

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE ENERGIA NUCLEAR**

**COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR
CENTRO REGIONAL DE CIÊNCIAS NUCLEARES DO NORDESTE**

Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares

**CICLAGEM DE NITROGÊNIO E ESTIMATIVA DE
BIOMASSA DE CANA-DE-AÇÚCAR EM PERNAMBUCO**

ERIC XAVIER DE CARVALHO

Orientador: Prof. Dr. Rômulo Simões Menezes

Co-orientador: Prof. Dr. José Nildo Tabosa

Recife, PE
Fevereiro, 2015

ERIC XAVIER DE CARVALHO

**CICLAGEM DE NITROGÊNIO E ESTIMATIVA DE
BIOMASSA DE CANA-DE-AÇÚCAR EM PERNAMBUCO**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação
em Tecnologias Energéticas e Nucleares para
obtenção do título de Doutor em Ciências, Área
de Concentração: fontes renováveis de energia

Orientador: Prof. Dr. Rômulo Simões Menezes

Co-orientador: Dr. José Nildo Tabosa

Recife, PE

Fevereiro, 2015

Catálogo na fonte
Bibliotecário Carlos Moura, CRB-4 / 1502

C331c Carvalho, Eric Xavier de.
 Ciclagem de nitrogênio e estimativa de biomassa de cana-de-açúcar em Pernambuco. / Eric Xavier de Carvalho. - Recife: O Autor, 2015.
 71 f. : il., tabs.

 Orientador: Prof. Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes.
 Coorientador: Dr. José Nildo Tabosa.
 Tese (doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, 2015.
 Inclui referências bibliográficas.

 1. Produtividade. 2. Equação alométrica. 3. Fixação biológica de nitrogênio. I. Menezes, Rômulo Simões Cezar, orientador. II. Tabosa, José Nildo, coorientador. III. Título.

CDD 662.88 (21. ed.)

UFPE
BDEN/2015-08

FOLHA DE APROVAÇÃO

CICLAGEM DE NITROGÊNIO E ESTIMATIVA DE BIOMASSA DE CANA-DE-AÇÚCAR EM PERNAMBUCO

Aprovada em: 02/02/2015

Orientador: Prof. Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes – DEN/UFPE

Co-orientador: Dr. José Nildo Tabosa

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Everardo Valadares de Sá Barreto Sampaio – DEN/UFPE

Dr^a Ana Dolores Siqueira de Freitas DEPA/UFRPE

Dr. Djalma Elzébio Simões Neto EECAC/UFRPE

Dr. Dário Costa Primo – DEN/UFPE

Coordenador(a) do PROTEN/UFPE

“Ser feliz não é ter uma vida perfeita, mas deixar de ser vítima dos problemas e se tornar o autor da própria história”

(Abraham Lincoln)

DEDICATORIA

Dedico a minha família que tanto incentiva nos desafios e está presente em todos momentos.

AGRADECIMENTOS

A família pelo apoio e incentivo de sempre;

Ao prof. Rômulo Simões Cezar Menezes, pela forma cordial e sempre solícito na orientação e desenvolvimento da tese;

Ao Pesquisador e co-orientador Dr. José Nildo Tabosa;

Aos membros do comitê de orientação: Prof. Dr. Everardo V. S. B. Sampaio e aos pesquisadores Dr. Djalma Elzébio Simões Neto e Dr^a. Karina Guedes Correia;

Ao IPA

Aos colegas do IPA Aluizio Low Simões, Antônio Santana dos Santos Filho, Clécio Florêncio de Queiroz, Luiz Rodrigues de Oliveira, Maria de Fátima, Odemar Vicente dos Reis, Erinaldo Viana e toda equipe da estação experimental do IPA-Itambé-PE;

Aos professores Dr^a Ana Dolores (UFRPE), Dr. Alexandre Siqueira (UFS) e ao Pesquisador Dr. Dário costa primo

Ao grupo da Energia da Biomassa;

Ao colega Rodrigo Oliveira Queiroz;

À EECAC/UFRPE/RIDESA;

À equipe da Estação experimental de cana-de-açúcar (EECAC);

Ao CNPq

À FACEPE

À Usina Central Olho D'água

RESUMO

CICLAGEM DE NITROGÊNIO E ESTIMATIVA DE BIOMASSA DE CANA-DE-AÇÚCAR EM PERNAMBUCO

A biomassa tem papel relevante na matriz energética mundial e a cana-de-açúcar é importante nesse processo. A obtenção de matriz mais limpa e o aumento na demanda por produtos da indústria sucroalcooleira vêm exigindo maior eficiência no cultivo e no uso de tecnologia desde o campo até à indústria, visando tornar o setor mais sustentável e produtivo. Isso requer avanços em diversos aspectos, incluindo melhor conhecimento do potencial produtivo das variedades e da dinâmica de nutrientes nos sistemas de cultivo. Esta pesquisa teve como objetivo geral estudar ciclagem de nitrogênio e modelagem matemática para avaliar a produtividade de cinco variedades de cana-de-açúcar na Zona da Mata pernambucana. Os objetivos específicos foram: avaliar o acúmulo de biomassa e de nitrogênio com diferentes níveis de adubação nitrogenada; desenvolver equação alométrica para estimar a biomassa da cana-de-açúcar com metodologias não destrutivas e determinar a contribuição da fixação biológica no aporte do nitrogênio às principais variedades de cana-de-açúcar cultivadas em Pernambuco. Um experimento em campo foi conduzido na estação experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) em Itambé, PE, em 2012 e 2013, com delineamento experimental em blocos casualizados em arranjo fatorial, representados por cinco variedades de cana-de-açúcar (RB863129, RB92579, RB867515, RB931011 e RB962962) e três níveis de adubação nitrogenada (testemunha, 12 e 40 kg N ha⁻¹ na forma de ureia), com 4 blocos. As parcelas foram compostas por sete fileiras com 14 metros de comprimento e 1 m entre fileiras (98m²). Nas parcelas com adubações de 12 Kg ha⁻¹ foi delimitada uma microparcela de 1 x 1,5 m na fileira central, onde a adubação foi realizada com nitrato de amônio duplamente enriquecido a 5% de ¹⁵N. Na colheita, a biomassa das plantas foi fracionada em colmo, folhas e ponteiro e subamostras foram coletadas para determinação das concentrações de nitrogênio. Para a elaboração de equação alométrica, foram coletadas 10 plantas de cada parcela, cortadas manualmente ao nível do solo e mensuradas isoladamente em diferentes idades, aos 180, 240, 300, 360 e 450 (colheita) dias após o plantio para as variáveis biométricas de comprimento e o diâmetro de planta. As plantas foram pesadas e fracionadas em colmos, ponteiros e folhas para quantificar a biomassa. Os dados obtidos foram submetidos a análises de correlação e ajustadas equações de regressão. Para determinação, através da técnica isotópica da abundância natural do ¹⁵N e fixação biológica no aporte do nitrogênio das variedades, um ensaio foi conduzido em casa de vegetação localizada na sede do IPA, em Recife, PE. O delineamento foi em blocos casualizados com 13 tratamentos e quatro blocos. Os tratamentos consistiram em cinco cultivares de cana-de-açúcar (RB867515, RB863129, RB92579, RB931011 e RB962962), e oito plantas para serem testadas como referências. Na colheita em campo, a biomassa fresca das plantas foi distribuída em 66% no colmo, 19% nas folhas e 14% no ponteiro, as duas últimas somando 14 Mg ha⁻¹, um importante potencial para fins energéticos. Não houve diferenças significativas entre as variedades no acúmulo de biomassa seca de colmo na colheita nem com relação a alocação de N na planta e no colmo. A recuperação média do fertilizante aplicado foi de 21%, sem diferenças entre as variedades. A técnica isotópica não possibilitou estimativa da fixação biológica de nitrogênio. As equações alométricas, tanto as gerais quanto as específicas por variedade, mostraram bons ajustes, indicando que podem ser ferramentas úteis para estimar a produtividade da cana-de-açúcar. Os modelos calibrados nesta pesquisa ainda necessitam ser validados e otimizado para outras variedades e regiões produtoras de cana-de-açúcar. No experimento em vasos em casa-de-vegetação, as variedades RB867515, RB931011 e RB962962 tiveram maiores fixações de N. Os valores médios foram de cerca de 12%, utilizando como referência a mamona (*Ricinus*

communis L. e 17% utilizando o algodão (*Gossypium hirsutum* L.). Sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), milho (*Zea mays* L.) e os capins colônia (*Panicum maximum*) e elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) não se mostraram adequados como plantas referência pois também fixaram N.

Palavras-chaves: Produtividade, Equação alométrica, fixação biológica de nitrogênio

ABSTRACT

CYCLING NITROGEN AND ESTIMATE OF BIOMASS CANE SUGAR IN PERNAMBUCO

Biomass has an important role in the world energy matrix and sugarcane is relevant in this matrix. The need of a cleaner matrix and the increase in demand for sugarcane products have been pressing for greater efficiencies in cultivation and industrial technologies. This requires advances in several aspects, including better knowledge of the productive potential of varieties and their nutrient dynamics in different cropping systems. This research aimed to study biogeochemical aspects of production and mathematical modeling of five of the main varieties of sugarcane in the Zona da Mata of Pernambuco. The specific objectives were: evaluate the accumulation of biomass and nitrogen with different levels of nitrogen fertilization; develop allometric equations that allow estimations of biomass with non-destructive methods; determine the contribution of biological fixation to the nitrogen supply of the varieties. A field experiment was conducted at the experimental station of the Agronomic Institute of Pernambuco (IPA) in Itambé, PE, in 2012 and 2013, with a randomized design and a factorial arrangement, represented by five varieties of sugarcane (RB863129, RB92579, RB867515, RB931011 and RB962962) and three levels of nitrogen fertilization (control, 12 and 40 kg N ha⁻¹), with 4 blocks. Each plot consisted of seven rows 14 m long, with 1 m between rows. In the plots fertilized with 12 kg ha⁻¹, one microplot 1 x 1.5 m was established in the central row, where the fertilizer was doubly enriched ammonium nitrate at 5% ¹⁵N. At harvest, plant biomass was fractionated into stem, leaves and pointer and sub-samples were collected for determination of nitrogen concentrations. For the development of allometric equation, 10 plants were collected in each plot, 180, 240, 300, 360 and 450 (harvest) days after planting. The plants were cut at soil level, measured for their length and stem diameters and fractionated into stems, leaves and pointers to quantify biomass. The data were subjected to correlation analysis and adjusted regression equations. To determine potential nitrogen biological fixation, a greenhouse assay was conducted using the ¹⁵N isotopic natural abundance technique. The design was a randomized block with 13 treatments and four blocks. The treatments consisted of five sugarcane cultivars (RB867515, RB863129, RB92579, RB931011 and RB962962), and eight plants to be tested as possible references. At harvest in the field, 66% of the fresh biomass was in the stems, 19% in the leaves and 14% in the pointer, the last two adding to 14 Mg ha⁻¹, an important potential for energy purposes. There were no significant differences among varieties in stem dry biomass accumulation or N allocation in the plants. The average recovery of applied fertilizer was 21%, with no differences among varieties. The isotope technique did not allow estimation of biological nitrogen fixation. The allometric equations, both general and specific for each variety, had good fits, indicating that they can be useful tools to estimate productivity along the sugarcane growth cycle. In the pot experiment, varieties RB867515, RB931011 and RB962962 had the highest N fixation (12 to 17%). Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench), maize (*Zea mays* L.) and guinea (*Panicum maximum*) and elephant grasses (*Pennisetum purpureum* Schum.) were not suitable as reference plants as they also fixed N.

Keywords: productivity, allometric equation, biological nitrogen fixation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1. Precipitação no período experimental e média de 32 anos, na estação experimental do Instituto Agrônômico de Pernambuco em Itambé, PE..... 27
- Figura 2. Detalhe da parcela do experimento de cultivo de cana-de-açúcar (exemplo com as microparcels) na estação experimental do Instituto Agrônômico de Pernambuco em Itambé, PE 29
- Figura 3 Detalhe da microparcela no experimento de campo conduzido na estação experimental do Instituto Agrônômico de Pernambuco em Itambé, PE..... 29
- Figura 4. Equação alométrica geral para estimativa não-destrutiva da biomassa fresca de plantas inteiras de cana-de-açúcar (A) e do colmo da planta (B) e respectivos erros relativos da estimativa (Er), erros padrão da variância (Syx%) e coeficiente de determinação (R^2) significativos a 5% pelo teste t, a partir de medidas da altura e do diâmetro das plantas de cinco variedades de cana-de-açúcar em cinco datas no primeiro ano de cultivo, obtida em experimento de campo, em Itambé, PE, no período de 2012 a 2013..... 44
- Figura 5. Equação alométrica geral para estimativa não-destrutiva da biomassa seca de plantas inteiras de cana-de-açúcar (A) e do colmo da planta (B) e respectivos erros relativos da estimativa (Er), erros padrão da variância (Syx%) e coeficiente de determinação (R^2) significativos a 5% pelo teste t, a partir de medidas da altura e do diâmetro das plantas de cinco variedades de cana-de-açúcar em cinco datas no primeiro ano de cultivo, obtida em experimento de campo, em Itambé, PE, no período de 2012 a 2013 45
- Figura 6. Equação alométrica para estimativa não-destrutiva da biomassa fresca de colmo das variedades RB863129 (A), RB92579 (B), RB867515 (C), RB931011 (D) e RB962962 (E) e respectivos erros relativos da estimativa (Er) e erros padrão da variância (Syx%) e coeficientes de determinação significativos a 5% pelo teste t, a partir de medidas da altura e do diâmetro das plantas por variedade de cana-de-açúcar em cinco datas no primeiro ano de cultivo, obtida em experimento de campo, em Itambé, PE, no período de 2012 a 2013 47

Figura 7. Equação alométrica para estimativa não-destrutiva da biomassa seca de planta inteira das variedades RB863129 (A), RB92579 (B), RB867515 (C), RB931011 (D) e RB962962 (E) e respectivos erros relativos da estimativa (Er) e erros padrão da variância (Syx%) e coeficientes de determinação significativos a 5% pelo teste t, a partir de medidas da altura e do diâmetro das plantas por variedade de cana-de-açúcar em cinco datas no primeiro ano de cultivo, obtida em experimento de campo, em Itambé, PE, no período de 2012 a 2013.	48
Figura 8. Biomassa fresca de colmo de plantas de cana-de-açúcar estimada por uma equação geral e por equações específicas para cinco variedades a partir de valores fixos atribuídos à variável independente altura x diâmetro (A x D). Erro padrão aplicado ao modelo geral.....	51
Figura 9. Biomassa seca de plantas inteiras de cana-de-açúcar estimada por uma equação geral e por equações específicas para cinco variedades a partir de valores fixos atribuídos à variável independente altura x diâmetro (AxD). Erro padrão aplicado ao modelo geral.....	51
Figura 10. Biomassa fresca de plantas de cana-de-açúcar estimada por uma equação geral e por cinco equações específicas para cada variedade a partir de valores fixos atribuídos à variável independente altura x diâmetro (AxD). Erro padrão aplicado ao modelo geral.....	52
Figura 11. Biomassa seca de colmos de plantas de cana-de-açúcar estimada por uma equação geral e por equações específicas para cinco variedades a partir de valores fixos atribuídos à variável independente altura x diâmetro (AxD). Erro padrão aplicado ao modelo geral.	52
Figura 12. Relação entre as biomassas fresca de planta (A) e de colmo (B) estimadas e as obtidas das plantas de cana-de-açúcar com 14 meses, da variedade RB92579, obtida em área comercial não irrigada da estação experimental em Itambé, PE em 2014 e as estimadas pelas respectivas equações gerais e respectivos erros relativos da estimativa (Er) e erros padrão da variância (Syx%) e coeficientes de determinação.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Análises químicas do solo do campo experimental em profundidade coletado antes da calagem e adubação do experimento com cana-de-açúcar, no ano de 2012, na estação experimental do Instituto Agronômico de Pernambuco em Itambé, PE.....	28
Tabela 2	Análises químicas e físicas do solo utilizado em experimento de casa de vegetação na sede do Instituto Agronômico de Pernambuco, de maio a novembro de 2012, em Recife-PE.....	33
Tabela 3.	Biomassas secas em partes das plantas de cinco variedades de cana-de-açúcar na colheita final em primeiro ano de cultivo, de 2012 a 2013, com três níveis de adubação nitrogenada, em experimento em Itambé, PE.....	35
Tabela 4.	Acúmulo de biomassa secas aéreas das plantas de cinco variedades de cana-de-açúcar, em primeiro ano de cultivo, de 2012 a 2013, com três níveis de adubação nitrogenada, em experimento em Itambé, PE.....	36
Tabela 5.	Acúmulo de biomassa seca de colmo de cinco variedades de cana-de-açúcar, em primeiro ano de cultivo, de 2012 a 2013, com três níveis de adubação nitrogenada, em experimento de campo, em Itambé, PE	38
Tabela 6.	Valores médios na colheita de altura, diâmetro e capacidade de perfilhamento de cinco variedades de cana-de-açúcar, em primeiro ano de cultivo, de 2012 a 2013, com três níveis de adubação nitrogenada, em experimento de campo, em Itambé, PE	39
Tabela 7.	Valores médios de TCH (tonelada de cana por hectare), TPH (tonelada de pol por hectare), percentual de sacarose aparente (PC), teor de fibra, pureza, teor de brix (percentual de sólidos solúveis em peso, de caldo) e ATR (açúcar total recuperável) de cinco variedades de cana-de-açúcar, em primeiro ano de cultivo, de 2012 a 2013, com três níveis de adubação nitrogenada, em experimento de campo, em Itambé, PE	40

Tabela 8.	Acúmulo de nitrogênio nas partes da planta na colheita de cinco variedades de cana-de-açúcar, em primeiro ano de cultivo, de 2012 a 2013, com três níveis de adubação nitrogenada, em experimento de campo, em Itambé, PE	42
Tabela 9.	Produtividades de biomassas fresca e seca de parte aérea da planta e de colmo estimadas pelas respectivas equações e obtidas em primeiro ano de cultivo, de 2012 a 2013, com três níveis de adubação nitrogenada, em experimento de campo, em Itambé, PE.....	46
Tabela 10.	Equações alométricas para estimativa não-destrutiva de biomassa fresca de parte aérea da planta e de biomassa seca de colmo de cana-de-açúcar e respectivos erros relativos da estimativa (Er), erros padrão da variância (Syx%) e coeficientes de determinação significativos a 5% pelo teste t, a partir de medidas da altura e do diâmetro de cinco variedades de cana-de-açúcar, em primeiro ano de cultivo, de 2012 a 2013, com três níveis de adubação nitrogenada, em experimento de campo, em Itambé, PE.....	50
Tabela 11.	Biomassa, concentração e acúmulo de nitrogênio por planta e $\delta^{15}\text{N}$ de cinco variedades de cana-de açúcar e plantas referências cultivadas em experimento de casa de vegetação por 180 dias, de maio a novembro de 2012, em Recife-PE	54
Tabela 12.	Fixação biológica de nitrogênio de cinco variedades de cana-de açúcar e seis gramíneas cultivadas por 180 dias em experimento de casa de vegetação na sede do Instituto Agronômico de Pernambuco em Recife-PE, utilizando a <i>Ricinus communis</i> L. cv. Nordeste e <i>Gossypium hirsutum</i> L cv. BRS 186 como plantas referência.....	55

