0.03           | -    |
| Campinas - SP                        | 0.25           | 0.25 | 0.25           | 0.01 |
| Presidente Prudente - SP             | 0.09           | 0.08 | 0.08           | 0.00 |
| Marília - SP                         | 0.01           | -    | -              | -    |
| Assis - SP                           | 0.22           | 0.13 | 0.13           | 0.01 |
| Itapetininga - SP                    | 0.06           | 0.05 | 0.05           | 0.11 |
| Macro Metropolitana Paulista - SP    | 0.01           | 0.00 | 0.00           | -    |
| Vale do Paraíba Paulista - SP        | 0.03           | 0.00 | 0.00           | -    |
| Litoral Sul Paulista - SP            | 0.11           | -    | -              | -    |
| Metropolitana de São Paulo - SP      | 0.25           | -    | -              | -    |
| Noroeste Paranaense - PR             | 0.02           | 0.01 | 0.01           | 0.00 |
| Centro Ocidental Paranaense - PR     | 0.12           | -    | -              | 0.00 |
| Norte Central Paranaense - PR        | 0.15           | 0.10 | 0.10           | 0.00 |
| Norte Pioneiro Paranaense - PR       | 0.20           | 0.18 | 0.18           | 0.01 |
| Centro Oriental Paranaense - PR      | -              | 0.00 | 0.00           | 0.01 |
| Oeste Paranaense - PR                | 0.00           | 0.00 | 0.00           | 0.00 |
| Sudoeste Paranaense - PR             | 0.00           | 0.01 | 0.01           | 0.00 |

| mesorregiões                            | 2006           |      | 2030           |      |
|-----------------------------------------|----------------|------|----------------|------|
|                                         | Cana-de-açúcar | Soja | Cana-de-açúcar | Soja |
| Centro-Sul Paranaense - PR              | 0.03           | 0.01 | 0.01           | 0.00 |
| Sudeste Paranaense - PR                 | -              | 0.00 | 0.00           | 0.01 |
| Metropolitana de Curitiba - PR          | 0.03           | 0.01 | 0.01           | 0.02 |
| Oeste Catarinense - SC                  | 0.00           | 0.00 | 0.00           | 0.00 |
| Norte Catarinense - SC                  | 0.07           | 0.06 | 0.06           | 0.00 |
| Serrana - SC                            | -              | -    | -              | 0.00 |
| Vale do Itajaí - SC                     | 0.00           | 0.01 | 0.01           | -    |
| Grande Florianópolis - SC               | 0.01           | 0.01 | 0.01           | -    |
| Sul Catarinense - SC                    | 0.01           | 0.01 | 0.01           | -    |
| Noroeste Rio-grandense - RS             | 0.00           | 0.00 | 0.00           | 0.01 |
| Nordeste Rio-grandense - RS             | 0.00           | -    | -              | 0.00 |
| Centro Ocidental Rio-grandense - RS     | 0.01           | 0.05 | 0.05           | 0.02 |
| Centro Oriental Rio-grandense - RS      | 0.01           | 0.00 | 0.00           | 0.04 |
| Metropolitana de Porto Alegre - RS      | 0.02           | 0.02 | 0.02           | 0.13 |
| Sudoeste Rio-grandense - RS             | 0.01           | -    | -              | 0.05 |
| Sudeste Rio-grandense - RS              | -              | -    | -              | 0.04 |
| Pantaneais Sul Mato-grossense - MS      | 0.01           | -    | -              | -    |
| Centro Norte de Mato Grosso do Sul - MS | 0.44           | 0.38 | 0.38           | 0.01 |
| Leste de Mato Grosso do Sul - MS        | 0.87           | 0.81 | 0.81           | 0.01 |
| Sudoeste de Mato Grosso do Sul - MS     | 0.18           | 0.09 | 0.09           | 0.02 |
| Norte Mato-grossense - MT               | 0.07           | 0.12 | 0.12           | 0.01 |
| Nordeste Mato-grossense - MT            | 0.52           | 1.00 | 1.00           | 0.01 |
| Sudoeste Mato-grossense - MT            | 0.11           | 0.13 | 0.13           | -    |
| Centro-Sul Mato-grossense - MT          | 0.00           | 0.04 | 0.04           | -    |
| Sudeste Mato-grossense - MT             | 0.00           | 0.00 | 0.00           | 0.02 |
| Noroeste Goiano - GO                    | 0.48           | 0.02 | 0.02           | -    |
| Norte Goiano - GO                       | 0.04           | 0.01 | 0.01           | 0.02 |
| Centro Goiano - GO                      | 0.74           | 0.51 | 0.51           | 0.02 |
| Leste Goiano - GO                       | 0.60           | 0.39 | 0.39           | 0.06 |
| Sul Goiano - GO                         | 0.39           | 0.53 | 0.53           | 0.03 |
| Distrito Federal - DF                   | 0.15           | 0.13 | 0.13           | 0.03 |

**ANEXO C - COEFICIENTES ANUAL POR CULTURA E POR MESORREGIÃO**  
(MM.ANO<sup>-1</sup>)

| <b>mesorregiões</b>             | <b>Arroz</b> | <b>Cana-de-açúcar</b> | <b>Mandioca</b> | <b>Milho</b> | <b>Soja</b> | <b>Sorgo</b> | <b>Trigo</b> | <b>Algodão</b> | <b>Feijão</b> |
|---------------------------------|--------------|-----------------------|-----------------|--------------|-------------|--------------|--------------|----------------|---------------|
| Madeira-Guaporé - RO            | 56.08        | 67.38                 | 24.20           | 40.22        | -           | -            | -            | -              | 53.12         |
| Leste Rondoniense - RO          | 67.11        | 74.46                 | 41.10           | 41.95        | 28.53       | -            | -            | -              | 53.50         |
| Vale do Juruá - AC              | 47.84        | 48.02                 | 40.79           | 36.29        | -           | -            | -            | -              | 3.19          |
| Vale do Acre - AC               | 66.88        | 68.43                 | 51.40           | 56.38        | -           | -            | -            | -              | 2.89          |
| Norte Amazonense - AM           | -            | 40.49                 | 21.75           | -            | -           | -            | -            | -              | -             |
| Sudoeste Amazonense - AM        | 17.79        | 34.46                 | 5.24            | 6.22         | -           | -            | -            | -              | -             |
| Centro Amazonense - AM          | 9.78         | 58.36                 | 43.74           | 0.01         | -           | -            | -            | -              | 19.45         |
| Sul Amazonense - AM             | 38.79        | 66.95                 | 22.23           | 24.88        | -           | -            | -            | -              | 30.23         |
| Norte de Roraima - RR           | 72.17        | 84.57                 | 43.96           | 59.04        | -           | -            | -            | -              | 38.83         |
| Sul de Roraima - RR             | 57.65        | 65.64                 | 71.47           | 47.68        | -           | -            | -            | -              | 36.86         |
| Baixo Amazonas - PA             | 103.03       | 99.15                 | 42.92           | 91.10        | 66.16       | -            | -            | -              | 37.41         |
| Marajó - PA                     | 79.76        | 76.65                 | 38.95           | 68.09        | -           | -            | -            | -              | 18.13         |
| Metropolitana de Belém - PA     | 79.99        | 77.82                 | 33.87           | 57.11        | -           | -            | -            | -              | 49.58         |
| Nordeste Paraense - PA          | 114.07       | 84.23                 | 60.74           | 94.28        | -           | -            | -            | -              | 65.35         |
| Sudoeste Paraense - PA          | 89.30        | 91.90                 | 24.19           | 65.89        | 67.55       | -            | -            | -              | 19.99         |
| Sudeste Paraense - PA           | 85.68        | 99.65                 | 26.40           | 58.75        | 65.17       | -            | -            | -              | 69.34         |
| Norte do Amapá - AP             | 100.97       | 119.03                | 42.18           | 78.47        | -           | -            | -            | -              | 71.77         |
| Sul do Amapá - AP               | 51.37        | 94.84                 | 34.61           | 34.07        | -           | -            | -            | -              | 66.66         |
| Ocidental do Tocantins - TO     | 104.57       | 112.50                | 53.14           | 67.62        | 74.61       | -            | -            | -              | 74.34         |
| Oriental do Tocantins - TO      | 96.24        | 122.95                | 54.03           | 65.69        | 82.24       | -            | -            | -              | 84.89         |
| Norte Maranhense - MA           | 128.20       | 136.06                | 68.02           | 92.69        | -           | -            | -            | -              | 84.54         |
| Oeste Maranhense - MA           | 114.05       | 116.94                | 61.32           | 83.13        | -           | -            | -            | -              | 88.16         |
| Centro Maranhense - MA          | 109.10       | 137.91                | 43.95           | 79.35        | 72.82       | -            | -            | -              | 77.94         |
| Leste Maranhense - MA           | 105.36       | 144.21                | 75.99           | 92.76        | 84.14       | -            | -            | -              | 102.31        |
| Sul Maranhense - MA             | 106.88       | 113.28                | 24.63           | 68.35        | 109.15      | -            | -            | -              | 43.19         |
| Norte Piauiense - PI            | 118.49       | 152.62                | 108.23          | 97.26        | -           | 85.56        | -            | -              | 98.48         |
| Centro-Norte Piauiense - PI     | 136.41       | 140.88                | 111.08          | 92.33        | -           | -            | -            | -              | 90.87         |
| Sudoeste Piauiense - PI         | 108.59       | 113.24                | 90.44           | 72.13        | -           | -            | -            | -              | 81.54         |
| Sudeste Piauiense - PI          | 132.20       | 137.69                | 119.20          | 94.50        | -           | 146.85       | -            | -              | 105.62        |
| Noroeste Cearense - CE          | 134.25       | 137.83                | 84.64           | 88.89        | -           | 75.28        | -            | 104.45         | 91.29         |
| Norte Cearense - CE             | 106.07       | 147.77                | 109.68          | 79.87        | -           | 53.49        | -            | 128.89         | 97.28         |
| Metropolitana de Fortaleza - CE | 95.93        | 139.79                | 112.77          | 91.66        | -           | 73.96        | -            | -              | 98.98         |
| Sertões Cearenses - CE          | 126.85       | 145.39                | 91.54           | 93.49        | -           | 55.05        | -            | 137.29         | 118.52        |
| Jaguaribe - CE                  | 109.34       | 146.42                | 100.56          | 81.88        | 82.09       | 76.27        | -            | 134.67         | 80.64         |
| Centro-Sul Cearense - CE        | 110.20       | 157.20                | 109.44          | 88.47        | -           | 87.84        | -            | 132.54         | 96.11         |
| Sul Cearense - CE               | 117.27       | 132.03                | 90.80           | 77.88        | -           | 49.98        | -            | 92.71          | 85.27         |
| Oeste Potiguar - RN             | 133.27       | 145.60                | 88.66           | 106.22       | 80.86       | 57.63        | 86.99        | 95.57          | 106.49        |
| Central Potiguar - RN           | 118.29       | 169.20                | 63.78           | 96.32        | -           | 63.97        | 54.58        | 74.94          | 107.69        |
| Agreste Potiguar - RN           | -            | 123.77                | 71.59           | 98.49        | -           | 44.58        | -            | 83.58          | 92.52         |
| Leste Potiguar - RN             | -            | 111.29                | 74.42           | 78.04        | -           | 41.47        | -            | 76.71          | 62.80         |