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1 Cana-de-açúcar.....	17
2.2 Ciclagem de carbono e nitrogênio.....	19
2.3 Equações alométricas para estimativa de biomassa	22
2.4 Fixação biológica de nitrogênio.....	25
3. MATERIAIS E MÉTODOS	27
3.1 Descrição da área de estudo e delineamento experimental.....	27
3.2 Avaliação do acúmulo de biomassa e nitrogênio de variedades de cana-de-açúcar com diferentes níveis de adubação nitrogenada	29
3.3 Desenvolvimento de equação alométrica para estimar a biomassa de cana-de-açúcar.....	31
3.3.1 Elaboração das equações.....	31
3.3.2 Avaliação das equações alométricas	31
3.4 Determinação da fixação biológica de nitrogênio de variedades de cana-de-açúcar cultivadas em Pernambuco	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1 Avaliação do acúmulo de biomassa e nitrogênio de variedades de cana-de-açúcar com diferentes níveis de adubação nitrogenada	34
4.1.1 Acúmulo de biomassa e desenvolvimento	34
4.1.2 Acúmulo de nitrogênio.....	41
4.1.3 Recuperação do N do fertilizante	43

4.2 Equações alométrica para estimar a biomassa de cana-de-açúcar.....	43
4.2.1 Variação dos dados obtidos.....	43
4.2.2 Equações gerais	44
4.2.2 Equações por variedade.....	47
4.2.3 Verificação das equações gerais	53
4.3 Fixação biológica de nitrogênio em variedades de cana-de-açúcar	54
5. CONCLUSÃO	57
REFERÊNCIAS	58

1. INTRODUÇÃO

As fontes de biomassa tem um papel relevante na matriz energética mundial, sendo a cana-de-açúcar (*Saccharum sp.*) importante nesse processo. No Brasil, a contribuição da cana-de-açúcar é muito relevante, pois foi responsável por 15% da oferta total de energia primária em 2013 (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2014). Além disso, a cana-de-açúcar movimenta uma diversificada cadeia produtiva, com significativa importância socioeconômica e ambiental, flexibilidade de produção e aproveitamento de resíduos.

A cana-de-açúcar, assim como outras culturas energéticas, ao mesmo tempo em que favorece a redução das emissões, é também sensível à variabilidade climática e ao manejo. Este aspecto e o aumento na demanda por produtos da indústria sucroalcooleira vêm exigindo maior eficiência no cultivo e no uso da matriz tecnológica do campo à indústria, visando tornar o setor mais sustentável e produtivo.

No Brasil, a cana-de-açúcar ocupa uma área de cerca de nove milhões de hectares (CONAB, 2014). Nos últimos anos tem-se observado variação na produção, em decorrência de vários fatores, como condições climáticas, inclusão de áreas plantadas em estados não produtores e do uso adequado das tecnologias disponíveis. Melhorias na eficiência no cultivo de cana irão requerer avanços em diversos aspectos, incluindo melhor conhecimento do potencial produtivo das diferentes variedades nas regiões produtoras e também da dinâmica de nitrogênio nos sistemas de cultivo. Para tanto, são necessários estudos para avaliar esses e outros aspectos em experimentos de campo, laboratório e casa-de-vegetação.

Em geral, as medidas para quantificar o crescimento e acúmulo de nutrientes pelas plantas exige amostragens sucessivas, o que pode demandar um delineamento com maior número de plantas quando são utilizadas amostragens destrutivas. Sendo assim, há necessidade de desenvolverem-se metodologias para estimar a biomassa de maneira fácil, rápida e não destrutiva para efeito de planejamento, pesquisa agrícola e avaliação do potencial para os diversos fins energéticos. Neste sentido, as equações alométricas são ferramentas úteis e que relacionam variáveis difíceis de serem obtidas de forma não destrutiva, como os estoques de biomassa e carbono, a variáveis facilmente mensuradas, como diâmetro e altura da planta (VIEILLEDENT et al., 2012; BRIANEZI et al., 2013).

Além disso, parte do nitrogênio demandado pela agricultura pode ser proveniente de aportes externos ao sistema, como a fixação biológica de N (FBN) por microrganismos endofíticos, que se associam à cana-de-açúcar (REIS et al., 2010). A utilização de variedades

com elevado potencial de FBN pode reduzir a necessidade de fertilização industrial, o que pode reduzir os custos de produção e a emissão de gases de efeito estufa. Portanto, um melhor conhecimento desta contribuição possibilita a tomada de decisões adequadas com relação ao manejo, melhor planejamento agrícola e dos programas de melhoramento genético da cultura, tornando o cultivo de cana-de-açúcar uma atividade cada vez mais sustentável.

Neste sentido, esta pesquisa teve como objetivo geral avaliar a produtividade de biomassa e dinâmica de nitrogênio na cana-de-açúcar em Pernambuco dividido em 3 objetivos específicos: 1) Avaliar acúmulo de biomassa e nitrogênio de cinco variedades em Pernambuco com diferentes níveis de adubação nitrogenada; 2) Desenvolver equação alométrica para estimar a biomassa da cana-de-açúcar com metodologias não destrutivas; e 3) Determinar o potencial de contribuição da fixação biológica no aporte do nitrogênio às principais variedades de cana-de-açúcar cultivadas em Pernambuco.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma cultura agrícola historicamente importante e estratégica para o Brasil. Apresenta uma cadeia produtiva cada vez mais diversificada e flexível e contribui diretamente para tornar a matriz energética brasileira mais limpa e renovável. Em 2012, produtos da cana-de-açúcar foram responsáveis pela oferta de mais de 15% da energia na matriz brasileira ((EMPRESA DE ENERGIA ENERGÉTICA, 2014).).

A cana-de-açúcar foi introduzida no Brasil por volta de 1500, pertence à família Poaceae e gênero *Saccharum*, apresentam colmos de formato cilíndrico, folhas alternadas e opostas aderidas ao colmo, sistema radicular de arquitetura variável de acordo com idade da planta, ciclo (corte) e inflorescência, que é indesejável para o cultivo comercial, entretanto, importante para o melhoramento genético da cultura (FIGUEIREDO, 2010). A cana é perene na sua forma natural, mas semi-perene quando cultivada comercialmente, com replantio geralmente entre a quinta e a sétima colheita. O Brasil apresenta condições naturais e geográficas favoráveis para produção e uso da biomassa como recurso energético, além de quantidade de terra agricultável com características variadas, adequadas de solo e condições climáticas possibilitando múltiplos cultivos (BRASIL, 2007).

Existem dois tipos de ciclos de produção da cana-de-açúcar, um que se inicia com o plantio e que se encerra com o primeiro corte, chamado de cana-planta, e outros referentes aos ciclos de soqueiras, ou canas-socas, que começam após o primeiro corte, duram de 12 a 13 meses. O ciclo da cana-planta varia com a época de plantio, podendo variar também de acordo com a cultivar utilizada (CIB, 2009).

A cultura destaca-se socioeconômica e ambientalmente, por inúmeros fatores, dentre eles menor emissão de GEE que energias de origem fóssil, maior produtividade do que outras culturas na produção de etanol, balanço energético positivo, custo de produção competitivo, possibilidade de uso dos resíduos industriais na fertilização do solo e flexibilidade de produção e geração de energia (NEVES & CONEJERO, 2010). O etanol da cana-de-açúcar tem um importante mercado no Brasil, visto que em 2013 foram licenciados cerca de 3,2 milhões de automóveis leves bicom bustíveis, o que representou 84% do total da frota nessa categoria (ANFAVEA, 2014).

A produção brasileira de cana na safra 2013/14 nacional foi de 658,8 milhões de toneladas obtidas numa área de 8,8 milhões de hectares. Do total de cana-de-açúcar produzida, cerca de 302,1 milhões de toneladas (46%) e 357,0 milhões (54%) foram destinadas à produção de açúcar e etanol, respectivamente. O Estado de Pernambuco é o oitavo maior produtor brasileiro, responsável por 3,2% da produção nacional, cultivada em 2,2% da área de cana do Brasil e obteve produtividade 32,3% menor que a nacional (74,8 Mg ha⁻¹), mas semelhante à do restante do Nordeste (CONAB, 2014). Pernambuco é o segundo maior produtor das regiões Norte e Nordeste, responsável por 27% (15,1 milhões de toneladas) da cana produzida na safra 2013/2014 (SINDAÇUCAR, 2015)

A expressão de caracteres produtivos e de crescimento é muito influenciada pelo potencial de adaptação das variedades ao clima, principalmente à temperatura e ao regime de chuvas, e também às práticas culturais utilizadas (LIMA; ALVES, 2008). Estratégias de adaptação à variabilidade climática são essenciais para minimizar os impactos negativos sobre o desenvolvimento social e econômico (CERRI et al., 2007). Dentre elas, destaca-se o desenvolvimento de cultivares com maior tolerância a temperaturas mais altas e a clima mais seco (FÉRES et al., 2011).

O ciclo completo da cana-de-açúcar é variável, dependendo do clima local, de variedades e das práticas de cultivo utilizadas. O período da colheita varia de acordo com o regime de chuvas, de modo a tornar possíveis as operações de corte e transporte e para permitir alcançar o melhor ponto de maturação e acumulação de açúcares. Na Região Centro-Sul do

Brasil, a colheita é de abril a dezembro, enquanto na Região Nordeste é de agosto a abril (BNDES, 2008).

Variedades com boas características agroindustriais representam a tecnologia que mais contribui para elevação dos níveis de produtividade da cultura a custos relativamente baixos, quando comparada aos demais itens que compõem o sistema produtivo da cultura. Instituições públicas e empresas privadas integram os quatro programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar no Brasil: a Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (RIDESA); o Instituto Agronômico de Campinas (IAC); o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), e o da CANAVIALIS (CV) (SIMÕES NETO, 2009).

2.2 Ciclagem de carbono e nitrogênio

A sustentabilidade de um ecossistema está diretamente relacionada, entre outros fatores, com a dinâmica de carbono e de nutrientes e com o equilíbrio entre os processos de entrada e saída dos elementos do ecossistema (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). Os caminhos percorridos ciclicamente entre o meio biótico e abiótico pela água e por elementos químicos são chamadas de ciclos biogeoquímicos, e estão relacionados a processos biológicos, geológicos e hidrológicos e aos equilíbrios naturais dos elementos (ROSA et al., 2003).

O conhecimento dos ciclos biogeoquímicos do carbono (C) e do nitrogênio (N) e suas diversas composições químicas, fluxos e estoques é fundamental para identificação e desenvolvimento de tecnologias capazes de potencializar o sequestro de carbono e os aportes de N ao sistema, além de reduzir as emissões e perdas por ações antrópicas, que interferem na forma como os fatores ambientais e as práticas agrícolas utilizadas relacionam-se e atuam na produção agrícola (SAMPAIO et al., 2009).

Os principais fluxos do carbono no cultivo da cana-de-açúcar são a absorção do C atmosférico pela fotossíntese, emissões para atmosfera na queima do canavial antes da colheita, emissões do solo, mineralização dos resíduos, liberação no uso de fertilizantes e combustíveis fósseis na lavoura com os tratamentos culturais, irrigação, colheita e transporte da cana-de-açúcar dentre outros (MACEDO et al., 2004; GARCIA & SPERLING, 2010).

Estimativas de emissões que ocorrem nas atividades do cultivo da cana destacam a aplicação de calcário e de fertilizantes como responsável por 19% das emissões; a queima da palhada do canavial, 28%; liberações de N_2O do solo, 22%; consumo de combustível, 22% (sendo, nas operações agrícolas 5%, no transporte de insumos 1%, na fertirrigação 2%, e

colheita 14%); produção de mudas, 5%; no uso de defensivos, 2% e na emissão proveniente da elaboração de produtos químicos etapa industrial, 2% (GARCIA & SPERLING, 2010).

A fotossíntese é responsável pela transformação do carbono da forma oxidada da atmosfera (CO_2) em compostos orgânicos como carboidratos, que proporcionam a energia para garantir os processos bioquímicos globais (SCHLESINGER, 2000; MARENCO & LOPES, 2009). A cana-de-açúcar apresenta metabolismo C_4 da fotossíntese, é eficiente no sequestro de carbono da atmosfera e responde bem às maiores temperaturas com aumento na taxa de fotossíntese, desde que as disponibilidades hídricas e de nutrientes e as concentrações de O_2 e CO_2 na atmosfera não sejam limitantes (SCHLESINGER, 2000).

No solo, a dinâmica de carbono orgânico pode ser dividida em duas etapas: os processos responsáveis pela renovação rápida da serapilheira na superfície e os responsáveis pela mais lenta produção, acumulação e renovação de húmus em profundidade cujas taxas de decomposição variam em função da temperatura, da umidade e da composição química da serapilheira (SCHLESINGER, 2000). Os componentes do resíduo vegetal são mineralizados pela biomassa microbiana, em que ocorrem transformações químicas para outras frações protegidas química e fisicamente, que, por sua vez apresentam alta taxa de residência, acumulando-se no solo ao longo do tempo (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006).

A decomposição e a mineralização da matéria orgânica do solo sofrem grande influência das intervenções feitas no solo (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). Sendo assim, o estoque de carbono depende principalmente do sistema de cultivo, da textura do solo, do uso de fertilizante mineral (GALDOS et al., 2009), de clima, da qualidade dos resíduos e da biota do sistema. O aporte de palhada afeta positivamente as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, assim como a produção vegetal e a ciclagem de nutrientes (GALDOS, 2007).

Um fluxo importante de C para a atmosfera no cultivo de cana-de-açúcar é a prática da queima de folhas secas antes da colheita. Essa prática vem recentemente sendo reduzida, seja por força da legislação específica regulatória devidos aos impactos ambientais negativos decorrentes das emissões de gases e particulados, ou por um maior conhecimento de tecnologias alternativas e do potencial positivo do melhor aproveitamento dos resíduos permanecendo no solo ou usadas na geração de energia. A queima acarreta em emissões de gases como CO_2 , CH_4 e N_2O (GALDOS, 2007) e a colheita sem queima pode reduzir em quase 80% as emissões que ocorrem nessa atividade (SOARES et al., 2009).

A adoção de estratégias de gestão dos resíduos sem queima (GALDOS, 2007; GALDOS et al., 2009) e manejo conservacionista do solo (SILVA-OLAYA, 2010; CERRI et al., 2011) contribuem para aumentar os níveis de carbono e melhorar a estrutura do solo, melhorar a taxa

de infiltração e reduzir as perdas de nutrientes (CERRI et al., 2011), além de mitigar os efeitos das mudanças climáticas (CERRI et al., 2004), proporcionando uma agricultura sustentável e a conservação do recurso solo (CERRI et al., 2011).

Dos elementos que circulam no sistema solo-planta-atmosfera, o que sofre maior número de transformações bioquímicas no solo é o nitrogênio, um dos elementos que mais limitam o crescimento vegetal (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). A aplicação de fertilizantes no cultivo da cana-de-açúcar é um importante aporte de N ao sistema. No Brasil, não são aplicadas doses elevadas em relação a outros países por causa do custo dos fertilizantes, ainda que a maioria dos solos no Brasil sob a agricultura sejam muito deficientes em N e P (DOBEREINER, 1997).

A contribuição do N proveniente do fertilizante para a cultura em cana-planta pode ser pequena comparada ao total de N absorvido pela planta (SAMPAIO et al., 1984; SALCEDO & SAMPAIO, 1987; GAVA et al., 2003; VITTI et al., 2011). Após um curto período de alta disponibilidade em forma mineral, o N-fertilizante vai sendo incorporado ao N-orgânico do solo (SILVA, 2004). O N incorporado na matéria orgânica do solo pode, subsequentemente, atuar como uma das principais fontes de N para a cana-de-açúcar, juntamente com a fixação biológica de N (SAMPAIO et al., 1984). Oliveira et al. (2011) consideraram diferentes acúmulos de acordo com variedades, variando de 15 a 42%.

A recuperação do N aplicado como fertilizante pela cana-de-açúcar ou por outros vegetais depende da forma e local de aplicação, da precipitação, da variedade (OLIVEIRA et al., 2011) e da fonte de N aplicada (BASANTA et al., 2003). A dinâmica do N na planta é variável em diferentes cultivares e depende do sistema de manejo utilizado. Diversas composições de N na planta foram encontradas e a extração e exportação variam entre variedades (OLIVEIRA et al., 2011) e com a disponibilidade hídrica. O conhecimento das extrações e exportações dos nutrientes por variedades de cana-de-açúcar é fundamental, por ser um forte dreno de N do sistema, sendo importante para dimensionar os processos fisiológicos que ocorrem na planta e os processos na fase industrial (OLIVEIRA et al., 2010b).

Os fertilizantes nitrogenados, apesar de constituírem a forma mais facilmente assimilável pelas plantas, têm reduzida eficiência de utilização pelas plantas e processo industrial de produção de custo elevado (HUNGRIA et al., 2007). O processo mais comum, a transformação do N₂ atmosférico em ureia, também chamado de Haber-Bosch, utiliza como fonte de energia combustíveis fósseis (SANTOS et al., 2008), requer hidrogênio derivado de petróleo, catalisador contendo ferro, altas temperaturas e altas pressões (HUNGRIA et al., 2007). Outro processo de fixação de nitrogênio atmosférico é mediado por descargas elétricas

na atmosfera, e, embora natural, tem contribuição mínima quando comparado aos processos biológico e industrial (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006).

Alguns autores estudaram o processo de mineralização dos resíduos orgânicos em sistemas de cultivo de cana-de-açúcar, visando maior aproveitamento dos resíduos em campo, que historicamente eram queimados antes da colheita (VITTI et al., 2008). O aproveitamento do nitrogênio pela soqueira pode representar cerca de 8% do N proveniente da palhada do ano anterior (GAVA et al., 2003) e os acúmulos ocorrem no final do ciclo da cultura da cana-de-açúcar (KWONG et al., 1987; GAVA et al., 2003; VITTI et al., 2011). Portanto, o processo de mineralização líquida do resíduo vegetal é lento, em relação à disponibilidade de N do fertilizante (BASANTA et al., 2003; GAVA et al., 2005; VITTI et al., 2011) e é recuperado de forma decrescente em cortes sucessivos.

O efeito positivo da aplicação dos resíduos ao solo vem da sua capacidade de minimizar as perdas do N do solo e aumentar o nível de matéria orgânica, de modo que, em mais longo prazo as condições físicas e a capacidade dos solos para reter cátions nutrientes são melhoradas (KWONG et al., 1987; GAVA et al., 2005). Apesar dos resíduos de cana apresentarem baixas quantidades de N em comparação com a reserva no solo e da habilidade da incorporação do resíduo causam a imobilização do N do fertilizante, a palha depositada sobre o solo em colheitas sucessivas pode contribuir não só para o aumento da MOS, mas também para o nitrogênio prontamente mineralizável e mineral (GAVA et al., 2005).

Neste contexto, conhecer os principais estoques e processos que regulam as adições e perdas de C e N do sistema é fundamental para definir um manejo sustentável dos recursos naturais, que por sua vez, são responsáveis pelo incremento da produção agrícola e longevidade das atividades.

2.3 Equações alométricas para estimativa de biomassa

A biomassa vegetal representa o resultado de transformação energética da radiação solar e esta energia pode ser liberada por meio da combustão ou como produtos energéticos, tais como carvão vegetal, etanol, gases combustíveis e de síntese e óleos vegetais combustíveis. A biomassa está entre as fontes renováveis com maior possibilidade de conversão em produtos energéticos e apresenta grande diversidade de tipos, origem e tecnologias de processamento (BRASIL, 2007).

A estimativa de biomassa fornece meios para avaliar os padrões de produtividade e é importante para a quantificação da produtividade primária, ciclagem de nutrientes e fluxo de

energia. Os dados de biomassa são importantes para o estabelecimento do sistema de gestão adequado, baseado nos princípios de rendimento sustentável (PURWANTO & AZIM 2010).

A alometria pode ser definida de diversas maneiras, dentre elas, como uma relação exponencial ou logarítmica que caracteriza o crescimento harmonioso da planta inteira em função das suas partes (PURWANTO & AZIM 2010; SILVA & SAMPAIO, 2008). Por outro lado, a proporcionalidade das partes da planta também pode ser avaliada pela correlação entre suas biomassas (SILVA & SAMPAIO, 2008). É uma técnica muito utilizada na área florestal para diversas finalidades, visando obter variáveis de difícil mensuração através de uma variável de fácil obtenção, utilizando técnicas de regressão (AMARAL et al., 2010).

A determinação de equações alométricas ocorre com amostragens destrutivas (PURWANTO & AZIM, 2010; MOREIRA-BURGER & DELITTI, 2010). Diversos tipos de modelos de regressão e diferentes combinações das variáveis têm sido usados no desenvolvimento de modelos preditores de fitomassa de ecossistemas tropicais (MOREIRA-BURGER & DELITTI, 2010).

A decisão sobre quais componentes da biomassa são necessários considerar é dependente dos ecossistemas a serem pesquisados e do uso pretendido da informação resultante (MAGNUSSEN, 2011). Em muitos casos de inventários em floresta, diâmetros e alturas de árvores são estimados visualmente por trabalhadores qualificados. Esta pode ser uma fonte de erros que precisa ser considerada quando se aplicam equações de regressão (DJOMO et al. 2010).

A alometria apresenta bons resultados em pesquisas com espécies florestais ou espécies encontradas nos mais variados ecossistemas no mundo e para diferentes objetivos, como estimativas de produção total e sequestro de carbono (ALEIXO et al., 2008; BARBEIRO et al., 2009; YOUKHANA & IDOL, 2011; VIEILLEDENT et al., 2012; JAIN & ANSARI, 2013; GOODMAN et al., 2013), emissões de carbono para a atmosfera (SIERRA et al., 2007), adoção de mecanismos de compensação do carbono ou políticas de gestão de pastagens (OLIVERAS et al., 2013), formulação e avaliação de iniciativas globais para reduzir o aquecimento global (SIERRA et al., 2007; JAIN & ANSARI, 2013) e estudo de fisiologia de crescimento (SALIS et al., 2007).

Modelos específicos foram desenvolvidos com o intuito de elevar a acurácia da estimativa de biomassa (BASUKI et al., 2009) em ambientes de caatinga (SAMPAIO & SILVA, 2005), manguezais (MEDEIROS & SAMPAIO 2008), ecossistemas andinos (OLIVERAS et al., 2013), área urbana (BRIANEZI et al., 2013), sistemas agroflorestais (JAIN

& ANSARI, 2013), floresta amazônica (GOODMAN et al., 2013), e florestas primárias e secundárias (ADDO-FORDJOUR & RAHMAD, 2013).

As pesquisas têm avançado também nos testes das equações existentes para as mais diversas espécies e ecossistemas, ou ainda para avaliar a qualidade e metodologia das mensurações de variáveis que afetam a estimativa da biomassa (HUNTER et al., 2013) e fontes de erros na escolha e uso de equações existentes para árvores (MAVOUROULOU et al., 2014). Modelos têm sido testados para diferentes espécies e ambientes como destacado por autores como Vieilledent et al. (2012), Sampaio et al. (2010b) e Barbeiro et al. (2009).

As equações para cada espécie podem ser úteis para estudos de população, que apesar de demandar tempo e esforço (SAMPAIO & SILVA, 2005) são ferramentas importantes nas estimativas de biomassa para a determinação exata de fatores como nutrientes e armazenamento de carbono. Por outro lado, na ausência de equações específicas por espécies ou quando as espécies em um determinado local são muito numerosas, as equações alométricas gerais constituem uma alternativa apropriada (DJOMO et al., 2010).

As equações alométricas gerais são desenvolvidas com dados agrupados e podem ser usadas para estimar estoques de carbono acima do solo de várias espécies mas, neste caso, é importante calibrar os modelos na área onde irão ser utilizados. Os modelos devem ser validados e os conjuntos de dados devem ser ampliados para aumentar os limites das regiões geográficas onde os modelos podem ser utilizados (KAONGA & BAYLISS-SMITH, 2010).

Segundo Medeiros & Sampaio (2008), no desenvolvimento de equações para áreas de manguezais, a utilização de equação poderia facilitar futuras estimativas de biomassas em outras áreas de mangue e substitui a necessidade de amostragem destrutiva de uma planta por simples medição, porém pode não se aplicar às árvores de outras áreas, apesar de serem da mesma espécie.

Equações alométricas elaboradas para cultivos agrícolas são escassas e abrangem geralmente espécies arbóreas, a exemplo do café (ANTUNES et al., 2008). Elas são importantes no monitoramento e nas estimativas da quantidade de biomassa de cana para o planejamento das atividades de cultivo, colheita, transporte, processamento e comercialização da produção, além da necessidade de contínuo aprimoramento de tecnologias e conhecimento do cultivo da cana sob todos os aspectos da relação solo-planta-ambiente e ciclagens biogeoquímicas.

2.4 Fixação biológica de nitrogênio

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) é um processo em que a molécula de N_2 da atmosfera é incorporada como amônio ao metabolismo primário de fixação de nitrogênio, participando da produção de proteínas nas plantas. Apenas bactérias possuem o complexo enzimático de nitrogenase e são capazes de realizar a quebra da tripla ligação e fazer a redução de N_2 a NH_3^+ . Essas bactérias são encontradas na natureza em vida livre e também em simbiose principalmente com plantas da família das leguminosas (REIS et al., 2010).

As bactérias fixadoras são denominadas diazotróficas ou fixadoras de N_2 e associam-se a diversas espécies de plantas em diferentes graus de especificidade, levando à classificação como bactérias associativas, endofíticas ou simbióticas. A maior contribuição do processo de fixação biológica do N_2 ocorre pela associação simbiótica de plantas da família leguminosae (HUNGRIA et al., 2007) que compreendem de 16.000 a 19.000 espécies, divididas em 750 gêneros (SANTOS et al., 2008).

Na cana-de-açúcar, as responsáveis pelo processo de FBN são as bactérias endofíticas que possuem o complexo enzimático de nitrogenase (REIS et al., 2010) e têm propriedades fisiológicas de diazotróficas como tolerância a pH baixo, elevados teores de açúcar e concentrações de sal e apresentam características inerentes a endófito, na medida em que são incapazes de infectar a cana a menos que a bactéria entre por tecido danificado ou por meio de micorrizas. A sua propagação ocorre por meio do material de plantio (HUNGRIA et al., 2007).

As associações de bactérias diazotróficas com cana-de-açúcar têm sido objeto de trabalhos, principalmente relacionados ao isolamento e identificação de novas espécies de bactérias, quantificação do N fixado, desenvolvimento de produtos contendo bactérias específicas, e mais recentemente de técnicas moleculares para estudos taxonômicos e identificação de genes tanto de plantas como de bactérias responsáveis pelos mecanismos complexos envolvidos no processo de interação (REIS et al., 2010).

Dentre as várias bactérias diazotróficas isoladas da cultura da cana-de-açúcar destaca-se a *Gluconacetobacter diazotrophicus* como uma das principais (BARBOSA et al. 2006), que pode contribuir para a elevada taxa de FBN na cultura e tolera condições de estresse como baixo pH e altas concentrações de sacarose, é considerada endófito obrigatória, por não ser isolada do solo e está presente na rizosfera, colmo, folhas e até na palhada de cana e recebe os nutrientes diretamente do vegetal, sem competir com os organismos do solo (REIS et al., 1999).

O avanço nos conhecimentos acerca do aproveitamento de cultivares de cana com relação à FBN pelas bactérias endofíticas foi importante a partir dos anos 80, utilizando

experimentos com isótopo ^{15}N (BODDEY et al., 2003). Alguns fatores são importantes ao processo, como o fornecimento de outros nutrientes essenciais, como molibdênio que participa da síntese da enzima nitrogenase que está presente nas bactérias diazotróficas, a disponibilidade hídrica, as características genéticas da planta e a presença de nitrogênio mineral (POLIDORO et al., 2001; BODDEY et al., 2003).

A FBN pode ser o principal fator responsável pelo balanço energético positivo na produção de combustíveis renováveis (REIS et al., 1999). A maioria dos solos das regiões tropicais, tanto os cultivados quanto os sob vegetação nativa, possuem baixa concentração de nitrogênio (HUNGRIA et al., 2007) mas, mesmo nestes solos, a FBN pode ser suficiente para proporcionar produções altas das culturas vegetais (REIS et al., 1999).

No Brasil, a FBN contribui com significativas quantidades deste elemento para a nutrição da cultura da cana-de-açúcar. A FBN pode tornar o balanço energético da cultura (atualmente de 9-12/1), bem mais positivo, além de reduzir sensivelmente os custos com a produção (URQUIAGA et al., 1998).

Há alguns métodos disponíveis na literatura que permitem avaliar a contribuição da FBN e têm proporcionado bons resultados nas estimativas. O primeiro é o balanço de N no sistema solo-planta, no qual todas as entradas e saídas, tais como o N do solo (inicial e final), da semente e da planta ao final do ciclo ou qualquer outra entrada, são quantificadas. O balanço é uma metodologia fácil de aplicar embora algumas perdas de N por volatilização sejam difíceis de controlar (REIS et al., 2010).

Outra técnica disponível é a técnica isotópica que é baseada na proporção entre os isótopos ^{15}N e ^{14}N . A diluição isotópica fundamenta-se na adubação do solo com fertilizante enriquecido com ^{15}N em proporção conhecida. Podem-se separar plantas que só obtêm nitrogênio do solo, e que tem enriquecimento em ^{15}N semelhante de plantas sabidamente não fixadoras, usadas como referência ao do solo, e plantas que obtêm N atmosférico, com diluição no enriquecimento em ^{15}N . Quanto maior a diluição, maior a quantidade de N obtido da atmosfera por fixação e maior a contribuição da FBN (XAVIER, 2006). A aplicação da técnica de diluição isotópica de ^{15}N depende da premissa básica de que as plantas fixadoras e referências absorvem nitrogênio do solo com a mesma marcação (XAVIER, 2006; REIS et al., 2010). Outra técnica ainda disponível é a abundância natural que se diferencia da diluição isotópica por não ser fundamentada no enriquecimento e sim no valor natural da planta e do solo (XAVIER, 2006).

Para o uso de ambas as técnicas faz-se necessária a utilização de planta referência que é uma espécie, variedade ou linhagem de crescimento e comportamento geral semelhante à

espécie objeto do estudo, se possível de mesma família e que não é fixadora, possibilitando assim, uma amostragem natural do enriquecimento do ^{15}N disponível no solo e não somente a amostragem direta do solo (XAVIER, 2006).

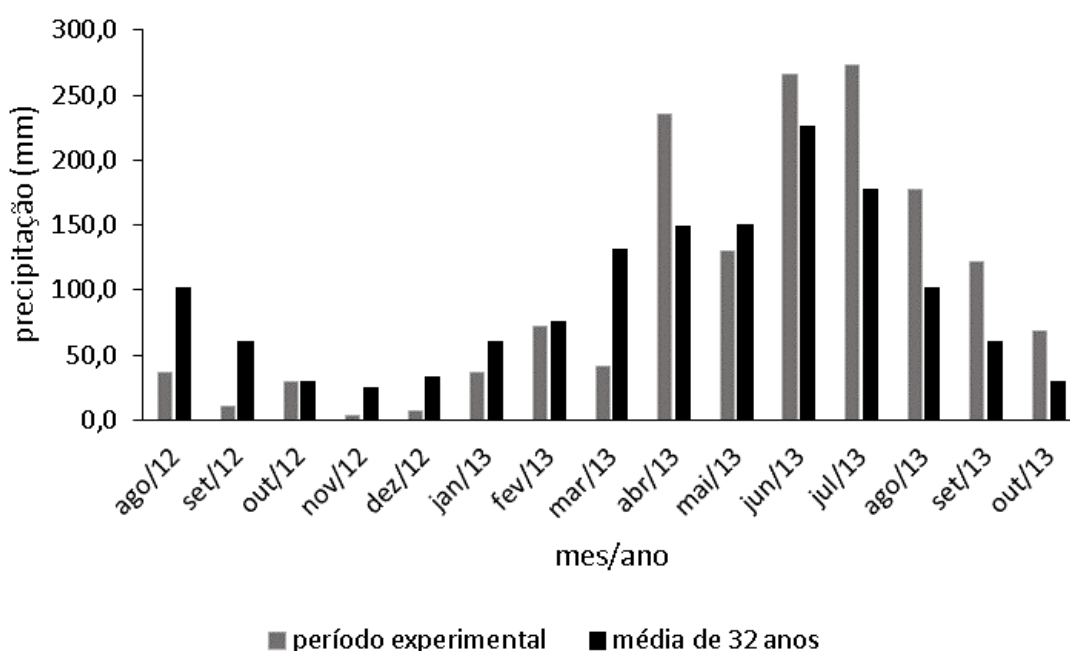
As variedades brasileiras de cana têm sido capazes de obter nitrogênio da fixação biológica, o que pode representar até $150 \text{ kg N ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ do N aproveitado pela planta (BODDEY et al., 1995), sendo importante sempre que possível utilizar estas variedades, reduzindo a necessidade de fertilizantes no cultivo (BODDEY et al., 1991).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Descrição da área de estudo e delineamento experimental

Um experimento em campo de cultivo das variedades de cana-de-açúcar foi conduzido 27 de julho de 2012 a outubro de 2013, na estação experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco-IPA em Itambé ($7^{\circ}24'50''\text{S}$ e $35^{\circ}06'30''\text{W}$ e altitude de 190 m). O município de Itambé tem clima As' (Köppen), tropical chuvoso (quente e úmido) com verão seco e pluviosidade média anual de 1.200 mm, concentrados principalmente entre março e julho (Figura 1).

Figura 1. Precipitação no período experimental e média de 32 anos, na estação experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco em Itambé, PE



A temperatura média anual é de 24,8°C, com máxima de 30°C e mínima de 20°C, umidade relativa do ar média de 80% (ENCARNAÇÃO, 1980), e solo predominante Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (FERREIRA et al., 2007). As características químicas do solo estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 Análises químicas do solo do campo experimental em profundidade coletado antes da calagem e adubação do experimento com cana-de-açúcar, no ano de 2012, na estação experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco em Itambé, PE

Camada	pH	P	Ca	Mg	Na	K	Al	H	S	CTC ¹	V ²	m ³	N
	(H ₂ O)	mg/dm ³	cmol _c dm ⁻³								%		
0-20*	5,3	3	0,18	0,60	0,07	0,18	0,20	5,80	3,6	9,4	38	11	0,36
20-40	4,6	2	1,50	0,55	0,02	0,09	0,90	7,35	2,2	10,4	21	29	0,31
40-60	4,7	1	0,80	0,45	0,02	0,05	1,25	1,72	1,3	4,3	31	49	0,28
60-80	4,7	1	0,70	0,70	0,02	0,04	1,30	6,86	1,5	9,6	15	47	0,16

¹ Capacidade de troca de cátions; ² saturação de bases; ³ Saturação por alumínio; ⁴ Textura franco arenosa; ⁵ Densidade aparente

*Textura franco arenosa e densidade aparente 1,37 g cm⁻³. (64% areia; 15% silte; 21%argila)

O delineamento experimental foi em blocos casualizados em arranjo fatorial (5 x 3), representados por cinco variedades de cana-de-açúcar (RB863129, RB92579, RB867515, RB931011 e RB962962) e três níveis de adubação nitrogenada (testemunha, 12 e 40 kg N ha⁻¹ na forma de ureia), com 4 blocos. As parcelas foram compostas de sete fileiras com 14 metros de comprimento e 1,0 m entre fileiras (98 m²), com área útil de cinco fileiras de 8 m (40 m²).

Foi realizada a calagem com 1 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico, 20 dias antes do plantio. A adubação foi realizada conforme análise de solo (Tabela 1), para fósforo na forma de supersimples (120 kg de P₂O₅ ha⁻¹) e para potássio na forma de cloreto de potássio (80 kg de K₂O ha⁻¹), conforme recomendação IPA (2008). O plantio foi realizado com rebolos-sementes, obedecendo a um padrão de 18 gemas por metro linear e espaçamento entre linhas de 1,0m. A colheita realizada 15 meses após o plantio.