| <b>mesorregiões</b>                   | <b>Arroz</b> | <b>Cana-de-açúcar</b> | <b>Mandioca</b> | <b>Milho</b> | <b>Soja</b> | <b>Sorgo</b> | <b>Trigo</b> | <b>Algodão</b> | <b>Feijão</b> |
|---------------------------------------|--------------|-----------------------|-----------------|--------------|-------------|--------------|--------------|----------------|---------------|
| Sertão Paraibano - PB                 | 80.72        | 144.23                | 78.88           | 64.31        | -           | 69.67        | 55.52        | 115.69         | 100.32        |
| Borborema - PB                        | 118.80       | 162.42                | 89.61           | 69.58        | -           | 27.54        | -            | 97.28          | 73.24         |
| Agreste Paraibano - PB                | 87.45        | 96.93                 | 78.32           | 64.33        | -           | 45.52        | -            | 89.61          | 98.76         |
| Mata Paraibana - PB                   | -            | 107.24                | 81.53           | 59.31        | -           | -            | -            | -              | 85.10         |
| Sertão Pernambucano - PE              | 116.92       | 124.58                | 96.09           | 78.85        | -           | 48.52        | -            | 98.44          | 101.75        |
| São Francisco Pernambucano - PE       | 132.30       | 181.46                | 110.39          | 93.81        | -           | 77.68        | -            | 97.25          | 100.58        |
| Agreste Pernambucano - PE             | -            | 104.40                | 95.88           | 87.58        | -           | 90.20        | -            | 90.06          | 90.09         |
| Mata Pernambucana - PE                | -            | 103.21                | 102.15          | 85.71        | -           | -            | -            | -              | 101.15        |
| Metropolitana de Recife - PE          | -            | 113.38                | 98.18           | 77.70        | -           | -            | -            | -              | 77.68         |
| Sertão Alagoano - AL                  | -            | 131.52                | 75.89           | 77.65        | -           | -            | -            | 71.88          | 79.16         |
| Agreste Alagoano - AL                 | 139.46       | 104.56                | 83.26           | 66.17        | -           | -            | -            | 73.99          | 60.60         |
| Leste Alagoano - AL                   | 121.81       | 103.84                | 95.92           | 63.27        | -           | -            | -            | 63.33          | 73.59         |
| Sertão Sergipano - SE                 | -            | 97.41                 | 98.42           | 75.14        | -           | -            | -            | -              | 86.73         |
| Agreste Sergipano - SE                | -            | 107.20                | 79.69           | 47.05        | -           | -            | -            | -              | 61.73         |
| Leste Sergipano - SE                  | 109.50       | 114.32                | 81.20           | 77.23        | -           | -            | -            | -              | 76.54         |
| Extremo Oeste Baiano - BA             | 78.50        | 106.09                | 62.99           | 37.88        | 89.65       | 78.36        | -            | 89.31          | 76.18         |
| Vale São-Franciscano da Bahia - BA    | 119.04       | 212.45                | 86.00           | 60.87        | -           | 71.11        | -            | 76.17          | 85.91         |
| Centro Norte Baiano - BA              | 93.97        | 95.40                 | 58.44           | 39.29        | 87.38       | 51.23        | -            | 61.45          | 75.84         |
| Nordeste Baiano - BA                  | 72.45        | 109.72                | 77.08           | 84.79        | -           | 41.77        | -            | 83.43          | 81.79         |
| Metropolitana de Salvador - BA        | -            | 68.38                 | 57.90           | 46.79        | -           | -            | -            | -              | 31.95         |
| Centro Sul Baiano - BA                | 55.03        | 92.00                 | 59.86           | 24.89        | 76.23       | 69.97        | -            | 51.26          | 67.53         |
| Sul Baiano - BA                       | 29.33        | 57.70                 | 32.63           | 17.48        | -           | -            | -            | -              | 23.60         |
| Noroeste de Minas - MG                | 60.11        | 89.94                 | 63.52           | 64.25        | 68.72       | 67.52        | 22.15        | 77.40          | 64.47         |
| Norte de Minas - MG                   | 80.79        | 99.42                 | 63.58           | 69.03        | 59.29       | 68.82        | -            | 35.51          | 71.91         |
| Jequitinhonha - MG                    | 72.42        | 78.32                 | 40.55           | 52.31        | -           | -            | -            | 25.97          | 47.35         |
| Vale do Mucuri - MG                   | 68.52        | 65.81                 | 46.41           | 39.88        | -           | -            | -            | -              | 41.59         |
| Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba - MG | 66.31        | 84.12                 | 49.46           | 45.37        | 53.96       | 48.73        | 19.43        | 75.49          | 52.40         |
| Central Mineira - MG                  | 46.62        | 72.19                 | 44.54           | 46.41        | 46.80       | 44.87        | -            | -              | 47.93         |
| Metropolitana de Belo Horizonte - MG  | 59.37        | 74.72                 | 43.19           | 44.71        | -           | 50.74        | -            | -              | 43.51         |
| Vale do Rio Doce - MG                 | 62.93        | 77.26                 | 44.88           | 39.32        | -           | 41.39        | -            | -              | 41.13         |
| Oeste de Minas - MG                   | 55.56        | 62.09                 | 40.97           | 36.53        | 46.48       | 36.68        | -            | -              | 36.81         |
| Sul/Sudoeste de Minas - MG            | 41.14        | 54.93                 | 22.73           | 26.61        | 38.27       | 30.61        | -            | -              | 28.74         |
| Campo das Vertentes - MG              | 60.01        | 64.89                 | 31.13           | 34.17        | -           | 36.41        | -            | -              | 34.28         |
| Zona da Mata - MG                     | 98.35        | 62.75                 | 32.90           | 29.40        | -           | 26.36        | -            | -              | 29.96         |
| Noroeste Espírito-santense - ES       | 63.16        | 64.30                 | 42.32           | 37.76        | -           | -            | -            | -              | 42.44         |
| Litoral Norte Espírito-santense - ES  | 49.25        | 61.23                 | 29.50           | 27.32        | -           | -            | -            | -              | 28.47         |
| Central Espírito-santense - ES        | 59.76        | 67.01                 | 27.02           | 34.34        | -           | -            | -            | -              | 30.98         |
| Sul Espírito-santense - ES            | 49.17        | 63.42                 | 25.88           | 31.95        | -           | 16.94        | -            | -              | 28.40         |
| Noroeste Fluminense - RJ              | 105.04       | 57.40                 | 18.46           | 30.58        | -           | 36.69        | -            | -              | 23.66         |
| Norte Fluminense - RJ                 | 90.36        | 60.46                 | 14.39           | 32.36        | -           | 43.76        | -            | -              | 21.90         |
| Centro Fluminense - RJ                | 95.05        | 44.18                 | 15.28           | 18.10        | -           | 29.92        | -            | -              | 22.92         |
| Baixas - RJ                           | -            | 42.45                 | 5.46            | 19.10        | -           | -            | -            | -              | 8.45          |
| Sul Fluminense - RJ                   | -            | 31.43                 | 0.26            | 18.37        | -           | -            | -            | -              | 9.61          |



| <b>mesorregiões</b>                     | <b>Arroz</b> | <b>Cana-de-açúcar</b> | <b>Mandioca</b> | <b>Milho</b> | <b>Soja</b> | <b>Sorgo</b> | <b>Trigo</b> | <b>Algodão</b> | <b>Feijão</b> |
|-----------------------------------------|--------------|-----------------------|-----------------|--------------|-------------|--------------|--------------|----------------|---------------|
| Metropolitana do Rio de Janeiro - RJ    | -            | 38.95                 | 8.27            | 17.50        | -           | -            | -            | -              | 7.23          |
| São José do Rio Preto - SP              | 61.05        | 71.68                 | 40.22           | 36.72        | 41.38       | 25.63        | -            | 31.90          | 35.14         |
| Ribeirão Preto - SP                     | 52.82        | 70.18                 | 35.75           | 46.08        | 50.32       | 53.81        | -            | 34.27          | 47.75         |
| Araçatuba - SP                          | 51.62        | 57.64                 | 42.12           | 30.20        | 33.15       | 26.68        | -            | 23.06          | 24.49         |
| Bauru - SP                              | 41.37        | 51.21                 | 28.28           | 15.23        | 11.24       | 18.20        | 6.55         | 11.84          | 8.50          |
| Araraquara - SP                         | 55.25        | 64.65                 | 37.31           | 31.83        | 36.22       | 9.17         | -            | -              | 35.60         |
| Piracicaba - SP                         | 44.27        | 55.75                 | 36.33           | 27.61        | 29.10       | 19.59        | -            | 26.04          | 31.09         |
| Campinas - SP                           | 33.45        | 57.17                 | 27.76           | 24.42        | 31.73       | 25.42        | -            | 23.91          | 20.80         |
| Presidente Prudente - SP                | 62.20        | 50.98                 | 30.36           | 23.26        | 23.86       | 15.12        | -            | 15.53          | 23.99         |
| Marília - SP                            | -            | 47.22                 | 28.73           | 21.80        | 25.70       | 20.48        | -            | 11.74          | 21.94         |
| Assis - SP                              | 29.84        | 39.12                 | 22.63           | 15.04        | 12.87       | -            | 13.27        | -              | 9.11          |
| Itapetininga - SP                       | 23.08        | 42.08                 | 19.48           | 14.44        | 11.59       | 16.53        | 6.99         | 15.65          | 9.67          |
| Macro Metropolitana Paulista - SP       | -            | 45.09                 | 25.91           | 17.01        | 10.37       | 19.34        | 17.85        | -              | 13.57         |
| Vale do Paraíba Paulista - SP           | 97.53        | 40.38                 | 12.09           | 14.65        | -           | 18.21        | -            | -              | 18.35         |
| Litoral Sul Paulista - SP               | 20.00        | 26.92                 | 20.63           | 11.48        | -           | -            | -            | -              | 12.20         |
| Metropolitana de São Paulo - SP         | -            | 37.18                 | 11.74           | 11.64        | -           | -            | -            | -              | 12.00         |
| Noroeste Paranaense - PR                | 20.74        | 32.60                 | 21.46           | 11.37        | 10.64       | 12.77        | 9.33         | 8.77           | 14.51         |
| Centro Ocidental Paranaense - PR        | 16.83        | 24.44                 | 19.23           | 12.57        | 10.38       | 13.49        | 8.88         | 9.77           | 12.82         |
| Norte Central Paranaense - PR           | 17.25        | 28.02                 | 16.64           | 9.61         | 12.21       | 20.07        | 7.74         | 10.88          | 10.14         |
| Norte Pioneiro Paranaense - PR          | 19.77        | 28.64                 | 20.92           | 14.96        | 14.35       | 13.76        | 8.27         | 11.07          | 11.62         |
| Centro Oriental Paranaense - PR         | 15.05        | 20.21                 | 13.94           | 7.87         | 5.13        | 1.43         | 7.18         | 15.44          | 3.55          |
| Oeste Paranaense - PR                   | 15.86        | 20.03                 | 14.08           | 14.61        | 6.48        | 3.00         | 12.78        | 7.45           | 3.73          |
| Sudoeste Paranaense - PR                | 12.31        | 20.05                 | 8.41            | 3.03         | 7.40        | -            | 25.87        | -              | -             |
| Centro-Sul Paranaense - PR              | 13.53        | 17.92                 | 4.60            | 1.08         | 0.78        | 3.58         | 11.71        | 16.53          | 0.10          |
| Sudeste Paranaense - PR                 | 14.86        | 17.22                 | 8.82            | 5.48         | 6.05        | -            | 9.14         | -              | 0.17          |
| Metropolitana de Curitiba - PR          | 2.29         | 13.97                 | 9.51            | 15.03        | 4.92        | 1.68         | 10.58        | -              | 5.83          |
| Oeste Catarinense - SC                  | 100.87       | 32.39                 | -               | 7.04         | 3.52        | -            | 8.39         | -              | 5.71          |
| Norte Catarinense - SC                  | 111.83       | 10.26                 | -               | -            | 1.73        | -            | 5.36         | -              | 4.66          |
| Serrana - SC                            | 117.18       | 27.81                 | -               | 4.93         | 18.00       | -            | 14.82        | -              | 10.00         |
| Vale do Itajaí - SC                     | 122.34       | 18.58                 | 0.06            | 1.34         | 13.82       | -            | -            | -              | 11.94         |
| Grande Florianópolis - SC               | 111.31       | 15.62                 | 1.19            | 3.99         | -           | -            | -            | -              | 6.85          |
| Sul Catarinense - SC                    | 128.18       | 19.54                 | 0.08            | 4.78         | -           | -            | -            | -              | 10.98         |
| Noroeste Rio-grandense - RS             | 174.25       | 43.22                 | 0.49            | 11.05        | 16.85       | -            | -            | -              | 4.17          |
| Nordeste Rio-grandense - RS             | 172.84       | 36.77                 | -               | 0.29         | 14.15       | -            | -            | -              | 6.04          |
| Centro Ocidental Rio-grandense - RS     | 192.95       | 54.04                 | -               | 8.60         | 17.72       | -            | -            | -              | 2.90          |
| Centro Oriental Rio-grandense - RS      | 193.31       | 44.21                 | 0.36            | 4.67         | 17.47       | -            | -            | -              | 6.11          |
| Metropolitana de Porto Alegre - RS      | 200.14       | 40.24                 | 0.37            | 5.35         | 19.62       | -            | -            | -              | 10.43         |
| Sudoeste Rio-grandense - RS             | 190.09       | 46.90                 | 1.67            | 2.92         | 19.70       | 7.93         | -            | -              | 4.01          |
| Sudeste Rio-grandense - RS              | 192.93       | 53.07                 | -               | 8.14         | 19.41       | -            | -            | -              | 7.28          |
| Pantanaís Sul Mato-grossense - MS       | 41.33        | 72.15                 | 47.92           | 36.09        | 41.81       | -            | -            | 36.91          | 40.31         |
| Centro Norte de Mato Grosso do Sul - MS | 39.44        | 69.15                 | 49.31           | 28.39        | 39.00       | 36.83        | 46.26        | 21.28          | 36.19         |
| Leste de Mato Grosso do Sul - MS        | 29.74        | 55.10                 | 32.75           | 28.60        | 34.41       | 27.73        | -            | 38.13          | 19.06         |
| Sudoeste de Mato Grosso do Sul - MS     | 27.76        | 43.06                 | 28.34           | 13.46        | 18.73       | 25.09        | 22.48        | 9.75           | 12.81         |

| <b>mesorregiões</b>            | <b>Arroz</b> | <b>Cana-de-açúcar</b> | <b>Mandioca</b> | <b>Milho</b> | <b>Soja</b> | <b>Sorgo</b> | <b>Trigo</b> | <b>Algodão</b> | <b>Feijão</b> |
|--------------------------------|--------------|-----------------------|-----------------|--------------|-------------|--------------|--------------|----------------|---------------|
| Norte Mato-grossense - MT      | 83.21        | 87.05                 | 50.87           | 54.63        | 58.71       | 38.49        | -            | 60.28          | 56.78         |
| Nordeste Mato-grossense - MT   | 82.90        | 88.38                 | 45.51           | 49.76        | 56.98       | 55.42        | -            | 66.35          | 63.69         |
| Sudoeste Mato-grossense - MT   | 73.43        | 79.96                 | 47.73           | 51.83        | 59.98       | 38.69        | -            | 55.14          | 56.20         |
| Centro-Sul Mato-grossense - MT | 84.36        | 92.36                 | 48.02           | 49.89        | 60.17       | -            | -            | -              | 67.58         |
| Sudeste Mato-grossense - MT    | 72.04        | 76.79                 | 41.82           | 49.88        | 47.40       | 50.09        | -            | 55.25          | 46.64         |
| Noroeste Goiano - GO           | 85.54        | 109.40                | 60.64           | 66.50        | 59.56       | 52.38        | -            | -              | 61.34         |
| Norte Goiano - GO              | 97.36        | 113.38                | 60.26           | 63.16        | 71.01       | 55.30        | -            | -              | 59.21         |
| Centro Goiano - GO             | 81.59        | 101.61                | 51.17           | 60.64        | 54.08       | 59.43        | -            | -              | 64.21         |
| Leste Goiano - GO              | 74.61        | 108.19                | 63.94           | 64.91        | 63.96       | 49.71        | 33.57        | -              | 64.23         |
| Sul Goiano - GO                | 73.29        | 87.87                 | 45.55           | 48.60        | 53.83       | 48.39        | 30.99        | 34.17          | 55.54         |
| Distrito Federal - DF          | 83.21        | 87.05                 | 50.87           | 54.63        | 58.71       | 38.49        | -            | 60.28          | 56.78         |