Na fileira central de cada parcela, apenas nas parcelas com adubações de 12 Kg ha⁻¹, foi delimitada uma microparcela de 1 x 1,5 m (Figura 2), enterrando-se filmes plásticos de 0,2 mm de espessura (figura 3), colocados nas laterais até uma profundidade de 80 cm, para impedir o movimento lateral do fertilizante (SALCEDO & SAMPAIO, 1984). Nestas microparcelas, a adubação foi realizada com nitrato de amônio duplamente enriquecido a 5% de ¹⁵N. O restante

- a) Altura do colmo - medida do comprimento do colmo da superfície do solo a intercessão do limbo com a bainha da folha +1;
- b) Diâmetro médio do colmo - medido no terço central da planta a partir da base da planta, com auxílio de paquímetro digital;
- c) Número de plantas por metro – contagem direta do número de plantas na fileira central da parcela dividida pelo comprimento da fileira;

Nas extremidades das parcelas, 1m de cada fileira foi utilizado para coleta de amostras destrutivas (figura 2) compostas de 10 plantas de cada parcela aos 120, 180, 240, 300, 360 e 450 dias (colheita) após o plantio, que foram separadas em colmos, ponteiros e folhas e colocadas em estufa de circulação forçada por 72 horas a 65°C até obter massa constante, para obtenção da biomassa seca e, em seguida, determinação de suas frações e na colheita a concentração de N total, por destilação (BREMNER & MULVANEY, 1982).

Para determinação da produtividade agrícola, as plantas das cinco linhas centrais da área útil da parcela foram colhidas, pesadas e sub amostradas, enviadas à Usina Central Olho D'água, para determinar parâmetros industriais (FERNANDES et al., 2011) como tonelada de sacarose aparente no caldo por hectare de cana (TPH), tonelada de cana por hectare (TCH) percentual de sacarose aparente no caldo (PC), teor de fibra (matéria insolúvel em água na cana), grau brix (percentual de sólidos solúveis no caldo), pureza e açúcar total recuperável (ATR).

A percentagem do N derivado do fertilizante foi calculada usando a relação entre a percentagem de átomos em excesso de ^{15}N na planta e percentagem de ^{15}N em excesso do fertilizante conforme equação:

$$\%N_{ddf} = \frac{\% \text{ átomos } ^{15}\text{N} \text{ excesso na planta}}{\% \text{ átomos } ^{15}\text{N} \text{ excesso do fertilizante}} \times 100 \quad (1)$$

A quantidade de N derivada do fertilizante na planta foi calculada pelo produto entre o percentual derivado do fertilizante e a quantidade de N total, que por sua vez foi calculada pelo produto entre a quantidade de N absorvido por kg de matéria seca por hectare. A eficiência de recuperação de N do fertilizante foi calculada pela relação entre a quantidade de N proveniente do fertilizante na planta e a quantidade aplicada.

Os dados obtidos em campo foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade utilizando o assistat 7.7 – beta

3.3 Desenvolvimento de equação alométrica para estimar a biomassa de cana-de-açúcar

3.3.1 Elaboração das equações

Para a elaboração das equações alométricas, foram coletadas 10 plantas de cada parcela pertencentes ao ensaio de campo, em 1m nas extremidades das parcelas destinado a amostra destrutiva conforme figura 2, cortadas manualmente ao nível do solo e mensuradas isoladamente aos 180, 240, 300, 360, 450 (colheita) dias após o plantio. De cada planta foi medido o comprimento do colmo, medida do da superfície do solo a intercessão do limbo com a bainha da folha +1 e o diâmetro do colmo, no terço médio da planta. As plantas foram pesadas e fracionadas em colmos, ponteiros e folhas para quantificar a biomassa fresca. Essas frações foram pesadas e secas em estufa de circulação forçada por 72 horas à 65°C até peso constante para determinação da biomassa seca.

Foram ajustadas equações de regressão, desenvolvidas a partir de relações lineares e não lineares entre biomassa de planta inteira ou colmo e as variáveis independentes altura e diâmetro, levando em consideração cada variável isoladamente ou de forma combinada por multiplicação, conforme SAMPAIO & SILVA (2005). Para a elaboração de equação geral foram utilizados os dados das plantas nas cinco idades colhidas e das cinco variedades. Para equações específicas foram considerados os dados por cada variedade sem separação por idade.

3.3.2 Avaliação das equações alométricas

A avaliação dos modelos e a escolha priorizaram a precisão e simplicidade do modelo. Para avaliar a qualidade do ajuste e a precisão foram calculados o coeficiente de determinação (R^2), o erro padrão da variância ($S_{yx}\%$), a raiz quadrada da variância dos resíduos (Eq. 2) e o erro relativo da estimativa (Er), que consiste na relação entre a diferença absoluta das biomassas previstas e observadas em função da biomassa observada, expresso em percentagem.

$$S_{yx} \% = \sqrt{\frac{\sum(Y - \hat{Y})^2}{n-2}} \quad (2)$$

Onde: $S_{yx}\%$ representa o erro padrão da variância; Y – valor obtido da biomassa; $\hat{Y}$ a biomassa estimada; n o número de plantas amostradas.

Para a determinação do tamanho adequado das amostras foi utilizada a equação:

$$n = \frac{CV^2 t^2}{SE^2} \quad (3)$$

Onde: CV é o coeficiente de variação; t = valor de t para o grau de confiança desejado e grau de liberdade e SE é a margem de erro máximo de estimativa.

A estimativa de produtividade foi feita pela seguinte equação:

$$P = B \times NPM \times \frac{A}{esp} \quad (4)$$

Onde P é a produtividade em Mg ha⁻¹; B= biomassa em Mg obtida com uso da equação alométrica; NPM = número de plantas por metro linear; A = área em metro quadrado; esp = espaçamento em metro.

Para avaliar a semelhança de estimativa de biomassa pelo modelo geral e pelos modelos específicos, foram atribuídos valores fixos à variável independente e comparadas as curvas de biomassas estimadas.

Para verificar a adequação de equação alométrica geral em estimar o valor real de biomassa, ela foi utilizada para estimar a biomassa de um conjunto de dados independente. Para isso foram coletadas 38 plantas de área de produção comercial da estação experimental do Instituto Agronômico de Pernambuco Itambé-PE, cultivado com a variedade RB92579 aos 14 meses de idade, cortadas, mensuradas e pesadas do mesmo modo descrito anteriormente. Para avaliar o ajuste e a precisão foram utilizados o coeficiente de determinação (R²), o erro padrão da variância (Syx%) e o erro relativo da estimativa (Er).

3.4 Determinação da fixação biológica de nitrogênio de variedades de cana-de-açúcar cultivadas em Pernambuco

Um ensaio foi conduzido em casa de vegetação localizada na sede do Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA), em Recife, PE de maio a novembro de 2012. O delineamento foi em blocos casualizados com 13 tratamentos e quatro blocos. Os tratamentos consistiram em cinco variedades de cana-de-açúcar (RB867515, RB863129, RB92579, RB931011 e RB962962), e oito tipos de plantas testadas como possíveis referências: duas cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) um forrageiro cv. SF11 e outro granífero cv. IPA-1011; os capins colonião (*Panicum maximum*) cv. Mombaça, buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) e elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) cv. Venezuela; milho (*Zea mays* L.) cv. CMS 36; mamona (*Ricinus communis* L.) cv. Nordestina; e algodão (*Gossypium hirsutum* L. var. latifolium Hutch) cv. BRS 186.

Vasos foram envidados com 5 kg de solo, coletados da camada superficial (0 a 20cm) de um Latossolo vermelho amarelo distrófico (ENCARNAÇÃO, 1980), de classe textural franco arenosa (Tabela 2), da Estação Experimental do IPA de Araripina. A escolha desse solo foi baseada no seu elevado sinal de $\delta^{15}\text{N}$, cerca de 12‰, (SAMPAIO et al., 2010a), Todos os vasos receberam fertilização com PK com fósforo equivalente a 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (1,6 g kg⁻¹ solo), e de potássio, equivalente a 80 kg ha⁻¹ de K₂O (0,5g kg⁻¹ solo) de acordo com análise (Tabela 2) e recomendação para Pernambuco (IPA, 2008) e com molibdato de sódio, na proporção de 400 g ha⁻¹ (1,74 mg kg⁻¹ solo) em cobertura 7 e 3 dias após o plantio, respectivamente. Receberam também calcário dolomítico na proporção de 1 ton ha⁻¹ (1,8g kg⁻¹ solo) 17 dias antes do plantio. Durante todo o período do ensaio, o solo nos vasos foi levado a capacidade de campo com irrigação a cada dois dias.

O plantio das cultivares de cana-de-açúcar e do capim elefante foi feito utilizando rebolo-semente, sendo a cana em rebolo de uma gema cortada entre folhas +3 a +6, com ¼ dos entrenós superiores e inferiores. As demais espécies utilizadas no estudo foram plantadas por meio de sementes.

Para verificar a influência do molibdênio na fixação foram plantadas quatro variedades de cana-de-açúcar (RB867515, RB863129, RB92579 e RB962962), sem a aplicação de molibdênio, seguindo as mesmas condições experimentais.

Tabela 2 Análises químicas e físicas do solo utilizado em experimento de casa de vegetação na sede do Instituto Agrônomo de Pernambuco, de maio a novembro de 2012, em Recife-PE.

pH	P	N	Ca	Mg	Na	K	Al	H	S	CTC ¹	V ²	m ³	Classe textural	Dap ⁵
(H ₂ O)	mg/dm ³	g dm ³	cmol _c /dm ³							%		g/cm ³		
4,8	1	2,7	0,2	0,3	0,01	0,02	0,6	2,5	0,6	3,7	16	51	FA ⁴	1,46

A colheita das plantas foi realizada 180 dias após o plantio. As plantas foram secas em estufa de circulação forçada a 65°C por 72h até peso constante, pesadas e moídas. Uma sub-amostra de cada planta foi enviada ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA - USP) para determinação da abundância de ¹⁵N, com o auxílio de um espectrômetro de massas.

A FBN foi estimada pela técnica da abundância natural de ¹⁵N. Para o cálculo da contribuição percentual de N derivada da fixação de N atmosférico para as plantas (%Nd_f) foi utilizada a equação:

$$\%Nda = \left[\frac{\delta^{15}N \text{ planta referência} - \delta^{15}N \text{ planta fixadora}}{\delta^{15}N \text{ planta referência} - B} \right] \times 100$$

Onde B = 0

A quantidade total de N na planta derivada da FBN foi calculada pela multiplicação da %Nda pelo total de N acumulado pela planta.

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade utilizando o assistat 7.7 – beta

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação do acúmulo de biomassa e nitrogênio de variedades de cana-de-açúcar com diferentes níveis de adubação nitrogenada

4.1.1 Acúmulo de biomassa e desenvolvimento

Houve diferença de acúmulo de biomassa seca na colheita para colmo entre as variedades ($p < 0,05$) (Tabela 3) para o tratamento sem adubação, no entanto não apresentou diferença pelo teste de tukey. Nas demais frações da planta, as variedades não diferiram quanto à biomassa. Nos tratamentos com adubação nitrogenada, independentemente da quantidade aplicada, não houve diferenças entre as variedades com relação a biomassa da planta inteira e das frações. Em média, a biomassa das plantas foi distribuída em cerca de 66% no colmo, 19% nas folhas e 15% no ponteiro. Os valores médios de biomassa são maiores no tratamento testemunha do que nos tratamentos com fertilização de 40 kg N ha^{-1} para biomassa seca de colmo, folha e ponteiro, o que indica ausência de resposta à adubação nitrogenada quanto ao acúmulo de biomassa seca nas frações.

O maior acúmulo de biomassa aérea seca foi obtido no período entre os 300 dias e os 450 dias após o plantio, quando então ocorreu a colheita. Nesse período de 120 dias o acúmulo de biomassa foi equivalente a 70% da biomassa total colhida, independentemente dos níveis de adubação nitrogenada (Tabela 4). No nível de adubação de 12 kg N ha^{-1} , a variedade RB962962, aos 360 DAP, apresentava menor acúmulo, entretanto na colheita as cinco variedades apresentavam biomassas semelhantes. Com a aplicação de 40 kg N ha^{-1} , as variedades não diferiram estatisticamente ao longo do ciclo. Estes comportamentos da biomassa aérea são muito influenciados pelo acúmulo de biomassa no colmo e estão relacionados aos diferentes

desenvolvimentos iniciais das frações colmo e folha, associados ao déficit hídrico até os 180 dias.

Tabela 3. Biomassas secas em partes das plantas de cinco variedades de cana-de-açúcar na colheita final em primeiro ano de cultivo, de 2012 a 2013, com três níveis de adubação nitrogenada, em experimento em Itambé, PE.

NÍVEIS DE ADUBAÇÃO	VARIEDADE	FRAÇÕES		
		COLMO	FOLHA	PONTEIRO
----- Mg ha ⁻¹ -----				
0 kg N ha ⁻¹	RB863129	21,88 a	6,83 ab	4,50 a
	RB867515	22,18 a	5,91 b	5,36 a
	RB92579	33,79 a	9,85 a	6,07 a
	RB931011	21,51 a	6,41 ab	4,90 a
	RB962962	21,07 a	5,60 b	4,32 a
	Média	24,01*	6,92*	6,03 ^{ns}
	CV	23,87	22,32	20,73
12 kg N ha ⁻¹	RB863129	30,12 a	8,39 a	5,60 a
	RB867515	32,09 a	8,11 a	6,85 a
	RB92579	27,04 a	8,47 a	6,65 a
	RB931011	28,39 a	8,32 a	5,81 a
	RB962962	24,67 a	6,50 a	5,48 a
	Média	28,46 ^{ns}	7,96 ^{ns}	6,08 ^{ns}
	CV	27,09	25,21	27,78
40 kg N ha ⁻¹	RB863129	22,76 a	6,87 a	5,85 a
	RB867515	23,94 a	6,36 a	5,41 a
	RB92579	21,20 a	7,49 a	5,23 a
	RB931011	23,67 a	6,47 a	4,96 a
	RB962962	23,72 a	5,99 a	5,50 a
	Média	23,06 ^{ns}	6,63 ^{ns}	5,27 ^{ns}
	CV	27,91	29,10	26,52

Médias seguidas pela mesma letra na coluna para cada nível de adubação não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

^{ns} não significativo pelo teste F

* Significativo a 5% pelo teste F

Tabela 4. Acúmulo de biomassa secas aéreas das plantas de cinco variedades de cana-de-açúcar, em primeiro ano de cultivo, de 2012 a 2013, com três níveis de adubação nitrogenada, em experimento em Itambé, PE.

NÍVEIS DE ADUBAÇÃO	VARIEDADE	DIAS APÓS O PLANTIO					
		120	180	240	300	360	450
		----- Mg ha ⁻¹ -----					
0 kg N ha ⁻¹	RB863129	2,04 a	3,62 a	5,77 a	13,34 ab	18,47 b	33,22 ab
	RB867515	3,63 a	4,25 a	6,26 a	11,40 ab	23,33 b	33,45 ab
	RB92579	3,11 a	4,86 a	7,30 a	15,15 a	34,90 a	49,31 a
	RB931011	2,87 a	4,20 a	5,33 a	13,09 ab	22,23 b	32,82 ab
	RB962962	2,18 a	3,61 a	4,64 a	7,82 b	19,59 b	30,99 b
	Média	2,77 ^{ns}	4,11 ^{ns}	5,96 ^{ns}	12,16 *	23,70 **	35,96 *
	CV	32,34	25,12	28,60	23,40	20,93	22,04
12 kg N ha ⁻¹	RB863129	2,81 a	4,64 a	7,69 a	11,13 a	21,72 ab	44,11 a
	RB867515	3,97 a	6,21 a	8,38 a	13,57 a	28,03 a	47,05 a
	RB92579	3,11 a	4,89 a	5,50 a	10,85 a	23,12 ab	42,16 a
	RB931011	3,22 a	5,42 a	7,00 a	13,76 a	21,37 ab	42,53 a
	RB962962	2,58 a	3,66 a	5,70 a	10,04 a	16,98 b	36,65 a
	Média	3,14 ^{ns}	4,96 ^{ns}	6,85 ^{ns}	11,87 ^{ns}	22,24 *	42,50 ^{ns}
	CV	24,66	29,81	32,33	20,54	18,93	26,27
40 kg N ha ⁻¹	RB863129	3,04 a	3,26 a	5,48 a	11,14 a	23,75 a	34,88 a
	RB867515	3,31 a	4,48 a	6,17 a	12,60 a	23,36 a	35,71 a
	RB92579	3,10 a	3,72 a	5,35 a	9,76 a	22,09 a	33,92 a
	RB931011	3,14 a	3,71 a	5,90 a	11,30 a	21,89 a	35,10 a
	RB962962	2,68 a	4,26 a	4,84 a	10,72 a	27,04 a	35,21 a
	Média	3,06 ^{ns}	3,89 ^{ns}	5,55 ^{ns}	11,10 ^{ns}	23,63 ^{ns}	34,96 ^{ns}
	CV	33,95	25,92	31,85	30,05	27,59	26,60

Médias seguidas pela mesma letra na coluna para cada nível de adubação não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

^{ns} não significativo pelo teste F

* Significativo a 5% pelo teste F

O acúmulo de biomassa seca na parte aérea aos 450 DAP diferiu significativamente entre as variedades apenas nos tratamentos sem aplicação de adubação nitrogenada, com menor biomassa na RB962962 que na RB92579, isso ocorreu muito em função da biomassa de folhas para as quais houve diferença entre as variedades ($p < 0,01$), com maiores biomassas em RB92579, RB863129 e RB931011 e do colmo para a RB92579, já que a RB92579 apresenta em valores absolutos 9,8 Mg de matéria seca maior que a média das variedades o que influenciou na biomassa seca total da parte aérea.

A alocação de biomassa no colmo, excluindo ponteiro (Tabela 5), iniciou-se por volta dos 180 dias após o plantio (DAP), o que difere do observado por Oliveira et al. (2010a), em um ensaio irrigado, no qual a alocação no colmo iniciou-se aos 120 dias. Provavelmente, essa diferença pode ter ocorrido pela baixa precipitação ao longo dos primeiros seis meses após o plantio no presente estudo, que ficou 36% abaixo da média de 32 anos.