## ANEXO D - RENDIMENTOS

## ANEXO D1- Rendimento médio em toneladas por hectare.

| <b>mesorregiões</b>             | <b>Arroz</b> | <b>Cana-de-açúcar</b> | <b>Mandioca</b> | <b>Milho</b> | <b>Soja</b> | <b>Sorgo</b> | <b>Trigo</b> | <b>Algodão</b> | <b>Feijão</b> |
|---------------------------------|--------------|-----------------------|-----------------|--------------|-------------|--------------|--------------|----------------|---------------|
| Madeira-Guaporé - RO            | 1.46         | 42.10                 | 15.36           | 1.41         | 1.41        | -            | -            | 0.46           | 0.50          |
| Leste Rondoniense - RO          | 1.81         | 58.11                 | 16.29           | 1.79         | 2.64        | 0.05         | -            | 0.55           | 0.65          |
| Vale do Juruá - AC              | 0.97         | 36.03                 | 16.34           | 1.14         | -           | -            | -            | -              | 0.61          |
| Vale do Acre - AC               | 1.46         | 32.55                 | 16.46           | 1.60         | 0.94        | -            | -            | 0.78           | 0.50          |
| Norte Amazonense - AM           | 1.25         | 36.41                 | 7.23            | 2.59         | -           | -            | -            | 0.50           | 0.83          |
| Sudoeste Amazonense - AM        | 1.55         | 23.38                 | 8.37            | 1.39         | 0.29        | -            | -            | 0.91           | 0.91          |
| Centro Amazonense - AM          | 1.73         | 57.02                 | 9.88            | 1.92         | 1.19        | -            | -            | -              | 1.01          |
| Sul Amazonense - AM             | 1.75         | 27.99                 | 10.41           | 1.41         | 1.80        | 0.13         | -            | 0.71           | 0.89          |
| Norte de Roraima - RR           | 4.58         | 2.76                  | 11.52           | 1.68         | 0.89        | -            | -            | -              | 0.54          |
| Sul de Roraima - RR             | 2.42         | 2.46                  | 11.43           | 1.39         | 0.71        | -            | -            | -              | 0.36          |
| Baixo Amazonas - PA             | 2.19         | 27.14                 | 12.73           | 1.97         | 2.48        | -            | -            | -              | 0.67          |
| Marajó - PA                     | 1.29         | 22.28                 | 10.82           | 0.72         | -           | -            | -            | 0.06           | 0.58          |
| Metropolitana de Belém - PA     | 0.70         | 33.71                 | 12.24           | 0.84         | -           | -            | -            | 0.19           | 0.85          |
| Nordeste Paraense - PA          | 1.09         | 29.91                 | 13.95           | 0.88         | 1.06        | -            | -            | 0.21           | 0.83          |
| Sudoeste Paraense - PA          | 1.65         | 50.98                 | 17.27           | 1.53         | 1.51        | -            | -            | -              | 0.71          |
| Sudeste Paraense - PA           | 1.62         | 72.14                 | 16.99           | 1.86         | 2.41        | 0.47         | -            | 0.26           | 0.55          |
| Norte do Amapá - AP             | 0.76         | -                     | 10.09           | 0.98         | -           | -            | -            | -              | 0.54          |
| Sul do Amapá - AP               | 0.99         | 23.35                 | 10.24           | 0.76         | -           | -            | -            | -              | 0.51          |
| Ocidental do Tocantins - TO     | 2.73         | 29.60                 | 17.59           | 1.68         | 2.30        | 1.37         | -            | 1.35           | 0.65          |
| Oriental do Tocantins - TO      | 1.60         | 55.97                 | 14.85           | 2.28         | 2.31        | 1.14         | -            | 1.19           | 0.59          |
| Norte Maranhense - MA           | 1.26         | 27.01                 | 6.56            | 0.56         | -           | -            | -            | -              | 0.37          |
| Oeste Maranhense - MA           | 1.33         | 66.34                 | 8.64            | 0.95         | 0.20        | -            | -            | 0.09           | 0.45          |
| Centro Maranhense - MA          | 1.39         | 49.07                 | 7.79            | 0.85         | 1.86        | -            | -            | 0.43           | 0.43          |
| Leste Maranhense - MA           | 1.24         | 45.40                 | 6.40            | 0.58         | 2.28        | -            | -            | 0.65           | 0.39          |
| Sul Maranhense - MA             | 1.52         | 59.30                 | 5.78            | 2.84         | 2.41        | 0.15         | -            | 2.71           | 0.52          |
| Norte Piauiense - PI            | 1.51         | 49.60                 | 7.92            | 0.51         | 0.61        | 0.12         | -            | 0.14           | 0.25          |
| Centro-Norte Piauiense - PI     | 0.73         | 60.61                 | 8.28            | 0.50         | 0.01        | 0.10         | -            | 0.17           | 0.21          |
| Sudoeste Piauiense - PI         | 1.24         | 45.00                 | 10.08           | 0.93         | 2.26        | 0.72         | -            | 1.97           | 0.27          |
| Sudeste Piauiense - PI          | 0.90         | 35.75                 | 10.50           | 0.43         | -           | 0.60         | -            | 0.33           | 0.19          |
| Noroeste Cearense - CE          | 0.80         | 52.93                 | 7.63            | 0.53         | 0.33        | 0.39         | -            | 0.84           | 0.27          |
| Norte Cearense - CE             | 1.31         | 53.15                 | 7.78            | 0.58         | -           | 2.26         | -            | 0.87           | 0.28          |
| Metropolitana de Fortaleza - CE | 1.17         | 52.59                 | 9.51            | 0.60         | -           | 0.59         | -            | 0.39           | 0.32          |
| Sertões Cearenses - CE          | 1.23         | 34.32                 | 9.09            | 0.63         | -           | 1.37         | -            | 0.70           | 0.27          |

| <b>mesorregiões</b>                   | <b>Arroz</b> | <b>Cana-de-açúcar</b> | <b>Mandioca</b> | <b>Milho</b> | <b>Soja</b> | <b>Sorgo</b> | <b>Trigo</b> | <b>Algodão</b> | <b>Feijão</b> |
|---------------------------------------|--------------|-----------------------|-----------------|--------------|-------------|--------------|--------------|----------------|---------------|
| Jaguaribe - CE                        | 5.32         | 31.52                 | 7.36            | 0.83         | 1.47        | 1.78         | -            | 0.75           | 0.42          |
| Centro-Sul Cearense - CE              | 3.01         | 37.48                 | 10.29           | 0.82         | 0.56        | 0.89         | -            | 1.02           | 0.31          |
| Sul Cearense - CE                     | 1.34         | 45.07                 | 10.35           | 1.11         | 0.17        | 0.38         | -            | 1.14           | 0.33          |
| Oeste Potiguar - RN                   | 2.30         | 29.22                 | 7.54            | 0.63         | -           | 1.58         | -            | 0.53           | 0.37          |
| Central Potiguar - RN                 | 1.20         | 27.32                 | 8.23            | 0.36         | -           | 0.41         | -            | 0.32           | 0.35          |
| Agreste Potiguar - RN                 | -            | 55.11                 | 10.07           | 0.45         | -           | 0.85         | -            | 0.53           | 0.37          |
| Leste Potiguar - RN                   | 0.43         | 53.43                 | 9.56            | 0.53         | -           | 0.43         | -            | 0.85           | 0.49          |
| Sertão Paraibano - PB                 | 1.22         | 30.57                 | 7.67            | 0.63         | -           | -            | -            | 0.80           | 0.33          |
| Borborema - PB                        | 0.95         | 4.93                  | 8.41            | 0.31         | -           | -            | -            | 0.49           | 0.26          |
| Agreste Paraibano - PB                | 1.90         | 34.74                 | 8.16            | 0.52         | -           | -            | -            | 0.73           | 0.42          |
| Mata Paraibana - PB                   | 0.23         | 47.05                 | 8.69            | 0.74         | -           | -            | -            | 0.70           | 0.43          |
| Sertão Pernambucano - PE              | 1.37         | 29.37                 | 9.22            | 0.51         | -           | 0.80         | -            | 0.56           | 0.26          |
| São Francisco Pernambucano - PE       | 5.34         | 20.16                 | 9.55            | 0.49         | -           | 0.75         | -            | 0.45           | 0.48          |
| Agreste Pernambucano - PE             | -            | 44.94                 | 9.78            | 0.43         | -           | 0.59         | -            | 0.46           | 0.43          |
| Mata Pernambucana - PE                | 0.92         | 49.53                 | 11.18           | 0.44         | -           | 0.08         | -            | 0.07           | 0.40          |
| Metropolitana de Recife - PE          | -            | 48.26                 | 10.42           | 0.39         | -           | -            | -            | 0.19           | 0.39          |
| Sertão Alagoano - AL                  | 0.42         | 42.64                 | 9.64            | 0.39         | -           | -            | -            | 0.26           | 0.40          |
| Agreste Alagoano - AL                 | 0.97         | 53.55                 | 14.51           | 0.72         | 0.84        | -            | -            | 0.35           | 0.50          |
| Leste Alagoano - AL                   | 4.39         | 59.50                 | 10.41           | 0.54         | 0.30        | -            | -            | 0.09           | 0.42          |
| Sertão Sergipano - SE                 | 1.23         | -                     | 11.22           | 1.25         | -           | -            | -            | 0.06           | 0.49          |
| Agreste Sergipano - SE                | -            | 55.52                 | 16.09           | 1.32         | -           | -            | -            | 0.08           | 0.61          |
| Leste Sergipano - SE                  | 4.19         | 63.27                 | 12.56           | 0.90         | -           | -            | -            | 0.19           | 0.49          |
| Extremo Oeste Baiano - BA             | 1.57         | 46.30                 | 11.58           | 4.62         | 2.22        | 1.30         | -            | 2.99           | 1.44          |
| Vale São-Franciscano da Bahia - BA    | 1.02         | 84.32                 | 10.40           | 0.58         | 1.00        | 0.93         | -            | 2.05           | 0.46          |
| Centro Norte Baiano - BA              | 0.61         | 41.52                 | 11.78           | 0.67         | -           | 0.92         | -            | 0.54           | 0.44          |
| Nordeste Baiano - BA                  | -            | 36.43                 | 13.69           | 0.82         | -           | 0.28         | -            | 0.19           | 0.53          |
| Metropolitana de Salvador - BA        | -            | 48.73                 | 14.33           | 0.70         | -           | -            | -            | -              | 0.61          |
| Centro Sul Baiano - BA                | 2.49         | 47.55                 | 12.32           | 0.73         | -           | 1.20         | 1.30         | 0.80           | 0.47          |
| Sul Baiano - BA                       | 0.84         | 52.32                 | 12.80           | 0.83         | -           | -            | -            | -              | 0.73          |
| Noroeste de Minas - MG                | 1.90         | 64.94                 | 13.75           | 4.54         | 2.32        | 2.70         | 4.19         | 2.88           | 1.99          |
| Norte de Minas - MG                   | 1.38         | 40.90                 | 11.87           | 1.45         | 1.91        | 1.87         | -            | 0.93           | 0.87          |
| Jequitinhonha - MG                    | 1.55         | 37.50                 | 12.28           | 1.51         | 0.66        | 0.48         | -            | 0.59           | 0.44          |
| Vale do Mucuri - MG                   | 1.69         | 54.90                 | 12.21           | 1.62         | -           | 0.25         | -            | -              | 0.51          |
| Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba - MG | 1.65         | 78.74                 | 15.98           | 4.74         | 2.47        | 1.89         | 4.61         | 2.41           | 1.56          |
| Central Mineira - MG                  | 1.75         | 66.64                 | 12.56           | 3.09         | 2.09        | 0.93         | -            | 0.32           | 0.93          |

| <b>mesorregiões</b>                  | <b>Arroz</b> | <b>Cana</b> | <b>Mandioca</b> | <b>Milho</b> | <b>Soja</b> | <b>Sorgo</b> | <b>Trigo</b> | <b>Algodão</b> | <b>Feijão</b> |
|--------------------------------------|--------------|-------------|-----------------|--------------|-------------|--------------|--------------|----------------|---------------|
| Metropolitana de Belo Horizonte - MG | 1.74         | 42.79       | 11.62           | 2.77         | 2.27        | 3.97         | -            | 0.26           | 0.58          |
| Vale do Rio Doce - MG                | 2.65         | 44.56       | 11.42           | 2.25         | 0.06        | 1.53         | -            | 0.17           | 0.52          |
| Oeste de Minas - MG                  | 1.84         | 59.69       | 13.12           | 3.69         | 2.09        | 1.17         | -            | 1.16           | 0.76          |
| Sul/Sudoeste de Minas - MG           | 2.11         | 74.43       | 19.85           | 4.14         | 2.26        | 1.54         | 1.02         | 1.79           | 0.84          |
| Campo das Vertentes - MG             | 1.40         | 32.57       | 11.85           | 3.55         | 1.85        | 0.67         | -            | -              | 0.66          |
| Zona da Mata - MG                    | 2.74         | 54.21       | 12.78           | 2.71         | 1.71        | 0.23         | -            | -              | 0.58          |
| Noroeste Espírito-santense - ES      | 2.57         | 60.71       | 15.24           | 1.85         | -           | -            | -            | -              | 0.64          |
| Litoral Norte Espírito-santense - ES | 2.99         | 64.42       | 15.89           | 2.80         | -           | -            | -            | -              | 1.25          |
| Central Espírito-santense - ES       | 3.25         | 37.40       | 16.06           | 2.60         | -           | -            | -            | 0.27           | 0.73          |
| Sul Espírito-santense - ES           | 3.05         | 47.93       | 17.52           | 2.36         | -           | -            | -            | 0.10           | 0.62          |
| Noroeste Fluminense - RJ             | 3.10         | 43.03       | 12.97           | 2.12         | -           | -            | -            | -              | 0.76          |
| Norte Fluminense - RJ                | 3.38         | 44.68       | 17.27           | 1.46         | -           | -            | -            | -              | 0.73          |
| Centro Fluminense - RJ               | 3.06         | 41.51       | 15.06           | 2.52         | -           | -            | -            | -              | 0.87          |
| Baixadas - RJ                        | 2.41         | 38.91       | 12.60           | 1.57         | -           | -            | -            | -              | 0.84          |
| Sul Fluminense - RJ                  | 1.43         | 38.84       | 13.58           | 2.18         | -           | -            | -            | -              | 0.81          |
| Metropolitana do Rio de Janeiro - RJ | 1.92         | 31.81       | 13.65           | 1.81         | -           | -            | -            | -              | 0.85          |
| São José do Rio Preto - SP           | 1.65         | 80.64       | 17.26           | 3.68         | 2.27        | 2.19         | -            | 2.04           | 1.27          |
| Ribeirão Preto - SP                  | 1.98         | 82.01       | 18.37           | 3.31         | 2.44        | 1.87         | 0.58         | 2.74           | 1.86          |
| Araçatuba - SP                       | 1.88         | 79.99       | 22.64           | 3.99         | 2.62        | 2.59         | -            | 1.98           | 1.22          |
| Bauru - SP                           | 1.98         | 79.41       | 24.25           | 4.06         | 2.29        | 2.33         | 2.10         | 2.56           | 1.52          |
| Araraquara - SP                      | 1.51         | 76.13       | 19.30           | 3.63         | 2.30        | 1.39         | -            | 1.98           | 1.24          |
| Piracicaba - SP                      | 2.12         | 78.00       | 24.52           | 4.79         | 2.31        | 1.98         | 1.27         | 2.36           | 1.48          |
| Campinas - SP                        | 2.18         | 79.97       | 25.01           | 4.52         | 2.36        | 1.84         | 2.02         | 2.41           | 1.84          |
| Presidente Prudente - SP             | 1.77         | 73.50       | 22.42           | 2.78         | 2.34        | 0.98         | 0.56         | 1.57           | 0.92          |
| Marília - SP                         | 1.53         | 71.31       | 22.35           | 3.36         | 2.27        | 0.60         | 0.18         | 0.95           | 0.81          |
| Assis - SP                           | 2.66         | 78.96       | 24.72           | 2.95         | 2.42        | 0.85         | 1.86         | 1.79           | 1.40          |
| Itapetininga - SP                    | 1.95         | 82.07       | 19.56           | 4.45         | 2.66        | 3.49         | 2.11         | 3.35           | 1.25          |
| Macro Metropolitana Paulista - SP    | 1.73         | 70.54       | 14.84           | 3.58         | 0.94        | 0.96         | 0.53         | -              | 1.12          |
| Vale do Paraíba Paulista - SP        | 3.96         | 49.02       | 17.45           | 2.82         | 0.60        | 0.82         | -            | -              | 1.06          |
| Litoral Sul Paulista - SP            | 1.63         | 38.66       | 15.21           | 1.54         | -           | -            | -            | -              | 0.62          |
| Metropolitana de São Paulo - SP      | 0.35         | 8.03        | 17.32           | 2.18         | -           | -            | -            | -              | 0.75          |
| Noroeste Paranaense - PR             | 3.89         | 79.17       | 20.68           | 3.05         | 2.51        | 2.61         | 1.62         | 1.77           | 0.60          |
| Centro Ocidental Paranaense - PR     | 2.03         | 81.68       | 19.41           | 3.69         | 2.80        | 1.38         | 1.94         | 2.16           | 0.99          |
| Norte Central Paranaense - PR        | 2.31         | 81.26       | 20.62           | 3.80         | 2.62        | 1.64         | 1.98         | 1.92           | 0.94          |
| Norte Pioneiro Paranaense - PR       | 2.30         | 84.83       | 21.41           | 3.16         | 2.34        | 1.16         | 1.79         | 1.99           | 1.00          |
| Centro Oriental Paranaense - PR      | 1.68         | 48.60       | 16.33           | 5.58         | 2.92        | 4.70         | 2.46         | 0.30           | 1.48          |

| <b>mesorregiões</b>                     | <b>Arroz</b> | <b>Cana</b> | <b>Mandioca</b> | <b>Milho</b> | <b>Soja</b> | <b>Sorgo</b> | <b>Trigo</b> | <b>Algodão</b> | <b>Feijão</b> |
|-----------------------------------------|--------------|-------------|-----------------|--------------|-------------|--------------|--------------|----------------|---------------|
| Oeste Paranaense - PR                   | 2.68         | 45.67       | 25.18           | 4.18         | 2.79        | 1.09         | 1.90         | 2.01           | 1.33          |
| Sudoeste Paranaense - PR                | 1.66         | 45.70       | 23.13           | 4.23         | 2.52        | 2.03         | 1.67         | 0.91           | 1.15          |
| Centro-Sul Paranaense - PR              | 1.92         | 50.43       | 19.24           | 4.58         | 2.65        | 1.68         | 2.15         | 1.51           | 1.00          |
| Sudeste Paranaense - PR                 | 1.66         | 34.98       | 16.43           | 4.13         | 2.75        | 0.54         | 2.01         | 0.58           | 1.16          |
| Metropolitana de Curitiba - PR          | 2.69         | 38.23       | 13.71           | 3.73         | 2.56        | -            | 1.90         | -              | 1.04          |
| Oeste Catarinense - SC                  | 1.44         | 30.79       | 17.40           | 3.94         | 2.29        | 0.77         | 1.57         | -              | 0.97          |
| Norte Catarinense - SC                  | 6.91         | 36.07       | 16.75           | 5.26         | 2.72        | 0.17         | 2.06         | -              | 1.51          |
| Serrana - SC                            | 1.43         | 20.12       | 12.34           | 3.69         | 2.20        | -            | 2.42         | -              | 1.19          |
| Vale do Itajaí - SC                     | 7.14         | 34.09       | 19.97           | 3.74         | 1.71        | 0.20         | 1.17         | -              | 1.10          |
| Grande Florianópolis - SC               | 5.26         | 36.45       | 17.51           | 3.58         | 0.29        | 0.13         | -            | -              | 1.06          |
| Sul Catarinense - SC                    | 6.28         | 35.55       | 15.83           | 3.61         | 0.12        | 0.56         | 0.17         | -              | 0.97          |
| Noroeste Rio-grandense - RS             | 3.61         | 34.03       | 15.00           | 3.20         | 1.82        | 2.62         | 1.63         | -              | 0.85          |
| Nordeste Rio-grandense - RS             | 1.36         | 23.25       | 14.35           | 3.71         | 2.08        | 1.81         | 2.35         | -              | 1.17          |
| Centro Ocidental Rio-grandense - RS     | 5.42         | 33.25       | 14.33           | 2.23         | 1.83        | 2.19         | 1.76         | -              | 0.89          |
| Centro Oriental Rio-grandense - RS      | 5.37         | 25.02       | 16.14           | 2.71         | 1.81        | 2.47         | 1.77         | -              | 0.97          |
| Metropolitana de Porto Alegre - RS      | 5.24         | 31.25       | 11.46           | 2.05         | 1.64        | 1.76         | 1.21         | -              | 0.68          |
| Sudoeste Rio-grandense - RS             | 5.99         | 20.57       | 6.99            | 1.75         | 1.45        | 1.96         | 1.58         | -              | 0.55          |
| Sudeste Rio-grandense - RS              | 5.42         | 16.41       | 9.37            | 1.68         | 1.52        | 1.96         | 1.85         | -              | 0.65          |
| Pantaneais Sul Mato-grossense - MS      | 5.54         | 59.80       | 14.93           | 2.46         | 1.89        | 0.55         | -            | 1.09           | 0.86          |
| Centro Norte de Mato Grosso do Sul - MS | 2.43         | 69.93       | 15.96           | 3.20         | 2.59        | 2.01         | 1.37         | 3.04           | 1.10          |
| Leste de Mato Grosso do Sul - MS        | 1.89         | 58.97       | 17.42           | 5.32         | 2.50        | 2.13         | 1.24         | 3.25           | 0.97          |
| Sudoeste de Mato Grosso do Sul - MS     | 4.36         | 82.85       | 19.30           | 3.28         | 2.34        | 2.34         | 1.42         | 1.98           | 1.09          |
| Norte Mato-grossense - MT               | 2.62         | 65.44       | 13.79           | 2.88         | 2.88        | 1.79         | 0.12         | 3.00           | 1.01          |
| Nordeste Mato-grossense - MT            | 2.11         | 62.74       | 11.68           | 2.83         | 2.82        | 1.80         | -            | 3.36           | 1.32          |
| Sudoeste Mato-grossense - MT            | 2.20         | 73.11       | 14.95           | 3.07         | 2.84        | 0.96         | -            | 2.21           | 0.58          |
| Centro-Sul Mato-grossense - MT          | 2.06         | 55.04       | 13.01           | 2.78         | 2.65        | 1.36         | 0.17         | 2.62           | 0.59          |
| Sudeste Mato-grossense - MT             | 1.99         | 66.75       | 14.58           | 3.86         | 2.83        | 2.01         | 1.43         | 3.47           | 1.75          |
| Noroeste Goiano - GO                    | 1.76         | 27.51       | 15.21           | 2.81         | 2.33        | 1.54         | 1.22         | 2.65           | 2.61          |
| Norte Goiano - GO                       | 1.50         | 28.25       | 15.84           | 3.05         | 2.53        | 1.53         | 1.40         | -              | 1.52          |
| Centro Goiano - GO                      | 1.94         | 80.74       | 15.77           | 3.44         | 2.50        | 2.46         | 0.96         | 2.08           | 1.23          |
| Leste Goiano - GO                       | 2.16         | 65.62       | 13.88           | 4.87         | 2.52        | 3.49         | 4.39         | 2.88           | 2.00          |
| Sul Goiano - GO                         | 1.86         | 79.15       | 14.47           | 4.82         | 2.58        | 1.92         | 2.58         | 2.71           | 1.96          |
| Distrito Federal - DF                   | 2.06         | 46.90       | 15.86           | 5.25         | 2.55        | 2.84         | 4.76         | 2.09           | 2.12          |