Na colheita, a média da biomassa de colmo entre todas as variedades foi de cerca de 25 Mg ha⁻¹, nos três níveis de adubação nitrogenada. Já Oliveira et al. (2010a), em condição irrigada, obtiveram diferença entre as variedades, dentre elas três também usadas nesta pesquisa. O maior acúmulo de biomassa de colmo aconteceu a partir dos 240 dias, com destaque ao período a partir de 360 dias, quando houve um acréscimo de cerca de 40% na biomassa total seca do colmo até a colheita. Esse comportamento também difere do que foi observado por Oliveira et al. (2010a), em condição irrigada, que registraram o aumento mais significativo entre 120 e 330 DAP.

Na colheita, apenas para o nível de nitrogênio testemunha houve diferença significativa, com menor altura das plantas nas variedades RB867515 que na RB92579 (Tabela 6). Quanto ao diâmetro, as variedades apresentaram o mesmo desenvolvimento, exceto a RB962962, com menor diâmetro ($p < 0,01$) nos tratamentos com nitrogênio. Um outro importante parâmetro relacionado à produtividade de biomassa é a capacidade de perfilhamento que não diferem entre as variedades na colheita, com média de oito plantas por metro. Esse resultado também difere do obtido por Oliveira et al. (2010a), que observaram maior perfilhamento na variedade RB92579, que três variedades em comum com esta pesquisa.

Tabela 5. Acúmulo de biomassa seca de colmo de cinco variedades de cana-de-açúcar, em primeiro ano de cultivo, de 2012 a 2013, com três níveis de adubação nitrogenada, em experimento de campo, em Itambé, PE

NÍVEIS DE ADUBAÇÃO	VARIEDADE	DIAS APÓS O PLANTIO				
		180	240	300	360	450
0 kg N ha ⁻¹		----- Mg ha ⁻¹ -----				
	RB863129	0,71 a	1,77 a	6,36 ab	10,97 b	21,88 a
	RB867515	0,77 a	2,03 a	5,76 ab	13,95 b	22,18 a
	RB92579	0,92 a	2,65 a	7,30 a	22,51 a	33,79 a
	RB931011	1,17 a	1,85 a	6,28ab	13,51 b	21,51 a
	RB962962	0,84 a	1,61 a	3,54 b	12,49 b	21,07 a
	Média	0,88 ns	1,98 ns	5,85 *	14,69 **	24,01 *
	CV	43,65	38,09	25,63	23,32	23,87
12 kg N ha ⁻¹	RB863129	1,17 a	3,04 a	5,47 a	13,66 ab	30,12 a
	RB867515	1,35 a	3,10 a	6,71 a	18,48 a	32,09 a
	RB92579	0,97 a	1,56 a	4,78 a	13,84 ab	27,04 a
	RB931011	1,40 a	2,53 a	6,37 a	13,52 ab	28,39 a
	RB962962	0,77 a	2,00 a	4,95 a	12,94 b	24,67 a
	Média	1,13 ns	2,45 ns	5,66 ns	14,48 *	28,46 ns
	CV	47,76	59,82	25,20	15,88	27,09
40 kg N ha ⁻¹	RB863129	0,54 a	6,36 ab	5,41 a	14,86 a	22,76 a
	RB867515	0,86 a	5,76 ab	6,19 a	14,72 a	23,94 a
	RB92579	0,67 a	7,30 a	4,28 a	13,55 a	21,20 a
	RB931011	0,81 a	6,25 ab	5,52 a	13,68 a	23,67 a
	RB962962	0,99 a	3,54 b	5,57 a	17,58 a	23,72 a
	Média	0,78 ns	5,85 *	5,39 ns	14,88 ns	23,06 ns
	CV	33,24	25,63	33,11	31,51	27,91

Médias seguidas pela mesma letra na coluna para cada nível de adubação não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

^{ns} não significativo pelo teste F

* Significativo a 5% pelo teste F

Tabela 6. Valores médios na colheita de altura, diâmetro e capacidade de perfilhamento de cinco variedades de cana-de-açúcar, em primeiro ano de cultivo, de 2012 a 2013, com três níveis de adubação nitrogenada, em experimento de campo, em Itambé, PE

NÍVEIS DE ADUBAÇÃO	VARIEDADE	ALTURA (cm)	DIÂMETRO (cm)	PERFILHAMENTO (planta m ⁻¹)
0 kg N ha ⁻¹	RB863129	271,78 ab	2,38 a	6,85 a
	RB867515	265,97 b	2,41 a	6,85 a
	RB92579	311,02 a	2,47 a	8,66 a
	RB931011	281,57 ab	2,35 a	6,85 a
	RB962962	298,56 ab	2,21 a	6,22 a
	Média	285,78 *	2,36 ^{ns}	7,08 ^{ns}
	CV	6,60	5,81	19,35
12 kg N ha ⁻¹	RB863129	260,74 a	2,31 a	8,31 a
	RB867515	266,31 a	2,82 a	8,88 a
	RB92579	280,72 a	2,24 a	9,97 a
	RB931011	285,49 a	2,21 ab	8,88 a
	RB962962	268,09 a	1,94 b	8,28 a
	Média	272,27 ^{ns}	2,18 **	8,86 ^{ns}
	CV	6,49	5,48	20,61 a
40 kg N ha ⁻¹	RB863129	270,56 a	2,32 a	7,85 a
	RB867515	274,13 a	2,36 a	7,19 a
	RB92579	285,47 a	2,30 ab	8,00 a
	RB931011	286,97 a	2,44 a	7,56 a
	RB962962	288,47 a	2,12 b	7,84 a
	Média	281,12 ^{ns}	2,31 **	7,69 *
	CV	6,48	2,81	24,00

Médias seguidas pela mesma letra na coluna para cada nível de adubação não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

ns não significativo pelo teste F

* Significativo a 5% pelo teste F

Do ponto de vista industrial (Tabela 7), a adubação nitrogenada não teve efeito significativo sobre a produção de colmo verde por hectare (TCH). Foram, entretanto, observadas diferenças entre variedades, com menores valores para RB867515 e RB931011, nas parcelas sem nitrogênio. A variedade RB92579 é considerada como referência frente às outras

variedades recentes desenvolvidas por programas de melhoramento, e destacou-se na produção de açúcar por hectare (TPH), nas parcelas sem aplicação de fertilizante, e não diferiu significativamente da RB867515 e da RB863129 com aplicação de 12 kg N ha⁻¹ e foi semelhante às demais com 40 kg N ha.

Tabela 7. Valores médios de TCH (tonelada de cana por hectare), TPH (tonelada de pol por hectare), percentual de sacarose aparente (PC), teor de fibra, pureza, teor de brix (percentual de sólidos solúveis em peso, de caldo) e ATR (açúcar total recuperável) de cinco variedades de cana-de-açúcar, em primeiro ano de cultivo, de 2012 a 2013, com três níveis de adubação nitrogenada, em experimento de campo, em Itambé, PE

NÍVEIS DE ADUBAÇÃO	VARIEDADE	TCH	TPH	FIBRA	PC	PUREZA	BRIX	ATR
		-----Mg ha ⁻¹ -----		-----%-----			°Brix	Kg t ⁻¹
0 kg N ha ⁻¹	RB863129	100,73ab	12,75 b	13,53 a	12,65 ab	82,72 ab	15,36ab	127,79ab
	RB867515	92,39 b	12,65 b	13,90 a	13,69 a	87,45 a	16,71 a	133,84a
	RB92579	120,93a	17,71 a	13,35 a	14,51a	87,03 a	17,54 a	141,86 a
	RB931011	87,80 b	11,56 b	14,59 a	13,21 a	83,68 a	16,34 a	132,15ab
	RB962962	104,21ab	11,21 b	13,54 a	10,69 b	75,05 b	12,96 b	115,32b
	Média	101,21**	13,18**	13,78ns	12,95**	83,19 **	15,78**	130,19**
	CV	10,34	16,52	5,80	7,46	4,58	8,26	5,38
12 kg N ha ⁻¹	RB863129	103,43 a	13,49 ab	13,87 a	13,12 b	81,84 b	16,02 b	132,86b
	RB867515	111,59 a	15,33 ab	13,67 a	13,86 ab	86,76 ab	16,48 b	135,98ab
	RB92579	104,03 a	16,33 a	14,27 a	15,67a	90,99 a	19,25 a	149,63 a
	RB931011	93,69a	12,41b	14,74 a	13,27b	82,50 ab	16,44b	133,53b
	RB962962	97,31a	9,23c	13,79 a	9,49c	71,09 c	11,56c	107,04c
	Média	102,01ns	13,36**	14,06ns	13,08**	82,64 **	16,02**	131,81**
	CV	12,03	10,15	4,63	6,53	4,57	6,23	5,29
40 kg N ha ⁻¹	RB863129	98,32a	11,00 a	13,83 a	11,13b	79,27 a	13,57b	116,14b
	RB867515	90,63a	12,60 a	13,62 a	13,96a	84,79 a	16,96 a	138,46 a
	RB92579	101,42a	13,48 a	14,27 a	13,21ab	83,81 a	16,26ab	132,08ab
	RB931011	92,27a	12,41 a	13,75 a	13,40ab	84,41 a	16,32ab	133,49ab
	RB962962	100,40a	11,10 a	13,73 a	11,21b	80,56 a	13,64b	115,87b
	Média	96,62 ns	12,12ns	13,84ns	12,58**	82,57 ns	15,35*	127,21**
	CV	10,12	14,41	4,72	8,64	13,86	9,26	6,99

Médias seguidas pela mesma letra na coluna para cada nível de adubação não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

^{ns} não significativo pelo teste F

* Significativo a 5% pelo teste F

Com relação aos demais parâmetros industriais no tratamento testemunha a RB962962 apresentou menores valores de sacarose no caldo (PC), pureza, brix e açúcar total recuperável (ATR), o mesmo acontecendo com aplicação de 12 kg N ha⁻¹. Com 40 kg N ha⁻¹ a RB92579 apresentou maior valor que a RB867515 e RB931011 quanto à PC, brix e ATR, não diferindo das demais variedades quanto a pureza. A quantidade de fibra não diferiu entre as variedades.

Os valores médios das variedades quanto aos parâmetros industriais exceto fibra são maiores no tratamento testemunha foram maiores do que nos tratamentos com fertilização de 40kg N ha⁻¹, não havendo resposta à adubação para estes parâmetros.

4.1.2 Acúmulo de nitrogênio

Não houve diferença entre as variedades com relação à alocação de N na planta (Tabela 8) e no colmo, que corresponde ao N que é exportado, Oliveira et al. (2010b) em condição irrigada, que relataram diferenças entre variedades, com destaque para a RB92579 em relação as RB867515 e RB863129. O acúmulo de N na parte aérea da planta obtido foi 22% abaixo do encontrado por Oliveira et al. (2010b) para a variedade RB867515, 14% para a RB92579 e 8% acima para a RB863129, em área irrigada. O N exportado no colmo representa cerca de 56% do disponível na biomassa aérea (118 kg n ha⁻¹) nesta pesquisa, próximo aos 50% obtidos por Franco et al. (2008) para SP31-3250.

A alocação de N no ponteiro e nas folhas não diferiu significativamente entre as variedades, com exceção da RB931011, com menos N nas folhas com aplicação de 40kg N ha⁻¹. Esse é um comportamento importante, já que o resíduo ou palhada remanescente no campo é composto das folhas e do ponteiro, e no presente estudo acumulou quase 50% do N da parte aérea, proporções semelhantes à obtida por Franco et al. (2008). A decomposição dos resíduos de folhas retornados ao solo pode disponibilizar N para as plantas a depender de fatores envolvidos neste processo (BASANTA et al.,2003) e ocorre lentamente (GAVA et al.,2003; VITTI et al.,2011).

Tabela 8. Acúmulo de nitrogênio nas partes da planta na colheita de cinco variedades de cana-de-açúcar, em primeiro ano de cultivo, de 2012 a 2013, com três níveis de adubação nitrogenada, em experimento de campo, em Itambé, PE

NÍVEL N	VARIEDADE	PLANTA	COLMO	FOLHA	PONTEIRO
----- kg N ha ⁻¹ -----					
0 kg N ha⁻¹	RB863129	172,78 a	89,30 a	46,06 a	37,42 a
	RB867515	165,43 a	88,68 a	33,15 a	43,66 a
	RB92579	217,52 a	113,70 a	54,56 a	49,25 a
	RB931011	199,89 a	118,34 a	40,27 a	41,28 a
	RB962962	163,68 a	89,84 a	36,14 a	37,69 a
	Média	183,86 ^{ns}	99,97 ^{ns}	42,04 ^{ns}	41,85 ^{ns}
	CV	24,75	30,16	27,40	35,95
12 kg N ha⁻¹	RB863129	262,15 a	145,95 a	70,47 a	45,73 a
	RB867515	200,03 a	108,99 a	54,49 a	36,55 a
	RB92579	270,04 a	147,69 a	61,08 a	61,26 a
	RB931011	219,08 a	116,30 a	57,29 a	45,49 a
	RB962962	198,03 a	110,79 a	45,18 a	42,96 a
	Média	230,05 ^{ns}	125,94 ^{ns}	57,70 ^{ns}	46,40 ^{ns}
	CV	27,45	33,83	36,29	29,74
40 kg N ha⁻¹	RB863129	206,06 a	118,05 a	46,52 a	41,49 a
	RB867515	192,59 a	109,74 a	36,71ab	46,14 a
	RB92579	188,21 a	94,29 a	48,10 a	45,81 a
	RB931011	165,16 a	99,65 a	26,02b	39,49 a
	RB962962	185,09 a	102,16 a	31,90ab	51,03 a
	Média	187,42 ^{ns}	104,78 ^{ns}	37,85**	44,79 ^{ns}
	CV	27,37	35,69	19,29	27,73

Médias seguidas pela mesma letra na coluna para cada nível de adubação não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

^{ns} não significativo pelo teste F

* Significativo a 5% pelo teste F

4.1.3 Recuperação do N do fertilizante

A recuperação média do fertilizante foi de 21%, sem diferenças significativas entre variedades. Essa recuperação foi menor que os 55% obtidos por Vitti et al. (2007), 31% (FORTES et al., 2011) e cerca de 30% por Franco (2008), e ficou dentro da variação de 15 a 42% observada por Oliveira et al. (2011), em diferentes variedades. A menor recuperação no presente estudo pode ser resultado de diversos fatores, como a pouca umidade nos seis primeiros meses de cultivo, a pequena quantidade de fertilizante aplicado nas parcelas (12 kg N ha⁻¹), imobilização do N (BASANTA et al., 2003) e perdas por volatilização de NH₃, que pode atingir até 46% (VITTI et al., 2007) ou por lixiviação depois de iniciadas as chuvas (FRANCO et al., 2008).

A proporção média do N da planta que foi proveniente do fertilizante foi de 2,1%, o que representou em média 2,5 kg ha⁻¹ muito abaixo dos 39,9 kg N ha⁻¹ registrados por Oliveira et al., (2000) e dos 24,7 kg ha⁻¹ e 22 kg ha⁻¹ observados por FORTES et al. (2011) e FRANCO et al. (2008), respectivamente, mas que corrobora outros estudos que observaram pequenas contribuições do total do N absorvido em cana planta proveniente do fertilizante (SAMPAIO et al., 1984; SALCEDO & SAMPAIO, 1987; TRIVELIN et al., 2002; GAVA et al., 2003; VITTI et al., 2011).

Alguns fatores podem ter contribuído para esta pequena contribuição do fertilizante, como por exemplo a mineralização do N do solo (SALCEDO et al. 1985; SALCEDO & SAMPAIO et al., 1987), que pode atender consideravelmente a demanda da planta e as perdas do nutriente adicionado como fertilizante, o que pode ter limitado sua absorção (SALCEDO & SAMPAIO, 1984).

4.2 Equações alométrica para estimar a biomassa de cana-de-açúcar

4.2.1 Variação dos dados obtidos

As equações gerais foram desenvolvidas a partir dos dados de 2476 plantas. Para essa população amostral, os valores de altura variaram de 25 a 350 cm, com média de 160,5cm e os diâmetros de 1,11 a 3,83cm com média de 2,3cm. As variáveis dependentes biomassa fresca de planta inteira, biomassa fresca de colmo, biomassa seca de planta e biomassa seca de colmo, situaram-se nos intervalos de 0 a 1900 g, 0 a 1400 g, 0 a 600 g e 0 a 400 g, respectivamente.

4.2.2 Equações gerais

As equações gerais mostraram bons ajustes, indicando que podem ser ferramentas úteis e robustas para auxiliar em pesquisas e no manejo da cana-de-açúcar. Para a estimativa da biomassa fresca de toda parte aérea da planta, 96% ($R^2=0,96$; $p<0,01$) da variação foi explicada com o uso da variável composta pela multiplicação entre altura e diâmetro ($A \times D$) (Figura 4A). De forma semelhante, a estimativa da biomassa fresca de colmo apresentou bom ajuste com o uso das variáveis altura e diâmetro (Figura 4B), com coeficiente de determinação de 0,97 ($p>0,01$). No caso das estimativas de biomassa seca de planta (Figura 5A) e de colmo (Figura 5B), os coeficientes de determinação foram menores 0,94 e 0,90, respectivamente, mas ainda assim altos.

Figura 4. Equação alométrica geral para estimativa não-destrutiva da biomassa fresca de plantas inteiras de cana-de-açúcar (A) e do colmo da planta (B) e respectivos erros relativos da estimativa (Er), erros padrão da variância (Syx%) e coeficiente de determinação (R^2) significativos a 5% pelo teste t, a partir de medidas da altura e do diâmetro das plantas de cinco variedades de cana-de-açúcar em cinco datas no primeiro ano de cultivo, obtida em experimento de campo, em Itambé, PE, no período de 2012 a 2013.