ANEXO D2 - Rendimento real cultura irrigada e não irrigada do ano de 2006 em toneladas por hectare (Equação 30)

| mesorregiões                    | Arroz | Cana-de-açúcar | Mandioca | Milho | Soja | Sorgo | Trigo | Algodão | Feijão |
|---------------------------------|-------|----------------|----------|-------|------|-------|-------|---------|--------|
| Madeira-Guaporé - RO            | 1.86  | 7.01           | 6.03     | 2.04  | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00    | 0.36   |
| Leste Rondoniense - RO          | 1.99  | 30.22          | 7.47     | 2.39  | 2.96 | 1.75  | 0.00  | 0.00    | 0.70   |
| Vale do Juruá - AC              | 1.43  | 2.24           | 9.09     | 1.56  | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00    | 0.80   |
| Vale do Acre - AC               | 2.71  | 4.88           | 10.18    | 2.87  | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 2.60    | 1.16   |
| Norte Amazonense - AM           | 0.00  | 4.47           | 3.22     | 2.09  | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00    | 0.00   |
| Sudoeste Amazonense - AM        | 2.35  | 7.55           | 2.46     | 1.41  | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00    | 0.16   |
| Centro Amazonense - AM          | 2.72  | 29.21          | 2.11     | 1.06  | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00    | 0.33   |
| Sul Amazonense - AM             | 1.70  | 6.22           | 2.40     | 1.21  | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00    | 0.13   |
| Norte de Roraima - RR           | 4.00  | 1.40           | 1.86     | 2.39  | 3.08 | 0.00  | 0.00  | 0.00    | 0.00   |
| Sul de Roraima - RR             | 2.96  | 12.63          | 1.45     | 2.09  | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00    | 0.00   |
| Baixo Amazonas - PA             | 1.58  | 4.25           | 8.69     | 2.50  | 3.66 | 1.60  | 0.00  | 0.00    | 0.41   |
| Marajó - PA                     | 1.11  | 1.78           | 8.34     | 1.91  | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00    | 0.00   |
| Metropolitana de Belém - PA     | 1.27  | 31.03          | 9.33     | 2.34  | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00    | 0.00   |
| Nordeste Paraense - PA          | 1.28  | 20.70          | 9.87     | 1.85  | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 3.00    | 0.49   |
| Sudoeste Paraense - PA          | 1.25  | 3.40           | 6.71     | 2.41  | 2.80 | 0.00  | 0.00  | 0.33    | 0.37   |
| Sudeste Paraense - PA           | 1.28  | 68.95          | 7.08     | 2.73  | 2.92 | 3.20  | 0.00  | 0.00    | 0.28   |
| Norte do Amapá - AP             | 1.75  | 15.00          | 4.51     | 3.21  | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00    | 0.00   |
| Sul do Amapá - AP               | 2.82  | 35.48          | 6.77     | 1.28  | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00    | 0.00   |
| Ocidental do Tocantins - TO     | 3.17  | 14.40          | 6.77     | 2.64  | 2.40 | 1.23  | 0.00  | 0.00    | 2.30   |
| Oriental do Tocantins - TO      | 2.51  | 53.90          | 10.81    | 3.47  | 2.45 | 1.68  | 0.00  | 2.85    | 2.37   |
| Norte Maranhense - MA           | 1.95  | 26.47          | 4.40     | 2.71  | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00    | 0.29   |
| Oeste Maranhense - MA           | 2.19  | 50.29          | 4.62     | 3.30  | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 0.25    | 0.32   |
| Centro Maranhense - MA          | 1.99  | 33.15          | 4.39     | 2.02  | 2.46 | 0.00  | 0.00  | 0.00    | 0.29   |
| Leste Maranhense - MA           | 2.11  | 47.48          | 4.35     | 1.82  | 2.72 | 1.34  | 0.00  | 0.00    | 0.32   |
| Sul Maranhense - MA             | 2.08  | 32.22          | 3.15     | 3.51  | 2.65 | 2.81  | 0.00  | 3.06    | 0.28   |
| Norte Piauiense - PI            | 3.12  | 19.55          | 5.83     | 2.01  | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00    | 0.00   |
| Centro-Norte Piauiense - PI     | 1.92  | 64.52          | 5.12     | 1.62  | 0.00 | 1.50  | 0.00  | 0.00    | 0.00   |
| Sudoeste Piauiense - PI         | 2.07  | 13.31          | 4.29     | 1.76  | 2.61 | 0.54  | 0.00  | 3.89    | 0.00   |
| Sudeste Piauiense - PI          | 1.74  | 25.96          | 5.07     | 1.02  | 0.00 | 0.34  | 0.00  | 0.37    | 0.00   |
| Noroeste Cearense - CE          | 2.02  | 35.36          | 6.52     | 1.46  | 0.00 | 0.98  | 0.00  | 0.36    | 0.63   |
| Norte Cearense - CE             | 1.40  | 47.00          | 6.34     | 1.55  | 0.00 | 2.91  | 0.00  | 0.99    | 1.57   |
| Metropolitana de Fortaleza - CE | 2.86  | 37.52          | 8.50     | 1.62  | 0.00 | 1.80  | 0.00  | 1.00    | 0.47   |
| Sertões Cearenses - CE          | 2.96  | 14.13          | 5.09     | 1.72  | 3.00 | 3.29  | 0.00  | 1.08    | 1.27   |
| Jaguaribe - CE                  | 5.12  | 9.24           | 5.54     | 1.71  | 2.36 | 2.59  | 2.47  | 1.78    | 1.75   |
| Centro-Sul Cearense - CE        | 3.84  | 6.24           | 2.97     | 1.88  | 0.00 | 1.14  | 0.00  | 1.64    | 0.33   |
| Sul Cearense - CE               | 3.27  | 22.74          | 7.63     | 1.79  | 0.00 | 2.33  | 0.00  | 0.86    | 0.63   |
| Oeste Potiguar - RN             | 2.13  | 28.75          | 4.14     | 1.55  | 0.59 | 1.61  | 0.62  | 0.85    | 0.36   |
| Central Potiguar - RN           | 1.35  | 37.36          | 5.36     | 1.04  | 0.14 | 1.39  | 1.13  | 0.46    | 0.24   |
| Agreste Potiguar - RN           | 0.00  | 17.49          | 6.31     | 1.63  | 0.00 | 1.63  | 0.00  | 0.60    | 0.43   |
| Leste Potiguar - RN             | 0.00  | 41.07          | 4.44     | 1.67  | 0.00 | 1.27  | 0.00  | 0.39    | 0.15   |
| Sertão Paraibano - PB           | 2.31  | 21.30          | 4.01     | 0.60  | 0.00 | 0.99  | 2.78  | 1.15    | 0.25   |
| Borborema - PB                  | 0.67  | 3.25           | 2.31     | 0.61  | 0.00 | 1.84  | 0.00  | 0.51    | 0.22   |
| Agreste Paraibano - PB          | 2.21  | 31.30          | 3.16     | 0.55  | 0.00 | 0.50  | 0.00  | 0.90    | 0.50   |
| Mata Paraibana - PB             | 0.00  | 46.31          | 5.91     | 0.72  | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 0.50    | 0.29   |
| Sertão Pernambucano - PE        | 3.89  | 21.94          | 5.09     | 1.51  | 0.62 | 0.76  | 0.00  | 0.62    | 0.23   |
| São Francisco Pernambucano - PE | 4.70  | 16.77          | 2.70     | 1.00  | 0.67 | 0.63  | 0.00  | 0.19    | 0.26   |
| Agreste Pernambucano - PE       | 0.20  | 45.08          | 4.24     | 1.12  | 0.00 | 0.90  | 0.00  | 0.60    | 0.64   |
| Mata Pernambucana - PE          | 0.00  | 53.78          | 3.78     | 1.47  | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00    | 0.35   |
| Metropolitana de Recife - PE    | 0.00  | 55.05          | 3.72     | 2.50  | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00    | 0.33   |
| Sertão Alagoano - AL            | 0.00  | 3.41           | 3.87     | 1.40  | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 0.39    | 0.36   |
| Agreste Alagoano - AL           | 2.46  | 43.39          | 10.36    | 1.66  | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 0.29    | 0.37   |
| Leste Alagoano - AL             | 6.14  | 58.67          | 7.30     | 1.73  | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 0.25    | 0.38   |

| <b>mesorregiões</b>                   | <b>Arroz</b> | <b>Cana-de-açúcar</b> | <b>Mandioca</b> | <b>Milho</b> | <b>Soja</b> | <b>Sorgo</b> | <b>Trigo</b> | <b>Algodão</b> | <b>Feijão</b> |
|---------------------------------------|--------------|-----------------------|-----------------|--------------|-------------|--------------|--------------|----------------|---------------|
| Sertão Sergipano - SE                 | 0.00         | 58.25                 | 8.08            | 1.71         | 0.00        | 3.94         | 0.00         | 2.41           | 0.33          |
| Agreste Sergipano - SE                | 0.00         | 41.73                 | 8.01            | 2.34         | 0.00        | 0.00         | 0.00         | 0.00           | 0.51          |
| Leste Sergipano - SE                  | 4.67         | 51.21                 | 7.02            | 2.22         | 0.00        | 0.00         | 0.00         | 0.00           | 0.28          |
| Extremo Oeste Baiano - BA             | 1.28         | 38.05                 | 3.56            | 4.43         | 2.59        | 1.94         | 0.00         | 3.14           | 0.67          |
| Vale São-Franciscano da Bahia - BA    | 2.04         | 49.68                 | 2.50            | 1.26         | 0.00        | 0.60         | 0.00         | 1.25           | 0.38          |
| Centro Norte Baiano - BA              | 0.71         | 17.69                 | 3.75            | 1.00         | 0.63        | 1.04         | 0.00         | 0.33           | 1.06          |
| Nordeste Baiano - BA                  | 2.16         | 4.10                  | 3.92            | 2.16         | 0.00        | 0.85         | 0.00         | 0.31           | 0.85          |
| Metropolitana de Salvador - BA        | 0.00         | 49.29                 | 4.17            | 2.86         | 0.00        | 0.00         | 0.00         | 0.00           | 1.04          |
| Centro Sul Baiano - BA                | 1.67         | 30.33                 | 4.15            | 1.20         | 0.71        | 0.73         | 0.00         | 1.02           | 0.34          |
| Sul Baiano - BA                       | 0.56         | 52.11                 | 3.94            | 1.43         | 0.50        | 0.00         | 0.00         | 0.00           | 0.56          |
| Noroeste de Minas - MG                | 3.90         | 60.88                 | 9.12            | 5.23         | 2.63        | 3.01         | 4.22         | 3.35           | 1.90          |
| Norte de Minas - MG                   | 2.14         | 28.66                 | 7.39            | 2.15         | 2.46        | 1.76         | 0.00         | 0.74           | 0.53          |
| Jequitinhonha - MG                    | 1.48         | 19.67                 | 8.66            | 1.21         | 0.00        | 0.00         | 0.00         | 0.08           | 0.52          |
| Vale do Mucuri - MG                   | 1.53         | 43.85                 | 5.76            | 1.41         | 0.00        | 0.00         | 0.00         | 0.00           | 1.02          |
| Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba - MG | 2.59         | 77.76                 | 10.92           | 5.74         | 2.63        | 2.18         | 3.00         | 2.77           | 1.52          |
| Central Mineira - MG                  | 3.33         | 57.31                 | 8.49            | 4.44         | 2.32        | 3.32         | 0.00         | 0.00           | 1.03          |
| Metropolitana de Belo Horizonte - MG  | 2.06         | 40.34                 | 8.86            | 4.30         | 2.49        | 3.34         | 0.00         | 0.25           | 0.43          |
| Vale do Rio Doce - MG                 | 2.23         | 41.30                 | 10.08           | 2.96         | 0.00        | 0.00         | 0.00         | 0.25           | 0.49          |
| Oeste de Minas - MG                   | 2.18         | 55.82                 | 13.17           | 4.88         | 2.50        | 2.50         | 0.00         | 0.00           | 0.97          |
| Sul/Sudoeste de Minas - MG            | 2.13         | 75.27                 | 16.24           | 4.84         | 2.65        | 2.44         | 0.00         | 0.50           | 1.10          |
| Campo das Vertentes - MG              | 1.81         | 42.14                 | 7.57            | 5.25         | 2.40        | 0.00         | 0.00         | 0.00           | 0.97          |
| Zona da Mata - MG                     | 2.57         | 52.00                 | 8.93            | 3.15         | 2.41        | 3.11         | 0.00         | 0.00           | 0.71          |
| Noroeste Espírito-santense - ES       | 2.09         | 48.72                 | 10.23           | 1.58         | 0.00        | 0.00         | 0.00         | 0.00           | 0.36          |
| Litoral Norte Espírito-santense - ES  | 2.77         | 58.58                 | 11.06           | 1.98         | 0.00        | 0.00         | 0.00         | 0.00           | 0.73          |
| Central Espírito-santense - ES        | 1.77         | 24.31                 | 7.47            | 1.95         | 0.00        | 0.00         | 0.00         | 0.00           | 0.61          |
| Sul Espírito-santense - ES            | 1.67         | 51.73                 | 14.23           | 1.58         | 0.00        | 2.97         | 0.00         | 0.00           | 0.41          |
| Noroeste Fluminense - RJ              | 4.72         | 21.08                 | 3.34            | 4.02         | 0.00        | 4.63         | 0.00         | 0.00           | 0.72          |
| Norte Fluminense - RJ                 | 4.22         | 40.71                 | 6.27            | 3.59         | 0.00        | 0.00         | 0.00         | 0.00           | 1.71          |
| Centro Fluminense - RJ                | 2.85         | 22.40                 | 11.49           | 5.19         | 0.00        | 0.00         | 0.00         | 0.00           | 1.69          |
| Baixas - RJ                           | 0.00         | 34.08                 | 4.10            | 1.14         | 0.00        | 0.00         | 0.00         | 0.00           | 0.45          |
| Sul Fluminense - RJ                   | 0.00         | 29.50                 | 3.12            | 2.26         | 0.00        | 0.00         | 0.00         | 0.00           | 1.26          |
| Metropolitana do Rio de Janeiro - RJ  | 5.00         | 16.52                 | 8.28            | 3.29         | 0.00        | 0.00         | 0.00         | 0.00           | 1.15          |
| São José do Rio Preto - SP            | 1.62         | 80.54                 | 8.71            | 4.69         | 3.21        | 3.33         | 0.00         | 1.98           | 0.00          |
| Ribeirão Preto - SP                   | 1.02         | 81.66                 | 8.86            | 4.50         | 3.84        | 2.19         | 0.00         | 2.38           | 0.00          |
| Araçatuba - SP                        | 0.64         | 79.24                 | 11.63           | 3.99         | 2.62        | 2.38         | 0.00         | 1.96           | 1.93          |
| Bauru - SP                            | 1.94         | 73.77                 | 11.37           | 4.89         | 2.71        | 3.02         | 2.75         | 2.84           | 0.06          |
| Araraquara - SP                       | 3.63         | 75.82                 | 10.22           | 4.77         | 2.33        | 0.00         | 0.00         | 2.62           | 0.00          |
| Piracicaba - SP                       | 1.63         | 78.86                 | 11.71           | 5.32         | 2.69        | 0.00         | 0.00         | 2.00           | 0.00          |
| Campinas - SP                         | 2.57         | 78.77                 | 10.51           | 5.98         | 2.97        | 3.01         | 0.00         | 2.04           | 0.58          |
| Presidente Prudente - SP              | 0.45         | 80.19                 | 12.85           | 2.89         | 2.31        | 4.30         | 0.00         | 1.78           | 0.78          |
| Marília - SP                          | 1.00         | 81.60                 | 14.33           | 3.76         | 2.41        | 0.00         | 0.00         | 1.23           | 2.00          |
| Assis - SP                            | 2.68         | 79.43                 | 14.06           | 3.17         | 1.95        | 2.70         | 1.27         | 1.12           | 0.00          |
| Itapetininga - SP                     | 1.99         | 68.55                 | 8.19            | 5.74         | 2.69        | 4.09         | 2.45         | 1.95           | 1.31          |
| Macro Metropolitana Paulista - SP     | 1.45         | 86.30                 | 7.66            | 5.77         | 2.58        | 0.00         | 2.35         | 0.00           | 1.74          |
| Vale do Paraíba Paulista - SP         | 4.16         | 24.07                 | 6.80            | 4.50         | 0.00        | 0.00         | 0.00         | 0.00           | 1.38          |
| Litoral Sul Paulista - SP             | 1.70         | 17.07                 | 5.42            | 2.35         | 0.00        | 0.00         | 0.00         | 0.00           | 1.04          |
| Metropolitana de São Paulo - SP       | 0.00         | 36.87                 | 6.65            | 2.32         | 0.00        | 0.00         | 0.00         | 0.00           | 0.01          |
| Noroeste Paranaense - PR              | 4.87         | 71.41                 | 15.20           | 3.40         | 2.55        | 2.69         | 1.53         | 1.73           | 1.08          |
| Centro Ocidental Paranaense - PR      | 1.30         | 76.44                 | 13.66           | 4.20         | 2.57        | 2.71         | 1.60         | 1.54           | 1.27          |
| Norte Central Paranaense - PR         | 2.61         | 108.55                | 12.79           | 4.00         | 2.61        | 2.94         | 1.65         | 1.69           | 0.98          |
| Norte Pioneiro Paranaense - PR        | 3.07         | 67.04                 | 8.68            | 3.91         | 2.29        | 1.17         | 1.40         | 1.79           | 1.08          |
| Centro Oriental Paranaense - PR       | 2.46         | 42.26                 | 5.87            | 6.12         | 2.67        | 2.56         | 2.29         | 1.54           | 1.56          |
| Oeste Paranaense - PR                 | 2.47         | 34.29                 | 12.37           | 4.45         | 2.49        | 2.61         | 1.54         | 1.54           | 1.62          |
| Sudoeste Paranaense - PR              | 2.56         | 25.20                 | 10.57           | 4.34         | 2.44        | 2.66         | 1.65         | 0.00           | 1.44          |
| Centro-Sul Paranaense - PR            | 2.53         | 63.42                 | 9.11            | 5.36         | 2.75        | 2.73         | 2.81         | 1.84           | 1.37          |
| Sudeste Paranaense - PR               | 2.51         | 43.26                 | 5.16            | 4.87         | 1.92        | 2.63         | 2.52         | 0.00           | 1.57          |



| <b>mesorregiões</b>                     | <b>Arroz</b> | <b>Cana-de-açúcar</b> | <b>Mandioca</b> | <b>Milho</b> | <b>Soja</b> | <b>Sorgo</b> | <b>Trigo</b> | <b>Algodão</b> | <b>Feijão</b> |
|-----------------------------------------|--------------|-----------------------|-----------------|--------------|-------------|--------------|--------------|----------------|---------------|
| Metropolitana de Curitiba - PR          | 3.11         | 29.92                 | 8.06            | 5.23         | 2.74        | 2.86         | 2.09         | 0.00           | 1.63          |
| Oeste Catarinense - SC                  | 4.04         | 23.19                 | 15.83           | 4.60         | 2.59        | 3.13         | 2.30         | 0.00           | 1.56          |
| Norte Catarinense - SC                  | 6.54         | 22.10                 | 10.84           | 5.32         | 2.85        | 0.00         | 2.51         | 0.00           | 1.67          |
| Serrana - SC                            | 1.68         | 6.52                  | 4.38            | 4.07         | 2.58        | 2.93         | 2.95         | 0.00           | 1.34          |
| Vale do Itajaí - SC                     | 6.66         | 23.74                 | 20.68           | 4.47         | 2.09        | 0.00         | 0.00         | 0.00           | 1.71          |
| Grande Florianópolis - SC               | 6.09         | 24.25                 | 12.02           | 5.02         | 0.00        | 0.00         | 0.00         | 0.00           | 1.58          |
| Sul Catarinense - SC                    | 6.15         | 23.58                 | 17.49           | 4.31         | 0.00        | 0.00         | 0.00         | 0.00           | 1.48          |
| Noroeste Rio-grandense - RS             | 4.33         | 31.50                 | 7.75            | 4.41         | 2.27        | 2.41         | 1.50         | 0.00           | 0.65          |
| Nordeste Rio-grandense - RS             | 1.13         | 22.76                 | 5.04            | 4.80         | 2.46        | 2.83         | 2.63         | 0.00           | 0.57          |
| Centro Ocidental Rio-grandense - RS     | 6.08         | 16.37                 | 5.22            | 3.58         | 2.31        | 2.41         | 1.73         | 0.00           | 0.55          |
| Centro Oriental Rio-grandense - RS      | 5.87         | 17.82                 | 6.87            | 3.15         | 2.20        | 2.87         | 1.66         | 0.00           | 0.53          |
| Metropolitana de Porto Alegre - RS      | 5.83         | 21.12                 | 5.24            | 2.99         | 2.11        | 2.44         | 2.04         | 0.00           | 0.27          |
| Sudoeste Rio-grandense - RS             | 6.82         | 37.90                 | 4.57            | 3.05         | 2.16        | 2.36         | 1.47         | 0.00           | 0.57          |
| Sudeste Rio-grandense - RS              | 6.04         | 12.44                 | 3.74            | 2.62         | 2.10        | 1.86         | 2.27         | 0.00           | 0.28          |
| Pantaneais Sul Mato-grossense - MS      | 5.35         | 13.15                 | 9.28            | 1.41         | 2.88        | 0.00         | 0.00         | 1.35           | 0.60          |
| Centro Norte de Mato Grosso do Sul - MS | 3.85         | 77.41                 | 13.48           | 3.40         | 2.69        | 2.09         | 1.54         | 2.66           | 0.75          |
| Leste de Mato Grosso do Sul - MS        | 2.31         | 65.05                 | 11.45           | 5.04         | 2.58        | 2.04         | 1.12         | 2.97           | 0.00          |
| Sudoeste de Mato Grosso do Sul - MS     | 4.11         | 75.12                 | 13.37           | 3.35         | 2.64        | 2.49         | 1.68         | 2.24           | 1.40          |
| Norte Mato-grossense - MT               | 2.36         | 65.79                 | 8.15            | 3.82         | 2.84        | 2.29         | 0.00         | 3.04           | 0.86          |
| Nordeste Mato-grossense - MT            | 2.14         | 63.63                 | 5.54            | 3.25         | 2.86        | 2.25         | 0.00         | 2.83           | 0.00          |
| Sudoeste Mato-grossense - MT            | 1.25         | 63.82                 | 8.16            | 2.22         | 2.79        | 1.13         | 0.00         | 2.33           | 1.00          |
| Centro-Sul Mato-grossense - MT          | 2.23         | 96.72                 | 8.96            | 2.37         | 2.50        | 1.54         | 0.00         | 3.13           | 1.79          |
| Sudeste Mato-grossense - MT             | 1.57         | 63.62                 | 8.33            | 3.51         | 2.70        | 1.60         | 0.00         | 2.90           | 1.49          |
| Noroeste Goiano - GO                    | 2.01         | 46.02                 | 4.30            | 2.72         | 2.63        | 2.65         | 0.00         | 0.00           | 0.00          |
| Norte Goiano - GO                       | 1.86         | 13.03                 | 3.66            | 2.82         | 2.52        | 1.55         | 0.00         | 1.33           | 0.37          |
| Centro Goiano - GO                      | 2.63         | 72.03                 | 6.55            | 3.76         | 2.64        | 2.50         | 0.00         | 0.00           | 0.54          |
| Leste Goiano - GO                       | 2.44         | 56.58                 | 4.96            | 4.69         | 2.65        | 1.57         | 1.46         | 2.32           | 0.68          |
| Sul Goiano - GO                         | 1.71         | 70.94                 | 6.34            | 4.94         | 2.72        | 2.30         | 1.67         | 2.93           | 1.23          |
| Distrito Federal - DF                   | 4.60         | 23.08                 | 7.82            | 5.84         | 2.68        | 3.47         | 2.67         | 2.90           | 1.84          |

Fonte: Elaboração Própria.



[illegible]