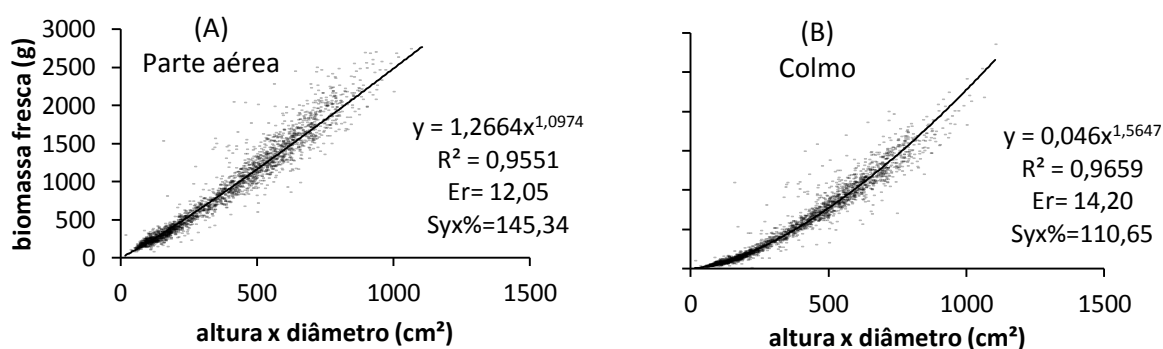
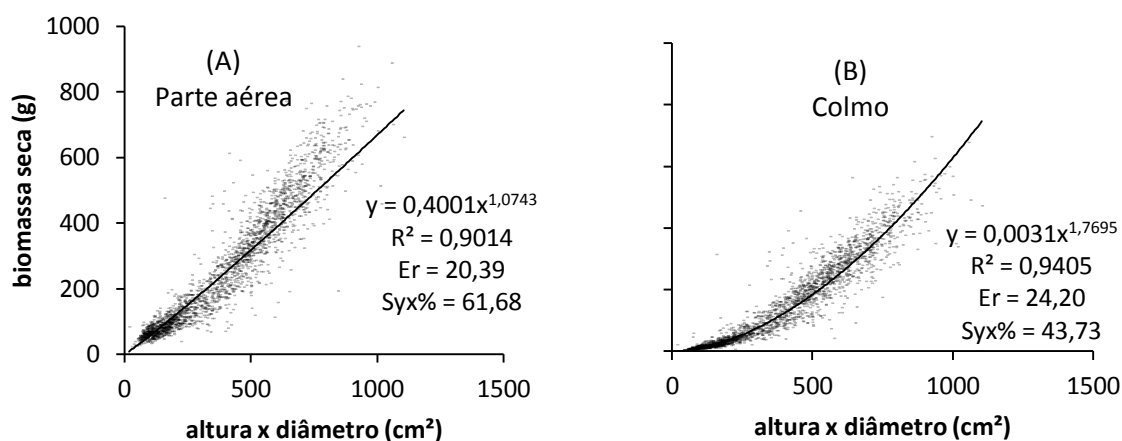


Figura 5. Equação alométrica geral para estimativa não-destrutiva da biomassa seca de plantas inteiras de cana-de-açúcar (A) e do colmo da planta (B) e respectivos erros relativos da estimativa (Er), erros padrão da variância (Syx%) e coeficiente de determinação (R^2) significativos a 5% pelo teste t, a partir de medidas da altura e do diâmetro das plantas de cinco variedades de cana-de-açúcar em cinco datas no primeiro ano de cultivo, obtida em experimento de campo, em Itambé, PE, no período de 2012 a 2013



Os erros relativos nas equações gerais variaram de 12% a 24%, com destaque para o modelo para estimativa de biomassa fresca de planta, que mais se aproxima de zero, que é a condição ideal para utilização do modelo na prática (TURSKI et al., 2008). Os erros-padrão da estimativa (Syx%) dos modelos variaram de 44 a 145, o que indica elevada variação. Isso pode ser explicado pelo fato dos dados utilizados para elaboração dos modelos terem sido obtidos de cinco idades e variedades diferentes, com destaque para o modelo para estimativa de colmo seco que além de apresentar coeficiente de determinação de 0,94, apresentou um Syx% menor que os outros modelos (44%).

As equações ajustaram-se bem aos dados (figuras 5 e 6), o que também foi obtido por BRIANEZI et al. (2013) trabalhando com palmeiras, eles atribuíram este comportamento a conformação anatômica das plantas, que se caracterizam por apresentar estipe único e uniforme em toda a sua extensão. De certa forma acontece o mesmo com a cana-de-açúcar que tem pequenas variações na altura e no diâmetro nas variedades mais produtivas, o que justifica os melhores ajustes quando considerado o diâmetro nas equações, principalmente em relação à biomassa de colmo fresco e biomassa aérea fresca.

As equações gerais permitiram estimativa de produtividade utilizando a equação (3) próxima a obtida experimentalmente (Tabela 9), com destaque para as estimativas realizadas aos 360 dias após o plantio para todas as biomassas e aos 300 e 450 dias para biomassas frescas

de parte aérea e colmo, o que indica que as equações são úteis para estimativa de produtividade. A maior precisão obtida da equação para estimativa de biomassa fresca, principalmente de colmo, reproduz a importância da umidade na conformação da planta, sobretudo no diâmetro da cana. Aos 360 dias, a biomassa de colmo já representava cerca de 70% da biomassa total e aos 450 DAP pouco menos de 80% da biomassa fresca total da planta.

Tabela 9. Produtividades de biomassas fresca e seca de parte aérea da planta e de colmo estimadas pelas respectivas equações e obtidas em primeiro ano de cultivo, de 2012 a 2013, com três níveis de adubação nitrogenada, em experimento de campo, em Itambé, PE

DAP ¹	Biomassa		Produtividade (Mg ha ⁻¹)		Er ² (%)
			Obtida	Estimada	
300	Colmo	Fresca	34,8	35,3	1,4
		Seca	6,4	8,0	25,0
	Parte aérea	Fresca	59,9	61,3	2,3
		Seca	13,5	16,9	25,2
360	Colmo	Fresca	68,5	66,0	3,6
		Seca	17,2	16,2	5,8
	Parte aérea	Fresca	99,6	96,1	3,5
		Seca	27,2	26,3	3,3
450	Colmo	Fresca	94,5	93,9	0,6
		Seca	25,6	24,1	5,9
	Parte aérea	Fresca	127	123,6	2,7
		Seca	38,5	33,6	12,7

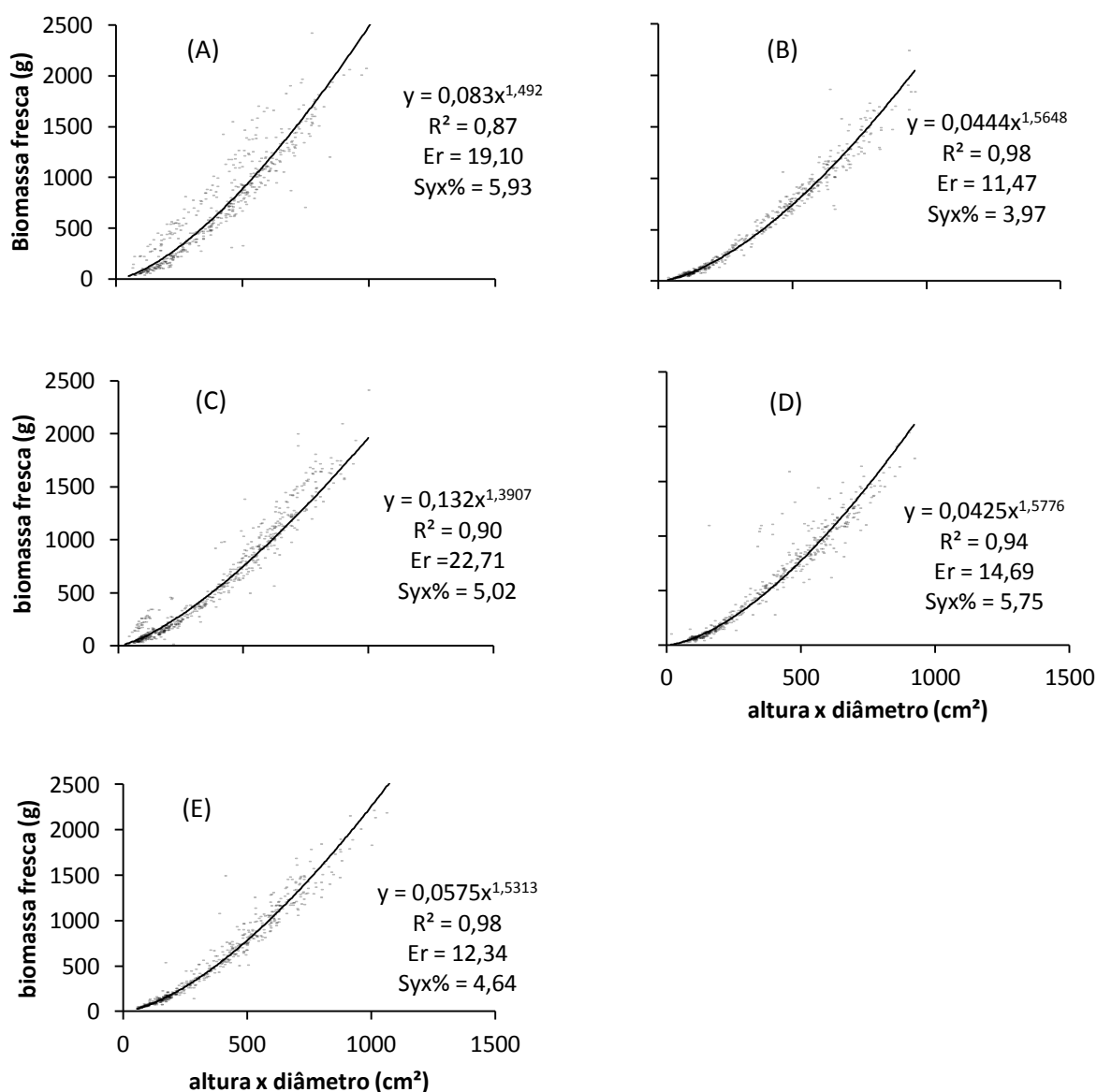
¹ dias após o plantio; ² erro relativo

O tamanho da amostra adequado para utilização dos modelos gerais, para atingir 20% de precisão nas estimativas, seria de 67 plantas para biomassa verde de colmo, 54 para biomassa seca de planta inteira, 49 para biomassa verde de planta e 86 para biomassa seca de colmo.

4.2.2 Equações por variedade

Os melhores modelos para estimativa da biomassa fresca de colmo das variedades foram obtidos para RB92579 e RB962962, sendo a variável $A \times D$ responsável pela explicação de 98% da variação (Figura 6), seguidos de RB931011 (94%), RB867515 (90%) e RB863129 (87%).

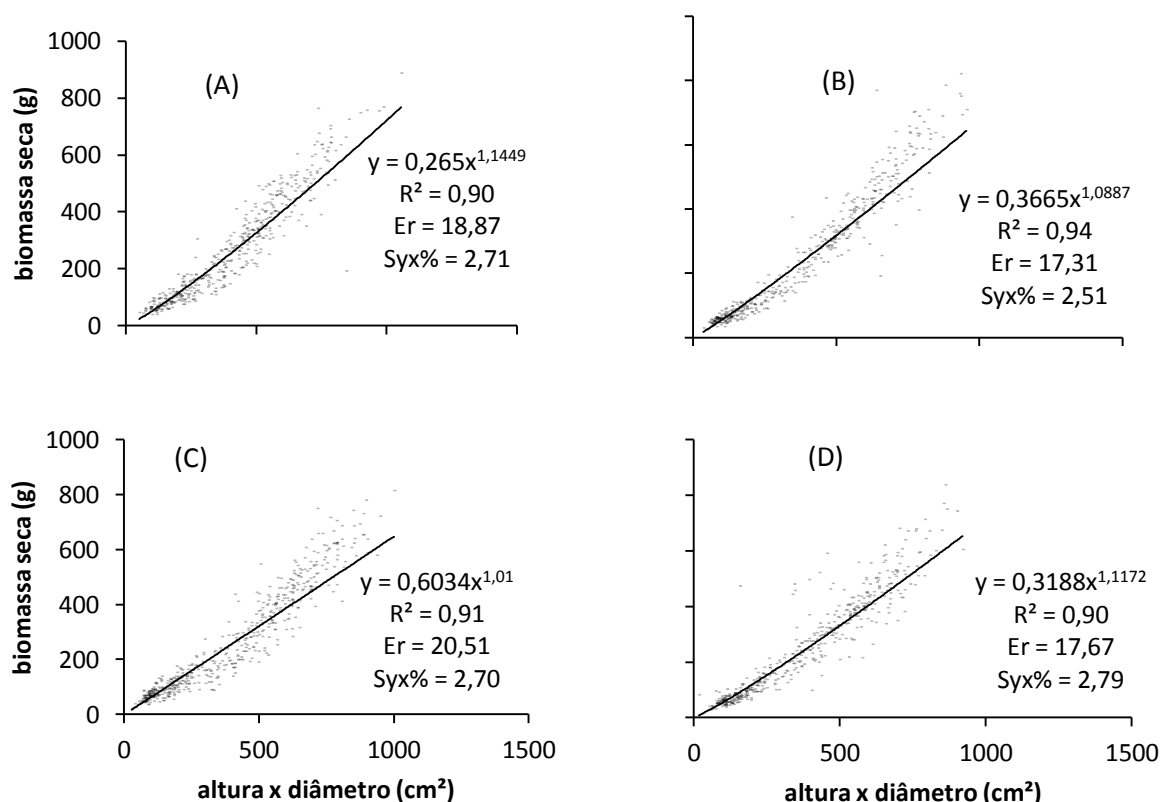
Figura 6. Equação alométrica para estimativa não-destrutiva da biomassa fresca de colmo das variedades RB863129 (A), RB92579 (B), RB867515 (C), RB931011 (D) e RB962962 (E) e respectivos erros relativos da estimativa (Er) e erros padrão da variância (Syx%) e coeficientes de determinação significativos a 5% pelo teste t, a partir de medidas da altura e do diâmetro das plantas por variedade de cana-de-açúcar em cinco datas no primeiro ano de cultivo, obtida em experimento de campo, em Itambé, PE, no período de 2012 a 2013

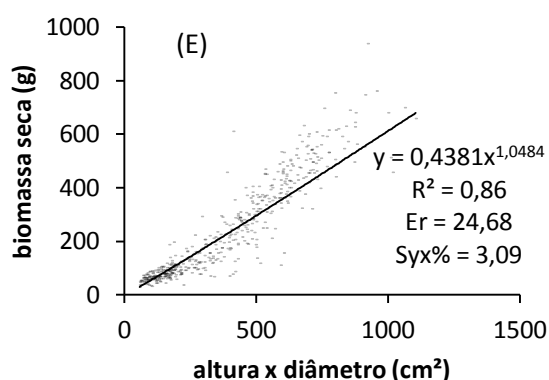


Os modelos apresentaram reduzidos erros da variância de 3,97 a 5,93, indicando bom ajuste do modelo e os erros relativos variaram de 11,47 a 19,10, com destaque para a variedade RB92579, com menor erro relativo.

Para biomassa aérea seca da planta (BSP), o modelo mais ajustado desenvolvido de forma individualizada por variedade foi obtido para a RB92579 (Figura 7), com coeficiente de determinação de 94 %, seguido de RB867515 (0,91), RB931011 (0,90), RB863129 (0,90), e RB962962 (0,86). Os modelos apresentaram reduzidos erros da variância, variando de 2,5 a 3,1, indicando bom ajuste e os erros relativos variaram de 17,3 a 24,7, com destaque para a variedade RB92579, com erro relativo de 17,3%.

Figura 7. Equação alométrica para estimativa não-destrutiva da biomassa seca de planta inteira das variedades RB863129 (A), RB92579 (B), RB867515 (C), RB931011 (D) e RB962962 (E) e respectivos erros relativos da estimativa (Er) e erros padrão da variância (Syx%) e coeficientes de determinação significativos a 5% pelo teste t, a partir de medidas da altura e do diâmetro das plantas por variedade de cana-de-açúcar em cinco datas no primeiro ano de cultivo, obtida em experimento de campo, em Itambé, PE, no período de 2012 a 2013.





Para biomassa fresca de planta da variedade RB92579, a AxD já foi responsável por 98% da variação e apresentou baixo erro-padrão da estimativa (Syx% de 5,2%) e erro relativo médio (10,1%), o que demonstra bom ajuste (Tabela 11). Seguiram-se RB867515, com coeficientes de determinação de 0,96, RB863129 com 0,95, RB962962 com 0,95, e RB931011 com 0,94, com erros-padrão da estimativa (Syx%) variando de 5,2 para RB92579 a 7,3 para RB931011, e erros relativos médios de 10,1 para RB92579 a 12,9 para RB962962.

Dos modelos ajustados para estimativa de biomassa aérea seca de colmo de forma individualizada por variedade (Tabela 10), o melhor modelo foi obtido para a variedade RB92579, com a AxD responsável por 97 % da variação, seguido de RB863129 (95%), de RB867515 e RB962962, com 94%, e RB931011 com 92%. Os modelos apresentaram erros de variância entre 1,6 e 2,2 e erro relativo variando de 19,9 a 26,3.

Tabela 10. Equações alométricas para estimativa não-destrutiva de biomassa fresca de parte aérea da planta e de biomassa seca de colmo de cana-de-açúcar e respectivos erros relativos da estimativa (Er), erros padrão da variância (Syx%) e coeficientes de determinação significativos a 5% pelo teste t, a partir de medidas da altura e do diâmetro de cinco variedades de cana-de-açúcar, em primeiro ano de cultivo, de 2012 a 2013, com três níveis de adubação nitrogenada, em experimento de campo, em Itambé, PE.

	Amostra	Equação	R ²	Er	Syx%
Biomassa aérea fresca de planta	RB863129	$Y=1,0267 \times AxD^{1,1408}$	0,95	11,80	6,30
	RB92579	$Y=1,0935 \times AxD^{1,1154}$	0,98	10,14	5,25
	RB867515	$Y=1,6335 \times AxD^{1,0553}$	0,96	12,05	6,25
	RB931011	$Y=1,1616 \times AxD^{1,1114}$	0,94	11,50	7,29
	RB962962	$Y=1,4455 \times AxD^{1,0744}$	0,95	12,87	6,65
Biomassa aérea seca de colmo	RB863129	$Y=0,0011 \times AxD^{1,9424}$	0,95	22,43	1,84
	RB92579	$Y=0,0031 \times AxD^{1,765}$	0,97	19,90	1,61
	RB867515	$Y=0,0041 \times AxD^{1,719}$	0,94	24,88	1,77
	RB931011	$Y=0,0033 \times AxD^{1,7697}$	0,92	24,61	2,16
	RB962962	$Y=0,0038 \times AxD^{1,7301}$	0,94	26,27	2,10

Coeficientes de determinação significativos a 5% pelo teste t

Os modelos gerais de estimativa de biomassa e os específicos para diferentes variedades quase que se sobrepõem para a maioria dos dados observados (Figuras 8 a 11), ou ficaram dentro do intervalo do erro padrão aplicado ao modelo geral, o que pode ser atribuído às semelhanças na arquitetura das plantas e propriedades alométricas (KAONGA & BAYLISS-SMITH, 2010). Houve superestimativa nos valores de biomassa fresca de colmo dos modelos específicos para valores de cerca de 400 de AxD da variedade RB863129, e subestimativas para os mesmos valores nas estimativas para a RB867515. Para biomassa seca de colmo, houve superestimativa do modelo específico para a variedade RB863129 em relação ao valor obtido pelo modelo geral.

Figura 10. Biomassa fresca de plantas de cana-de-açúcar estimada por uma equação geral e por cinco equações específicas para cada variedade a partir de valores fixos atribuídos à variável independente altura x diâmetro (AxD). Erro padrão aplicado ao modelo geral.

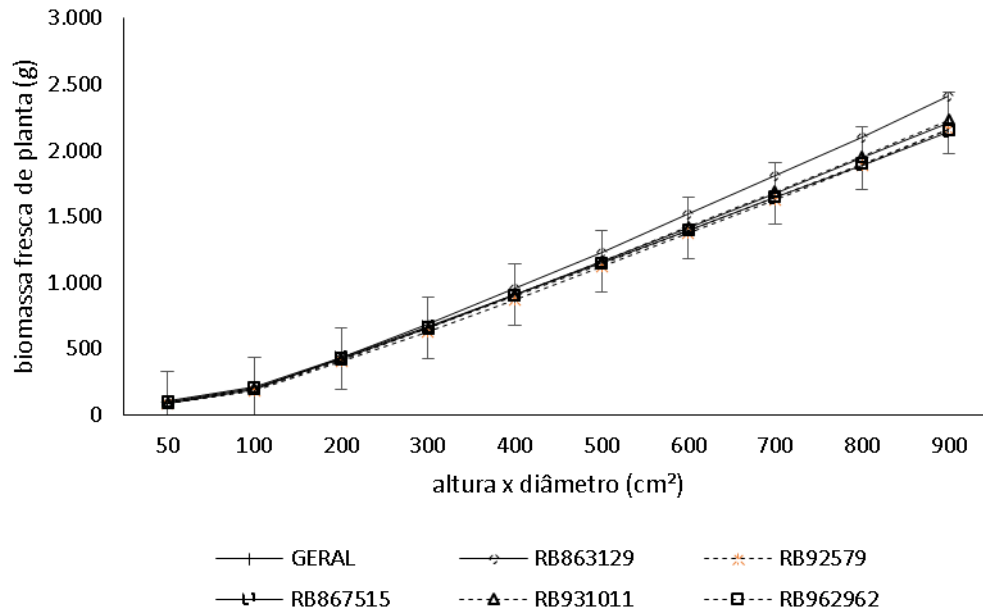
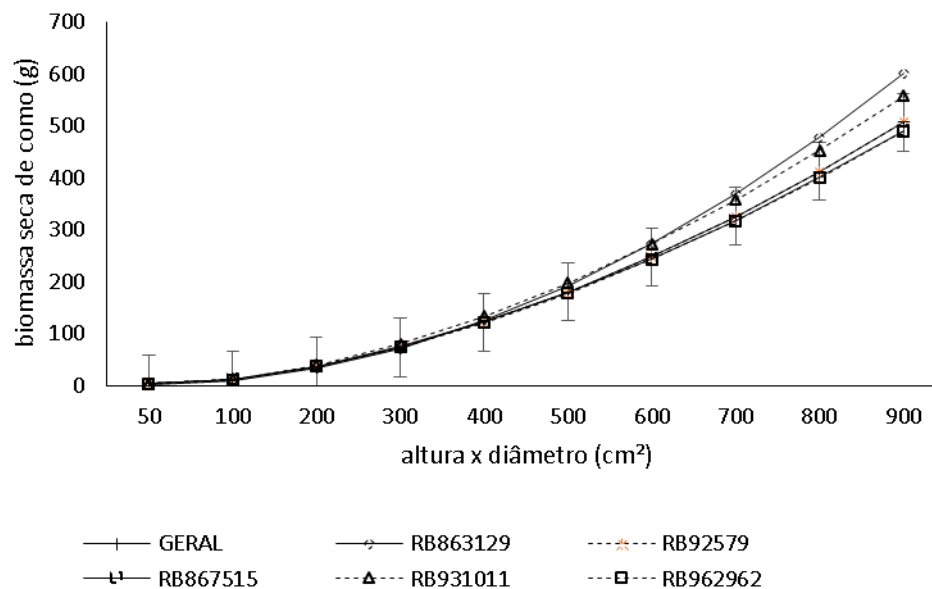


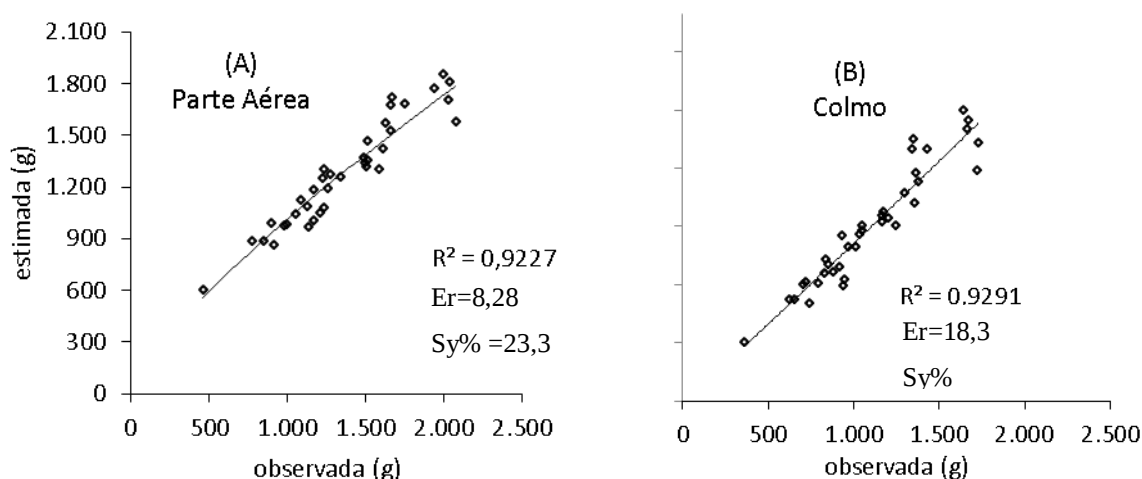
Figura 11. Biomassa seca de colmos de plantas de cana-de-açúcar estimada por uma equação geral e por equações específicas para cinco variedades a partir de valores fixos atribuídos à variável independente altura x diâmetro (AxD). Erro padrão aplicado ao modelo geral.



4.2.3 Verificação das equações gerais

Na verificação da adequação das equações alométricas gerais, os valores da amostra independente foram estreitamente relacionados com os previstos pelas equações alométricas para biomassa fresca de planta e colmo (Figura 12), com coeficientes de determinação de 0,92 em ambos os casos. A partir dos parâmetros de precisão e acurácia utilizados, o modelo que apresentou melhor adequação foi o modelo geral para estimativa de biomassa fresca de planta inteira, com menores valores de erro relativo e erro padrão da estimativa ($Er=8,28$; $Sy\%=23,36$). Isto indica a possibilidade de uso da equação geral a dados obtidos em locais diferentes, mas pode depender das características ambientais destes locais, que, nesta validação eram semelhantes às do experimento a partir do qual foram elaboradas as equações alométricas

Figura 12. Relação entre as biomassas fresca de planta (A) e de colmo (B) estimadas e as obtidas das plantas de cana-de-açúcar com 14 meses, da variedade RB92579, obtida em área comercial não irrigada da estação experimental em Itambé, PE em 2014 e as estimadas pelas respectivas equações gerais e respectivos erros relativos da estimativa (Er) e erros padrão da variância ($Sy\%$) e coeficientes de determinação.



4.3 Fixação biológica de nitrogênio em variedades de cana-de-açúcar

As variedades de cana não diferiram significativamente quanto ao acúmulo de N, que foi relativamente pequeno e significativamente menor que as de algumas das plantas de referência (Tabela 11). As pequenas quantidades de N nas variedades de cana-de-açúcar refletem a reduzida disponibilidade do nutriente no solo e as baixas contribuições da fixação simbiótica.

Tabela 11. Biomassa, concentração e acúmulo de nitrogênio por planta e $\delta^{15}\text{N}$ de cinco variedades de cana-de-açúcar e plantas referências cultivadas em experimento de casa de vegetação por 180 dias, de maio a novembro de 2012, em Recife-PE

PLANTA	MS (g)	N (mg g ⁻¹)	N (mg)	$\delta^{15}\text{N}$
Cana variedade RB863129	35,15 abc	3,39 f	117,77 de	8,00 bcd
Cana variedade RB962962	40,90 a	3,25 f	132,00 bcde	7,64 bcde
Cana variedade RB92579	35,65 abc	3,51 f	125,65 cde	8,33 abc
Cana variedade RB931011	38,31 ab	3,66 f	140,58 bcde	7,62 bcde
Cana variedade RB867515	27,65 bcd	3,27 f	90,34 ef	7,39 cde
<i>Zea mays</i> L. cv. CMS 36	19,58 de	9,32 bc	180,06 abc	7,12 cde
<i>Sorghum bicolor</i> L. Moench cv. IPA-1011	20,06 de	7,37 cde	147,42 bcd	6,32 e
<i>Sorghum bicolor</i> L. Moench cv. SF11	23,37 de	6,89 de	159,17 bcd	6,91 de
<i>Panicum maximum</i> cv. Mombaça	13,31 e	4,09 f	54,16 f	7,26 cde
<i>Cenchrus ciliaris</i> L. v. Grass	15,15 e	7,47 cd	113,18 de	8,12 abcd
<i>Pennisetum purpureum</i> Schum. cv. Venezuela	35,40 abc	4,99 ef	175,35 abc	8,42 abc
<i>Ricinus communis</i> L. cv. Nordestina	11,60 e	11,61 ab	133,30 bcde	8,93 ab
<i>Gossypium hirsutum</i> L cv. BRS 186	17,01 de	12,95ab	217,01 a	9,43 a
CV	19,34	15,40		7,13

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

^{ns} não significativo pelo teste F

* Significativo a 5% pelo teste F

Além das baixas proporções de N das plantas, as quantidades absorvidas pelas plantas também foram pequenas nas canas, da mesma ordem de grandeza ou até menores que as das plantas de referências, incluindo as gramíneas de ciclo curto (milho e sorgo). É possível que o menor crescimento inicial das canas e dos capins colômbio e buffel seja responsável por estas baixas quantidades. As concentrações de N das canas também foram baixas, o que pode ter ocorrido pela pequena absorção de N no início do crescimento, com a fixação só tendo se

firmado depois de algum tempo de crescidas. Se for o caso, a fixação poderia aumentar com mais tempo de cultivo.

A diferença entre o $\delta^{15}\text{N}$ das duas espécies referência (mamona e algodão) foi pequena mas afeta os cálculos das fixações porque os sinais das canas não foram muito mais baixos. Esta diferença pode ser atribuída às formas de N absorvido (BEDARD-HAUGHN et al., 2003), já que não deve ter ocorrido grandes diferenças na exploração do solo pelas raízes das plantas, limitadas pelo volume do vaso e não deve ter havido grandes diferenças no sinal de N mineralizado no solo, ao longo do experimento, já que vem do grande reservatório do solo com sinal integrado.

A fixação nas variedades de cana ultrapassou pouco os 20% do N das plantas (Tabela 12), com destaque para RB867515, RB931011 e RB962962. Essa proporção do N das plantas é inferior às de 32% obtidas por Polidoro et al. (2001), 33% por YONEYAMA et al. (1997) e cerca de 40% por URQUIAGA et al. (2003).

Tabela 12. Fixação biológica de nitrogênio de cinco variedades de cana-de açúcar e seis gramíneas cultivadas por 180 dias em experimento de casa de vegetação na sede do Instituto Agrônomo de Pernambuco em Recife-PE, utilizando a *Ricinus communis* L. cv. Nordestina e *Gossypium hirsutum* L. cv. BRS 186 como plantas referência.

VARIEDADE	FIXAÇÃO (%)	
	<i>Ricinus communis</i> L. cv. Nordestina	<i>Gossypium hirsutum</i> L. cv. BRS 186
RB863129	10,41 bc	15,16 cde
RB867515	17,24 abc	21,63 bcd
RB92579	6,71 bc	11,66 e
RB931011	14,67 abc	19,19 bcde
RB962962	14,44 abc	18,98 bcde
(<i>Zea mays</i> L. cv. CMS 36	20,27 abc	24,49 ab
<i>Sorghum bicolor</i> L. Moench cv. IPA-1011	29,22 a	32,97 a
<i>Sorghum bicolor</i> L. Moench cv. SF11	22,62 ab	26,72 ab
<i>Panicum maximum</i> cv. Mombaça	18,70 abc	23,01 bc
<i>Cenchrus ciliaris</i> L. v. Grass	9,07 bc	13,89 de
<i>Pennisetum purpureum</i> Schum. cv. Venezuela	5,71 c	10,71 e
CV	44,17	32,19

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si na coluna, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Os comportamentos foram semelhantes à fixação do sorgo cv. IPA-1011, que teve FBN de 29,0%. As variedades de cana não diferiram significativamente quanto à FBN comparadas ao sorgo cv. SF11, ao milho e ao capim colônia, que apresentaram valores de 22,3, 20,0 e 18,4% de fixação respectivamente, utilizando como referência a mamona. Utilizando o algodão como referência, o comportamento é semelhante entre as variedades RB867515, RB931011 e RB962962 e o sorgo (cv. SF11), o milho e o capim colônia, porém, diferentes ($p < 0,01$) em relação sorgo cv IPA-1011, que foi a planta com maior FBN.

Das gramíneas utilizadas como possíveis referências, as duas cultivares de sorgo, o capim *P. maximum*) e o milho CMS 36 tiveram valores de $\delta^{15}\text{N}$ não só significativamente mais baixos que o algodão e da mamona, mas até inferiores, em valores absolutos aos das variedades de cana. Portanto, não podem ser usados como referência e parecem estar fixando simbioticamente, corroborando os resultados de Resende et al. (2003) que reportaram FBN em gramíneas e Moraes et al. (2012) que estimaram em *Pennisetum purpureum* Schum valores de FBN entre 36 e 132 kg N ha⁻¹ano⁻¹. Os resultados do presente estudo confirmam o potencial de FBN destas espécies, que deve ser explorado no intuito de obter cultivos mais sustentáveis e de menor custo.

O sorgo e o milho foram utilizados como espécies de referência por alguns autores (CANUTO et al., 2003; COELHO et al., 2003; TAULÉ et al., 2012), como também *P. maximum* e espécies do gênero *Brachiaria* (POLIDORO et al., 2001). Neste trabalho, os sinais de $\delta^{15}\text{N}$ dessas espécies foram maiores que os da cana, permitindo calcular a fixação na cana; entretanto, confirmando-se o potencial de fixação destas espécies, os cálculos, feitos nestes trabalhos, podem ter levado a subestimativas do potencial de FBN das variedades de cana estudadas.

Alguns autores reportaram valores de FBN, em primeiro ano de cultivo, entre 27 e 38% para a variedade NIF8 em amostragens feitas 6 e 7 meses após plantio (ASIS JR et al., 2004), de 0 a 24% para variedades não identificadas aos 4 a 6 meses (YONEYAMA et al., 1997) e entre 0 a 32% aos seis meses cultivo (COELHO et al., 2003). Outros resultados obtidos para FBN variaram entre variedades de 24 e 43% (COELHO et al., 2003), de 27 a 72% (POLIDORO et al., 2001), de 0 a 72% (YONEYAMA et al., 1997) e de 28 a 73% (URQUIAGA et al., 2003). Esta variação pode ocorrer pela influência de diversos fatores ambientais e práticas de manejo (FREITAS et al., 2010) e pela escolha das plantas referência utilizadas (CANUTO et al., 2003).

Não houve influência da adubação molíbdica no sinal de $\delta^{15}\text{N}$ das variedades de cana, embora seja significativa a interação entre os fatores se for considerado 10% de probabilidade.

Este resultado pode ter sido causado pela disponibilidade suficiente de molibdênio no solo em relação a demanda da cana, bem como pela influência de características físicas, químicas e mineralógicas do solo na disponibilidade do nutriente (OLIVEIRA, 2012).

5. CONCLUSÃO

As variedades estudadas tiveram alocações semelhantes de biomassa seca e de nitrogênio nas frações da planta quando adubadas com N e colhida como cana-planta;

Não houve resposta das variedades à adubação nitrogenada quanto a produção de biomassa aérea, altura e parâmetros industriais TPH, PC, BRIX e ATR;

As equações mostraram bons ajustes e permitem estimativas das biomassas fresca e seca da parte aérea e de colmo de cana-de-açúcar, usando variável independente composta pela multiplicação de altura e diâmetro;

As equações gerais são apropriadas para estimar biomassa com boa precisão e acurácia, apesar dos modelos para cada variedade serem ligeiramente superiores;

As equações gerais são uteis na estimativa de produtividade de parte aérea e colmo da cana de maneira não destrutiva.

As variedades de cana fixaram nitrogênio simbioticamente, com destaque para RB867515, RB931011 e RB962962, mas as proporções de N nas plantas foram relativamente baixas.

As cultivares de sorgo forrageiro cv. SF11 e sorgo granífero cv. IPA-1011, os capins colonião (*Panicum maximum*) cv. Mombaça, buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) v. Grass e elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) cv. Venezuela e o milho cv. CMS 36 não se mostraram adequados como planta referência na quantificação de FBN em cana-de-açúcar pelo método de abundancia natural de ^{15}N pois também fixaram N atmosférico.

REFERÊNCIAS

- ADDO-FORDJOUR, P.; RAHMAD, Z. B. Development of allometric equations for estimating above-ground liana biomass in tropical primary and secondary forests, Malaysia. **International Journal of Ecology**, v.2013, p.1-8, 2013.
- ALEIXO, V.; MALAVASI, U. C.; CALEGÁRIO, N.; MALAVASI, M. M.; MACEDO JÚNIOR, E. K. Relações alométricas para *Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit. **Ciência Florestal**, v.18, n.3, p.329-338, 2008.
- AMARAL, L. P.; FERREIRA, R. A.; WATZLAWICK, L. F.; GENÚ, A. M. Análise da distribuição espacial de biomassa e carbono arbóreo acima do solo em floresta ombrófila mista. **Ambiência**, v.6, edição especial, p.102-114, 2010.
- ANFAVEA - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira**. 2013. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br>>. Acesso em: 27 ago. 2014.
- ANTUNES, W. C.; POMPELLI, M. F.; CARRETERO, D. M.; MATTA, F. M. Allometric models for non-destructive leaf area estimation in coffee (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*). **Annals of Applied Biology**, v.153, n.1, p. 33–40, 2008.
- ASIS JUNIOR, C. A.; ADACHI K.; AKA, S. N₂ fixation in sugarcane and population of N₂-fixing endophytes in stem apoplast solution. **Philippine Journal of Crop Science**, v.29, n.2, p.45-58. 2004.
- BARBEIRO, L.; VIEIRA, G.; SANQUETTA, C. Equações para estimativa da biomassa individual de *Nectandra grandiflora* Ness (CANELA-AMARELA). **Floresta**, v.39, n.4, p. 833-843, 2009.
- BARBOSA, E. A.; PERIN, L.; REIS, V. M. Uso de diferentes fontes de carbono por estirpes de *Gluconacetobacter diazotrophicus* isoladas de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.5, p.827-833, 2006.