| <b>mesorregiões</b>                  | <b>Arroz</b> | <b>Cana</b>     | <b>Mandioca</b> | <b>Milho</b> | <b>Soja</b> | <b>Sorgo</b> | <b>Trigo</b> | <b>Algodão</b> | <b>Feijão</b> |
|--------------------------------------|--------------|-----------------|-----------------|--------------|-------------|--------------|--------------|----------------|---------------|
| Metropolitana de Belo Horizonte - MG | 1.75         | 43.74           | 11.64           | 2.84         | 2.39        | 4.03         | -            | 0.26           | 0.58          |
| Vale do Rio Doce - MG                | 2.68         | 45.26           | 11.44           | 2.28         | 0.06        | 1.53         | -            | 0.17           | 0.52          |
| Oeste de Minas - MG                  | 1.86         | 59.77           | 13.19           | 3.79         | 2.25        | 1.17         | -            | 1.16           | 0.76          |
| Sul/Sudoeste de Minas - MG           | 2.13         | 79.54           | 19.91           | 4.21         | 2.26        | 1.61         | 1.02         | 1.79           | 0.84          |
| Campo das Vertentes - MG             | 1.40         | 32.79           | 11.96           | 3.57         | 1.85        | 0.67         | -            | -              | 0.66          |
| Zona da Mata - MG                    | 2.76         | 58.84           | 12.93           | 2.76         | 1.71        | 0.23         | -            | -              | 0.58          |
| Noroeste Espírito-santense - ES      | 2.61         | 71.57           | 15.32           | 2.04         | -           | -            | -            | -              | 0.65          |
| Litoral Norte Espírito-santense - ES | 3.21         | 69.04           | 15.91           | 2.92         | -           | -            | -            | -              | 1.25          |
| Central Espírito-santense - ES       | 3.41         | 39.37           | 16.10           | 2.87         | -           | -            | -            | 0.27           | 0.74          |
| Sul Espírito-santense - ES           | 3.07         | 50.27           | 17.53           | 2.40         | -           | -            | -            | 0.10           | 0.62          |
| Noroeste Fluminense - RJ             | 3.20         | 44.65           | 13.33           | 2.17         | -           | -            | -            | -              | 0.76          |
| Norte Fluminense - RJ                | 3.57         | 46.80           | 17.39           | 1.53         | -           | -            | -            | -              | 0.74          |
| Centro Fluminense - RJ               | 3.10         | 41.77           | 15.66           | 2.70         | -           | -            | -            | -              | 0.88          |
| Baixadas - RJ                        | 2.41         | 39.42           | 12.62           | 1.57         | -           | -            | -            | -              | 0.84          |
| Sul Fluminense - RJ                  | 1.43         | 39.06           | 13.62           | 2.19         | -           | -            | -            | -              | 0.81          |
| Metropolitana do Rio de Janeiro - RJ | 1.92         | 31.99           | 13.74           | 1.93         | -           | -            | -            | -              | 0.86          |
| São José do Rio Preto - SP           | 1.66         | 82.34           | 17.38           | 3.75         | 2.30        | 2.19         | -            | 2.06           | 1.27          |
| Ribeirão Preto - SP                  | 1.99         | 84.96           | 18.47           | 3.55         | 2.54        | 1.88         | 0.58         | 2.74           | 1.86          |
| Araçatuba - SP                       | 1.88         | 81.27           | 22.75           | 4.12         | 2.74        | 2.62         | -            | 1.98           | 1.23          |
| Bauru - SP                           | 2.04         | 82.93           | 24.29           | 4.35         | 2.58        | 2.33         | 2.67         | 3.32           | 1.52          |
| Araraquara - SP                      | 1.51         | 77.67           | 19.34           | 3.73         | 2.30        | 1.39         | -            | 1.98           | 1.24          |
| Piracicaba - SP                      | 2.12         | 78.53           | 24.97           | 4.84         | 2.31        | 1.98         | 1.27         | 2.36           | 1.48          |
| Campinas - SP                        | 2.21         | 84.55           | 25.08           | 4.77         | 2.47        | 1.93         | 2.02         | 2.44           | 1.84          |
| Presidente Prudente - SP             | 1.77         | 75.05           | 22.45           | 2.85         | 2.38        | 0.98         | 0.56         | 1.57           | 0.92          |
| Marília - SP                         | 1.53         | 71.49           | 22.45           | 3.39         | 2.27        | 0.60         | 0.18         | 0.95           | 0.81          |
| Assis - SP                           | 2.67         | 82.98           | 24.80           | 3.00         | 2.46        | 0.85         | 1.91         | 1.79           | 1.40          |
| Itapetininga - SP                    | 1.97         | 83.29           | 19.59           | 4.74         | 3.01        | 3.49         | 2.38         | 5.11           | 1.25          |
| Macro Metropolitana Paulista - SP    | 1.73         | 70.65           | 14.94           | 3.73         | 0.94        | 0.96         | 0.59         | -              | 1.12          |
| Vale do Paraíba Paulista - SP        | 4.19         | 49.35           | 17.60           | 2.84         | 0.60        | 0.82         | -            | -              | 1.06          |
| Litoral Sul Paulista - SP            | 1.67         | 39.64           | 15.23           | 1.55         | -           | -            | -            | -              | 0.62          |
| Metropolitana de São Paulo - SP      | 0.35         | 8.48            | 17.44           | 2.20         | -           | -            | -            | -              | 0.75          |
| Noroeste Paranaense - PR             | 4.19         | 79.57           | 20.71           | 3.06         | 2.54        | 2.61         | 1.63         | 1.78           | 0.60          |
| Centro Ocidental Paranaense - PR     | 2.03         | 83.98           | 19.47           | 3.71         | 2.83        | 1.38         | 1.95         | 2.19           | 0.99          |
| Norte Central Paranaense - PR        | 2.32         | 84.12           | 20.63           | 3.85         | 2.65        | 1.64         | 2.00         | 1.96           | 0.94          |
| Norte Pioneiro Paranaense - PR       | 2.31         | 88.80           | 21.43           | 3.21         | 2.39        | 1.16         | 1.80         | 1.99           | 1.00          |
| Centro Oriental Paranaense - PR      | 1.68         | 48.60           | 16.35           | 5.62         | 2.93        | 4.70         | 2.46         | 0.30           | 1.48          |
|                                      | <b>Arroz</b> | <b>Cana-de-</b> |                 | <b>Milho</b> | <b>Soja</b> | <b>Sorgo</b> |              |                | <b>Feijão</b> |

| <b>mesorregiões</b>                     |      | <b>açúcar</b> | <b>Mandioca</b> |      |      |      | <b>Trigo</b> | <b>Algodão</b> |      |
|-----------------------------------------|------|---------------|-----------------|------|------|------|--------------|----------------|------|
| Oeste Paranaense - PR                   | 2.69 | 45.67         | 25.20           | 4.22 | 2.82 | 1.10 | 1.91         | 2.01           | 1.34 |
| Sudoeste Paranaense - PR                | 1.66 | 45.73         | 23.15           | 4.25 | 2.54 | 2.03 | 1.67         | 0.91           | 1.15 |
| Centro-Sul Paranaense - PR              | 1.92 | 50.77         | 19.25           | 4.60 | 2.66 | 1.68 | 2.16         | 1.51           | 1.01 |
| Sudeste Paranaense - PR                 | 1.67 | 34.98         | 16.43           | 4.16 | 3.25 | 0.54 | 2.02         | 0.58           | 1.16 |
| Metropolitana de Curitiba - PR          | 2.78 | 38.48         | 13.73           | 3.75 | 2.61 | -    | 1.93         | -              | 1.04 |
| Oeste Catarinense - SC                  | 1.44 | 30.81         | 17.41           | 3.98 | 2.30 | 0.77 | 1.57         | -              | 0.97 |
| Norte Catarinense - SC                  | 7.56 | 36.66         | 16.93           | 5.31 | 2.74 | 0.17 | 2.06         | -              | 1.51 |
| Serrana - SC                            | 1.43 | 20.12         | 12.34           | 3.71 | 2.22 | -    | 2.43         | -              | 1.19 |
| Vale do Itajaí - SC                     | 7.64 | 34.12         | 19.98           | 3.80 | 1.71 | 0.20 | 1.17         | -              | 1.10 |
| Grande Florianópolis - SC               | 5.39 | 36.56         | 17.60           | 3.61 | 0.29 | 0.13 | -            | -              | 1.07 |
| Sul Catarinense - SC                    | 6.78 | 35.62         | 15.86           | 3.65 | 0.12 | 0.56 | 0.17         | -              | 0.97 |
| Noroeste Rio-grandense - RS             | 3.76 | 34.07         | 15.02           | 3.25 | 1.85 | 2.64 | 1.65         | -              | 0.85 |
| Nordeste Rio-grandense - RS             | 1.36 | 23.26         | 14.36           | 3.74 | 2.10 | 1.81 | 2.37         | -              | 1.18 |
| Centro Ocidental Rio-grandense - RS     | 5.94 | 33.33         | 14.34           | 2.27 | 1.86 | 2.19 | 1.77         | -              | 0.89 |
| Centro Oriental Rio-grandense - RS      | 5.85 | 25.08         | 16.15           | 2.73 | 1.85 | 2.47 | 1.77         | -              | 0.97 |
| Metropolitana de Porto Alegre - RS      | 5.65 | 31.37         | 11.48           | 2.06 | 1.72 | 1.76 | 1.21         | -              | 0.68 |
| Sudoeste Rio-grandense - RS             | 6.49 | 20.60         | 7.00            | 1.79 | 1.51 | 1.96 | 1.59         | -              | 0.55 |
| Sudeste Rio-grandense - RS              | 5.87 | 16.41         | 9.38            | 1.70 | 1.58 | 1.96 | 1.85         | -              | 0.65 |
| Pantaneais Sul Mato-grossense - MS      | 5.87 | 59.91         | 14.98           | 2.87 | 1.89 | 0.55 | -            | 1.09           | 0.86 |
| Centro Norte de Mato Grosso do Sul - MS | 2.56 | 77.08         | 15.97           | 3.25 | 2.60 | 2.01 | 1.37         | 3.04           | 1.10 |
| Leste de Mato Grosso do Sul - MS        | 1.91 | 70.83         | 17.44           | 5.38 | 2.52 | 2.13 | 1.24         | 3.25           | 0.97 |
| Sudoeste de Mato Grosso do Sul - MS     | 4.53 | 86.37         | 19.32           | 3.35 | 2.38 | 2.34 | 1.43         | 2.02           | 1.09 |
| Norte Mato-grossense - MT               | 2.62 | 66.48         | 13.80           | 2.92 | 2.90 | 1.79 | 0.12         | 3.14           | 1.01 |
| Nordeste Mato-grossense - MT            | 2.11 | 70.27         | 11.68           | 2.86 | 2.86 | 1.80 | -            | 3.36           | 1.32 |
| Sudoeste Mato-grossense - MT            | 2.20 | 75.00         | 14.96           | 3.07 | 2.84 | 0.96 | -            | 2.21           | 0.58 |
| Centro-Sul Mato-grossense - MT          | 2.07 | 55.04         | 13.02           | 2.82 | 2.65 | 1.36 | 0.17         | 2.62           | 0.59 |
| Sudeste Mato-grossense - MT             | 1.99 | 66.79         | 14.60           | 4.00 | 2.88 | 2.01 | 1.43         | 3.54           | 1.75 |
| Noroeste Goiano - GO                    | 1.77 | 30.53         | 15.22           | 2.85 | 2.33 | 1.54 | 1.22         | 2.65           | 2.61 |
| Norte Goiano - GO                       | 1.52 | 28.51         | 15.87           | 3.08 | 2.55 | 1.53 | 1.40         | -              | 1.52 |
| Centro Goiano - GO                      | 1.95 | 94.51         | 15.79           | 3.55 | 2.53 | 2.47 | 0.96         | 2.08           | 1.23 |
| Leste Goiano - GO                       | 2.22 | 74.74         | 13.91           | 5.36 | 2.57 | 3.52 | 5.03         | 2.88           | 2.00 |
| Sul Goiano - GO                         | 1.87 | 86.24         | 14.50           | 4.94 | 2.63 | 1.93 | 3.11         | 2.80           | 1.96 |
| Distrito Federal - DF                   | 2.22 | 48.55         | 16.31           | 5.61 | 2.59 | 2.86 | 5.71         | 2.09           | 2.12 |

Fonte: Elaboração Própria.

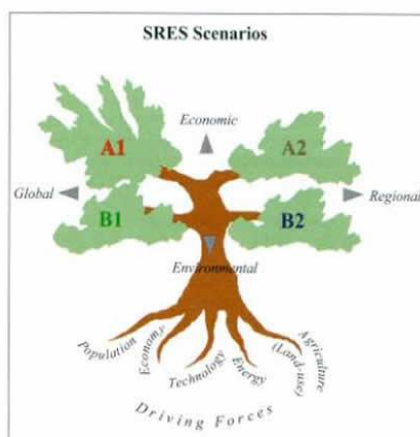
## ANEXO E - Modelos Climáticos do IPCC

O *Intergovernmental Panel on Climate Change* - IPCC é o principal órgão internacional para a avaliação das mudanças climáticas. Foi estabelecido pelo Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas (UNEP) e pela Organização Meteorológica Mundial (WMO) em 1988 para fornecer uma visão científica clara sobre o estado da arte atual na mudança do clima e seus potenciais impactos ambientais e sócio-econômicos (IPCC, 2013).

O IPCC fornece dados de clima, sócio-econômicos e ambientais, tanto do passado quanto de cenários projetados para o futuro. Em 2000, o IPCC publicou um novo conjunto de cenários, para uso no Terceiro Relatório de Avaliação (Relatório Especial sobre Cenários de Emissões-SRES). Os cenários SRES foram construídos para explorar os desenvolvimentos futuros no ambiente global, com especial referência para a produção de gases de efeito estufa e as emissões de precursores de aerossol (IPCC, 2013).

A equipe do SRES definiu quatro grupos para os cenários (ver Figura 11), denominado A1, A2, B1 e B2, que descreve as relações entre as forças motrizes das emissões de gases de efeito estufa e sua evolução ao longo do século 21 para grandes regiões no mundo. Cada história representa diferentes cenários demográficos para o desenvolvimento social, econômico, tecnológico e ambiental (IPCC, 2013).

Figura 11- Grupo de Famílias e Cenários do IPCC



Fonte: IPCC, 2012

Em resumo, as quatro famílias combinam dois conjuntos de tendências divergentes: um conjunto que varia entre valores econômicos fortes e valores ambientais fortes, o outro conjunto entre a crescente globalização e crescente regionalização. As histórias e Cenários estão resumidos como se segue (NAKICENOVIC et al., 2000 apud IPCC, 2013).

- A1: um mundo futuro de crescimento econômico muito rápido, a população mundial que atinge o pico em meados do século e declina em seguida, e rápida introdução de tecnologias novas e mais eficientes. **(Econômico e Global)**
- A2: um mundo muito heterogêneo, com o aumento contínuo da população mundial eo crescimento econômico orientado regionalmente que é mais fragmentada e mais lento do que em outras histórias. **(Econômico e Regional)**
- B1: um mundo convergente com a mesma população global, como no enredo A1, mas com rápidas mudanças nas estruturas econômicas em direção a uma economia de serviços e informação, com reduções da intensidade material ea introdução de tecnologias limpas e utilização eficiente dos recursos. **(Ambiental e Global)**
- B2: um mundo em que a ênfase está em soluções locais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental, com o aumento contínuo da população (inferior a A2) e desenvolvimento econômico intermediário. **(Ambiental e Regional)**

Depois de determinar as características básicas de cada uma das quatro famílias, incluindo as projeções quantitativas das principais variáveis, tais como população e desenvolvimento econômico tomadas a partir de fontes de renome internacional (por exemplo, das Nações Unidas, Banco Mundial e IIASA), os cenários foram totalmente quantificados utilizando modelos de avaliação integrada, resultando em famílias de cenários para cada história.

Todos os resultados são igualmente válido, sem ocorrência de probabilidades atribuídas. Seis grupos de cenários foram retirados das quatro famílias: um grupo para cada famílias A2, B1 e B2, e três grupos da família A1, caracterizando a evolução das tecnologias alternativas de energia: A1FI (intensivo fóssil), A1T (predominantemente não-fósseis ) e A1B (equilibrada entre fontes de energia). Alguns cenários ilustrativos foram selecionados pelo IPCC para representar cada um dos seis grupos de cenários.

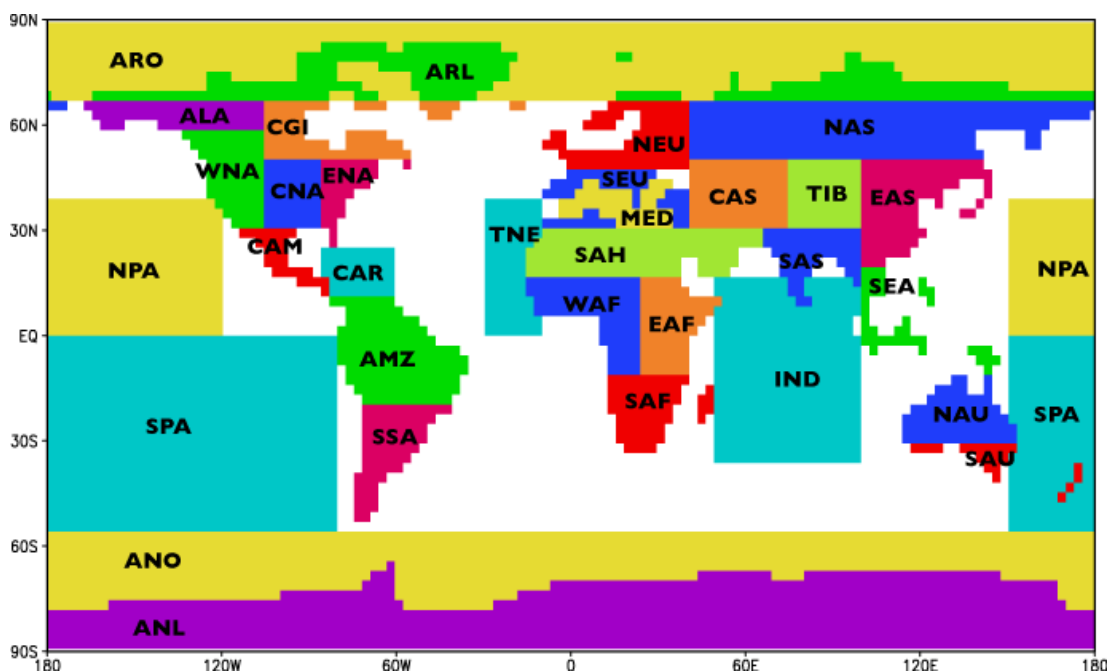
Os seis quadros de modelização utilizadas para desenvolver os cenários SRES têm diferentes agregações regionais. A equipe de roteiristas decidiu agrupar as várias regiões do mundo em quatro "macro-regiões" comuns a todas as diferentes agregações regionais nos seis modelos (Figura 12). As situações individuais foram formuladas com a respectiva agregação regional de cada modelo. Depois, os valores de entrada e os resultados foram somados para corresponder com as quatro macro-regiões:

- OECD90 região congrega todos os países membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico a partir de 1990, ano-base dos modelos participantes, e corresponde aos países do Anexo II originalmente definidos na UNFCCC (1992).
- região REF consiste em países que passam por reforma econômica e agrupa os países da Europa de Leste e Central e Novos Estados Independentes da antiga União Soviética, que corresponde aproximadamente ao anexo I, fora os países do Anexo II, conforme definido na UNFCCC (1992).
- Região da Ásia está em todos os países em desenvolvimento (não-Anexo I) na Ásia (excluindo o Oriente Médio).
- região ALM está para o resto do mundo e corresponde ao desenvolvimento (não-Anexo I) países da África, América Latina e Oriente Médio.

Em outras palavras, as regiões OECD90 e REF juntos correspondem aproximadamente a (desenvolvidos) os países industrializados (IND) Anexo I ou, enquanto que as regiões da Ásia e da ALM juntos correspondem aproximadamente à não-Anexo I, ou de países em desenvolvimento (DEV). Desenvolvimento, ou países não-Anexo I (ou seja, da Ásia e ALM), são muitas vezes referidos no texto como o "Sul" para distingui-los dos países industrializados I ou Anexo, do "Norte" (ie, OECD90 e REF). A descrição detalhada de cada região são apresentadas no Apêndice III.

O Brasil está dentro de duas subregiões para o IPCC, Região 11 (Norte, Nordeste, Centro Oeste e parte da Região Sudeste do Brasil) e a Região 12 (parte da região sudeste e a região sul do Brasil). Considerando o quatro cenários citados acima, e sete modelos diferentes, obtivemos 28 cenários/modelos para 2030. No entanto, o resultado de previsão para o modelo de programação matemática são bem parecidos. por isso, escolhemos dois cenários aleatoriamente para apresentar nossos resultados.

Figura 12 - Divisão regional do IPCC



Fonte: IPCC, 2013.

As histórias foram quantificadas para proporcionar às famílias de cenários para cada enredo. Em todos os 40 cenários foram quantificados, seis dos quais são usados como cenários ilustrativos pelo IPCC. Três futuras tecnológicas alternativas são usadas como ilustrações para o enredo A1: A1FI (intensivo fóssil), A1T (predominantemente não-fóssil) e A1B (equilibrada entre fontes de energia). Um cenário ilustrativo representa cada um dos A2, B1 e B2 tramas. A fim de forçamento radiativo descendente até 2100, a ilustrativa cenário classificação: A1FI, A2, A1B, B2, A1T, B1 (RUOSTEENOJA, 2003).



## ANEXO F - Todos os Cenários do IPCC

|                                | <b>C1</b>  | <b>C2</b>  | <b>C3</b>  | <b>C4</b>  | <b>C5</b>  | <b>C6</b>  | <b>C7</b>  | <b>C8</b>  | <b>C9</b>  | <b>C10</b> | <b>C11</b> | <b>C12</b> | <b>C13</b> | <b>C14</b> |
|--------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Cana-de-açúcar (M Ha)          | 13.34      | 10.49      | 12.34      | 12.72      | 13.47      | 13.55      | 13.48      | 13.56      | 14.43      | 14.60      | 14.35      | 14.66      | 10.52      | 12.40      |
| Milho (M Ha)                   | 13.57      | 12.47      | 12.75      | 13.33      | 13.19      | 13.33      | 13.29      | 13.27      | 12.28      | 11.54      | 12.42      | 11.86      | 12.52      | 12.62      |
| Soja (M Ha)                    | 22.88      | 21.78      | 22.03      | 22.85      | 23.51      | 22.92      | 23.56      | 22.24      | 23.74      | 22.82      | 24.04      | 22.38      | 21.74      | 21.66      |
| Trigo (M Ha)                   | 1.12       | 0.84       | 0.83       | 1.13       | 0.76       | 1.11       | 0.82       | 0.90       | 2.09       | 1.17       | 2.14       | 1.10       | 1.03       | 1.01       |
| Algodão (M Ha)                 | 1.07       | 0.64       | 0.60       | 0.79       | 0.78       | 0.79       | 0.74       | 0.77       | 0.47       | 0.49       | 0.48       | 0.48       | 0.61       | 0.37       |
| Arroz (M Ha)                   | 1.1        | 0.74       | 0.84       | 0.72       | 0.90       | 0.92       | 0.90       | 0.91       | 0.84       | 0.81       | 0.92       | 0.80       | 0.73       | 0.74       |
| Sorgo (M Ha)                   | 0.29       | 0.28       | 0.33       | 0.34       | 0.35       | 0.35       | 0.36       | 0.35       | 0.34       | 0.36       | 0.34       | 0.34       | 0.28       | 0.29       |
| Mandioca (M Ha)                | 1.52       | 0.73       | 0.86       | 0.86       | 0.87       | 0.88       | 0.88       | 0.85       | 0.78       | 0.81       | 0.78       | 0.82       | 0.73       | 0.68       |
| Feijão (M Ha)                  | 2.72       | 1.84       | 1.88       | 2.05       | 2.03       | 2.02       | 2.04       | 1.98       | 2.03       | 2.08       | 2.05       | 2.05       | 1.86       | 1.95       |
| Total land (M Ha)              | 51.35      | 44.31      | 46.87      | 47.62      | 49.20      | 48.64      | 49.25      | 47.73      | 50.06      | 48.58      | 50.51      | 48.49      | 44.27      | 45.99      |
| Pasture Land (M Ha)            | 102.96     | 105.25     | 104.39     | 107.01     | 106.73     | 106.67     | 106.68     | 106.50     | 105.83     | 105.56     | 106.02     | 105.29     | 105.45     | 104.97     |
| Total Agricultural land (M Ha) | 154.31     | 149.56     | 151.26     | 154.63     | 155.93     | 155.30     | 155.93     | 154.23     | 155.89     | 154.14     | 156.53     | 153.78     | 149.71     | 150.96     |
|                                | <b>C15</b> | <b>C16</b> | <b>C17</b> | <b>C18</b> | <b>C19</b> | <b>C20</b> | <b>C21</b> | <b>C22</b> | <b>C23</b> | <b>C24</b> | <b>C25</b> | <b>C26</b> | <b>C27</b> | <b>C28</b> |
| Cana-de-açúcar (M Ha)          | 10.51      | 12.40      | 13.75      | 14.58      | 13.75      | 14.48      | 14.20      | 14.04      | 11.74      | 11.74      | 14.62      | 14.14      | 11.74      | 11.74      |
| Milho (M Ha)                   | 12.51      | 12.62      | 13.28      | 13.21      | 13.29      | 13.64      | 12.22      | 12.41      | 12.76      | 12.76      | 13.25      | 13.75      | 12.76      | 12.76      |
| Soja (M Ha)                    | 21.74      | 21.66      | 22.90      | 23.73      | 22.93      | 23.34      | 22.29      | 22.23      | 21.73      | 21.73      | 24.01      | 24.09      | 21.73      | 21.73      |
| Trigo (M Ha)                   | 1.02       | 1.00       | 1.08       | 1.07       | 1.08       | 1.09       | 1.16       | 1.09       | 1.00       | 1.00       | 1.06       | 1.42       | 1.00       | 1.00       |
| Algodão (M Ha)                 | 0.61       | 0.39       | 0.60       | 0.68       | 0.60       | 0.66       | 0.47       | 0.43       | 0.72       | 0.72       | 0.66       | 0.70       | 0.72       | 0.72       |
| Arroz (M Ha)                   | 0.73       | 0.73       | 0.88       | 0.95       | 0.88       | 0.95       | 0.83       | 0.77       | 0.77       | 0.77       | 0.89       | 0.97       | 0.77       | 0.77       |
| Sorgo (M Ha)                   | 0.28       | 0.29       | 0.34       | 0.38       | 0.34       | 0.36       | 0.32       | 0.33       | 0.27       | 0.27       | 0.38       | 0.39       | 0.27       | 0.27       |
| Mandioca (M Ha)                | 0.73       | 0.68       | 0.78       | 0.83       | 0.78       | 0.83       | 0.81       | 0.80       | 0.80       | 0.80       | 0.84       | 0.91       | 0.80       | 0.80       |
| Feijão (M Ha)                  | 1.86       | 1.94       | 2.09       | 2.13       | 2.09       | 2.13       | 1.91       | 2.00       | 1.80       | 1.80       | 2.13       | 2.15       | 1.80       | 1.80       |
| Total land (M Ha)              | 44.24      | 45.98      | 48.48      | 50.37      | 48.52      | 50.26      | 48.26      | 48.25      | 45.85      | 45.85      | 50.69      | 50.96      | 45.85      | 45.85      |
| Pasture Land (M Ha)            | 105.50     | 104.97     | 106.83     | 106.86     | 106.83     | 106.82     | 104.96     | 105.17     | 104.33     | 104.33     | 106.92     | 106.50     | 104.33     | 104.33     |
| Total Agricultural land (M Ha) | 149.75     | 150.95     | 155.31     | 157.23     | 155.35     | 157.07     | 153.22     | 153.42     | 150.18     | 150.18     | 157.61     | 157.46     | 150.18     | 150.18     |