BASANTA, M. V.; DOURADO-NETO, D.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S.; OLIVEIRA, J. C. M.; TRIVELIN, P. C. O.; TIMM, L. C.; TOMINAGA T. T.; CORRECHEL, V.; CASSARO, F. A. M.; PIRES, L. F.; MACEDO, J. R. Management effects on nitrogen recovery in a sugarcane crop grown in Brazil. **Geoderma**, v.116, n.12, p.235-248, 2003.

BASUKI, T.M.; VAN LAAKE, P.E.; SKIDMORE, A.K.; HUSSIN, Y.A. Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland Dipterocarp forests. **Forest Ecology and Management**, v.257, n.8, p. 1684–1694, 2009.

BEDARD-HAUGHN, A.; GROENIGEN J.W.; KESSEL, C. Racing ^{15}N through landscapes: potential uses and precautions. **Journal of Hydrology**, v.272, n.1-4, p.175–190, 2003.

BIZZO, W. A.; LENÇO, P. C.; CARVALHO, D. J.; VEIGA, J. P. S. The generation of residual biomass during the production of bio-ethanol from sugarcane, its characterization and its use in energy production **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.29, p.589–603, 2014.

BNDES - BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento econômico e social**. 2008. 316p. Disponível em: www.bioetanoldecana.org/. Acesso em: 20 ago. 2014.

BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; REIS V.; DOBEREINER, J. Biological nitrogen fixation associated with sugar cane. **Plant and Soil**, v.137, n.1, p.111-117. 1991.

BODDEY, R M.; OLIVEIRA, O. C. D.; URQUIAGA, S.; REIS, V. M.; OLIVARES, F. L.; BALDANI, V. L. D.; DOBEREINER, J. Biological nitrogen fixation associated with sugar cane and rice : Contributions and prospects for improvement. **Plant and Soil**. v.174, n.1-2, p.195-209, 1995.

BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; REIS, V. Endophytic nitrogen fixation in sugarcane: present knowledge and future applications. **Plant and Soil**, v.252, n.1.p.139-149, 2003.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Matriz energética nacional: 2030**. Brasília, 2007. 254p. Disponível em: <www.mme.gov.br>. Acesso em: 25 nov. 2011.

BREMNER, J. M.; MULVANEY, C. S. Nitrogen-total. In: PAGE, A.L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. (Eds). **Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties**. Part. 2. Madison: ASA-SSSA, 1982. p.595-624. (ASA. Agronomy Monograph, 9).

BRIANEZI, D.; JACOVINE, L. A.G.; SOARES, C. P. B.; CASTRO, R. V. O.; BASSO, V. M. Equações alométricas para estimativa de carbono em árvores de uma área urbana em Viçosa-MG. **Revista Árvore**, v.37, n.6, p.1073-1081, 2013.

CANUTO, E. L.; OLIVEIRA, A. L. M.; REIS, V. M.; BALDANI, J. I. Evaluation of the biological nitrogen fixation contribution in sugarcane plants originated from seeds and inoculated with nitrogen-fixing endophytes. **Brazilian Journal of Microbiology**, v.34, suppl.1, p.62-64, 2003.

CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; CERRI, C.E.P.; FELLER, C. Carbon cycling and sequestration opportunities in South America: the case of Brazil. **Soil Use and Management**, v.20, n.2, p.248-254, 2004.

CERRI, C. E. P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W. E.; MELILLO, J. M.; CERRI, C. C. Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. **Scientia Agricola**, v.64, n.1, p.83-99, 2007.

CERRI, C. C.; GALDOS, M. V.; MAIA, S. M. F.; BERNOUX, M.; FEIGL, B. J.; POWLSON, D.; CERRI, C.E. P. Effect of sugarcane harvesting systems on soil carbon stocks in Brazil: an examination of existing data. **European Journal of Soil Science**, v.62, n.1, p.23-28, 2011.

CIB - CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA. **Guia da cana-de-açúcar: avanço científico beneficia o país**. 2009. Disponível em: <www.cib.org.br>. Acesso em: 2 set. 2014.

COELHO, C. H. M.; MEDEIROS, A. F. A.; POLIDORO, J. C.; XAVIER, R. P.; RESENDE, A.; QUESADA, D. M.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R.; URQUIAGA, S. Identificação de genótipos de cana-de-açúcar quanto ao potencial de contribuição da fixação biológica de nitrogênio. **Agronomia**, v.37, n.2, p.37-40, 2003.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar: safra 2014/2015 segundo levantamento agosto/2014.** Disponível em: <www.conab.gov.br>. Acesso em: 07 set. 2014.

DJOMO, A. N.; IBRAHIMA, A.; SABOROWSKI, J.; GRAVENHORST, G. Allometric equations for biomass estimations in Cameroon and pan moist tropical equations including biomass data from Africa. **Forest Ecology and Management**, v.260, n.10, p. 1873-1885, 2010.

DOBEREINER, J. Biological nitrogen fixation in the tropics: social and economic contributions. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.36, p.771-774, 1997.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **BEN - balanço energético nacional 2014: ano base 2013.** Rio de Janeiro, 2014. 288p.

ENCARNAÇÃO, C. R. F. **Observações meteorológicas e tipos climáticos das unidades e campos experimentais da empresa IPA.** Recife: Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, 1980. 110p.

FÉRES, J.; REIS, E.; SPERANZA, J. S. Impacto das mudanças climáticas no setor agrícola brasileiro in: **Mudança do clima no Brasil; aspectos econômicos e sociais e regulatórios.** Brasília: IPEA, 2011. 440p.

FERNANDES, A. C. **Cálculos da agroindústria da cana-de-açúcar.** 3.ed. Piracicaba: STAB-Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 2011. 416p.

FERREIRA, R. L. C.; LIRA JUNIOR, M. A.; ROCHA, M. S.; SANTOS, M. V. F.; LIRA, M. A.; BARRETO, L. P. Deposição e acúmulo de matéria seca e nutrientes em serapilheira em um bosque de sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia* Benth). **Revista Arvore**, v.31, n.1, p.7-12. 2007.

FIGUEIREDO, P. Breve história da cana-de-açúcar e do papel do Instituto Agrônomo no seu estabelecimento no Brasil. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana de açúcar.** Campinas, SP: Instituto Agrônomo, p. 31-57, 2010.

FIGUEIREDO, P. Breve história da cana-de-açúcar e o papel do Instituto Agrônomo no seu estabelecimento no Brasil. In: **Cana-de-Açúcar.** 1.ed. Campinas, SP:, p.31-44.

FORTES, C.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; FERREIRA, D. A.; FRANCO, H. C. J.; OTTO, R. Recovery of nitrogen (15N) by sugarcane from previous crop residues and urea fertilization under a minimum tillage system. **Sugar Tech**, v.13, n.1, p. 42–46, 2011.

FRANCO, H. C. J.; BOLOGNA, I. R.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O. Acúmulo de macronutrientes em cana-de-açúcar em função da adubação nitrogenada e dos resíduos culturais incorporados ao solo no plantio. **Bragantia**, v.66, n.4, p.669-674, 2007.

FRANCO, C. H. J.; TRIVELIN, P. C. O.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; OTTO, R. Aproveitamento pela cana-de-açúcar da adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.1, p. 2763-2770, 2008.

FRANCO, H. C. J.; PIMENTA, M. T. B.; CARVALHO, J. L. N. ; MAGALHÃES, P. S. G.; ROSSELL, C. E. V.; BRAUNBECK, O. A.; VITTI, A. C. ; KÖLLN, O. T.; ROSSI NETO, J. Assessment of sugarcane trash for agronomic and energy purposes in Brazil. **Scientia Agricola**, v.70, n.5, p. 305-312, 2013.

FREITAS, A. D. S.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SANTOS, C. E. R. S. Abundância natural do 15N para quantificação da fixação biológica do nitrogênio em plantas. In: FIGUEIREDO, V. B.; BURITY, H. A.; OLIVEIRA J. P.; SANTOS, C. E. R. S.; STAMFORD N. P. **Biotechnologia aplicada à agricultura: textos de apoio e protocolos experimentais**. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2010. p.505-517.

GALDOS, M. V. **Dinâmica do carbono do solo no agrossistema cana-de-açúcar**. 2007. 101p. Tese (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2007.

GALDOS, M. V.; CERRI, C. C.; PAUSTIAN, K.; ANTWERPEN, R. V. Simulation of soil carbon dynamics under sugarcane with the CENTURY Model. **Soil Science Society of America Journal**, v.73, n.3, P. 802-811, 2009.

GARCIA, J. C. C.; SPERLING, E. V. Emissão de gases de efeito estufa no ciclo de vida do etanol: estimativa nas fases de agricultura e industrialização em Minas Gerais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.15, n.3, p. 217-222, 2010.

GAVA, G. J. C.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; OLIVEIRA, M. W. Recuperação do nitrogênio (^{15}N) da uréia e da palhada por soqueira de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.27, n.1, p. 621-630, 2003.

GAVA, J. G. D. C.; TRIVELIN, C. P. O.; VITTI, A. C.; OLIVEIRA, M. W. Urea and sugarcane straw nitrogen balance in a soil-sugarcane crop system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.1, p.689-695, 2005.

GOODMAN, R. C.; PHILLIPS, O. L.; TORRES, D. C.; FREITAS, L.; CORTESE, S. T.; MONTEAGUDO, A.; BAKER, T. R. Amazon palm biomass and allometry. **Forest Ecology and Management**, v.310, p.994–1004, 2013.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja**: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 69p. (Embrapa Soja. Série Documentos, 283).

HUNTER, M. O.; KELLER, M.; VICTORIA, D.; MORTON, D. C. Tree height and tropical forest biomass estimation. **Biogeosciences**, v.10, n.12, p. 8385–8399, 2013.

IPA - Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária. **Recomendações de Adubação para o Estado de Pernambuco (2ª aproximação)**. 2.ed. Recife, 2008. 198p.

JAIN, A.; ANSARI, S. A. Quantification by allometric equations of carbon sequestered by *Tectona grandis* in different agroforestry systems. **Journal of Forestry Research**, v.24, n.4, p.699-702, 2013.

KAONGA, M.L.; BAYLISS-SMITH, T.I.M.P. Allometric models for estimation of aboveground carbon stocks in improved fallows in eastern Zambia. **Agroforest System**, v.78, n.4, p.217–232. 2010.

KWONG, K. F. N. K.; DEVILLE, J.; CAVALOT, P. C.; RIVIERE, V. Value of cane trash in nitrogen nutrition of sugarcane. **Plant and Soil**, v.102, n.1, p.79-83, 1987.

LIMA, M. A. D.; ALVES, J. B. R. Vulnerabilidades, impactos e adaptação à mudança do clima no setor agropecuário e solos agrícolas. **Parcerias Estratégicas**, n.27, p.1-360, 2008.

MACEDO, I. C.; LEAL, M. R. L. V.; SILVA, J. E. A. R. **Balanço das emissões de gases do efeito estufa na produção e no uso do etanol no Brasil**. 2004. 26p. Disponível em: <<http://www.unica.com.br>>. Acesso em: 12 set. 2012.

MAGNUSSEN, S. **Knowledge reference for national forest assessments - modeling for estimation and monitoring: biomass estimation**. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 12 dez. 2011.

MAVOUROULOU, Q. M.; NGOMANDA, A.; OBIANG, N. L. E.; LEBAMBA, J.; GOMAT, H.; MANKOU, G. S.; LOUMETO, J.; IPONGA, D. M.; DITSOUGA, F. K.; KOUMBA, R. Z.; BOBÉ, K. H. B.; LÉPENGUÉ, N.; MBATCHI, B.; PICARD, N. **Canadian Journal of Forest Research**, v.44, n.7, p. 685-691, 2014.

MEDEIROS, T. C. C.; SAMPAIO, E. V. S. B. Allometry of aboveground biomasses in mangrove species in Itamaraca, Pernambuco, Brasil. **Wetlands ecology and management**, v.16, p.323-330, 2008.

MORAIS, R. F.; QUESADA, D. M.; REIS, V. M.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Contribution of biological nitrogen fixation to Elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.). **Plant Soil**, v. 356, n.1-2, p.23–34, 2012.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2.ed. Lavras: UFLA, 2006. 729p.

MOREIRA-BURGER, D.; DELITTI, W. B. C. Modelos preditores da fitomassa aérea da floresta baixa de restinga. **Revista Brasileira de Botânica**, v.33, n.1, p.143-153, 2010.

NEVES, M. F.; CONEJERO, M. A. **Estratégias para a cana no Brasil: um negócio classe mundial**. São Paulo: Atlas, 2010. 288p.

OLIVEIRA, J. C. M.; REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S.; TIMM, L. C.; DOURADO-NETO, D.; TRIVELIN, P. C. O.; TOMINAGA, T. T.; NAVARRO, R. C.; PICCOLO, M. C.; CÁSSARO, F. A. M. Nitrogen dynamics in a soil-sugarcane system. **Scientia Agricola**, v.57, n.3, p.467-472, 2000.

OLIVEIRA, E. C. A.; OLIVEIRA, R. I.; ANDRADE, B. M. T.; FREIRE, F. J.; LIRA JÚNIOR, M. A.; MACHADO, P. R. Crescimento e acúmulo de matéria seca em variedades de cana-de-

açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.9, p.951–960, 2010a.

OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, R. I.; FREIRE, M. B. G. S.; SIMÕES NETO, D. E.; SILVA, S. A. M. Extração e exportação de nutrientes por variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de ciência do solo**, v.34, n.4, p.1343-1352, 2010b.

OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, R. I.; OLIVEIRA, A. C.; FREIRE, M. B. G. S. Acúmulo e alocação de nutrientes em cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, n.3, p. 579-588, 2011.

OLIVEIRA, A. C. **Interação da adubação nitrogenada e molíbdica em cana- de-açúcar**. 96f. Tese (Doutorado em Ciências do Solo) – Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2012.

OLIVERAS, I.; EYNDEN, M.; MALHI, Y.; CAHUANA, N.; MENOR, C.; ZAMORA, F.; HAUGAASEN, T. Grass allometry and estimation of above-ground biomass in tropical alpine tussock grasslands. **Austral Ecology**, v.39, n.4, p.408–415, 2014.

POLIDORO, J. C.; RESENDE, A. S.; QUESADA, D. M.; XAVIER, R. P.; COELHO, C. H. M.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUAGA, S. **Levantamento da contribuição da fixação biológica de nitrogênio para a cultura da cana-de-açúcar no Brasil**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2001. 8p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 144).

PURWANTO, R. H.; AZIM, M.T. Allometric equations for estimating above-ground biomass of sengon (*Paraserianthes falcataria*) in the community forest of Bateh Village, Magelang. **Journal Ilmu Kehutanan**, v.4, n.1, p.37-43, 2010.

REIS, V. M.; PERIN, L.; REIS JUNIOR, F. B. **Uma nova estratégia para isolar *Gluconacetobacter diazotrophicus* de plantas de cana-de-açúcar**. Seropédica: EMBRAPA-CNPAB, 1999. 5p. (EMBRAPA-CNPAB. Comunicado Técnico, 35).

REIS, V. M.; SCHWAB, S.; ROUWS, L. F. M.; TEIXEIRA, K. R. S. Diazotróficos associativos e de vida livre: avanços e aplicações biotecnológicas. In: FIGUEIREDO, M. V. B.; BURITY, H. A.; OLIVEIRA, J. P.; ROSÁLIA, C. E.; STAMFORD, N. P. (Ed.).

Biotecnologia aplicada à agricultura: textos de apoio e protocolos experimentais. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2010. 761p.

RESENDE, A. S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. **Técnicas utilizadas na quantificação da fixação biológica de nitrogênio.** Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2003. 26 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 165).

RIPOLI, T. C. C.; MOLINA JUNIOR, W. F.; RIPOLI, M. L. C. Energy potential of sugar cane biomass in Brazil. **Scientia Agricola**, v.57, n.4, p. 677-681, 2000.

SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar (deslocamento vertical e horizontal de $\text{NO}_3\text{-N}$ e $\text{NH}_4\text{-N}$ no solo). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.19, n.9, p.1103-1108, 1984.

SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B.; ALVES, G. D. Mineralização do carbono e do nitrogênio em solo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.9, p.33-38, 1985.

SALIS, S. M.; CRISPIM, S. M. A.; BRANCO, O. D. **Equação para estimar biomassa da palmeira acuri (*Attalea phalerata*) no pantanal.** Corumbá, MS: Embrapa Pantanal, 2007. 4p. (Embrapa Pantanal. Comunicado Técnico, 63).

SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO I. H.; BETTANY, J. Dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar: eficiência na utilização de uréia (^{15}N) em aplicação única ou parcelada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, n.8, p. 943-949, 1984.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H. Eficiência de utilização de uréia ^{15}N por cana planta e três socas em tabuleiros costeiros de Pernambuco. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS, 4, 1987, Recife. **Anais...** Recife: Sociedade dos Técnicos Açucareiros, 1987. p.46-49.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SILVA, G. C. Biomass equations for Brazilian semiarid caatinga plants. **Acta Botanica Brasilica**, v.19, n.4, p. 935-943, 2005.

SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, M. S. B.; SALCEDO, I. H.; MENEZES, R. S. C. **Agricultura sustentável no semi-árido nordestino.** Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2009. 152p.

SAMPAIO, E. V. S. B.; FREITAS, A. D. S.; RAMOS, A. P. S.; BARBOSA M. R. V.; LYRA, R. P.; ARAÚJO, E. L. The ^{15}N signals of different ecosystems in Northeast Brazil. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, SOIL SOLUTIONS FOR A CHANGING WORLD, 19., 2010, Brisbane, Australia. **Proceeding...** Brisbane, Australia: Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, 2010a. p.52-54.

SAMPAIO, E.; GASSON, P.; BARACAT, A.; CUTLER, D.; PAREYN, F.; LIMA, K. C. Tree biomass estimation in regenerating areas of tropical dry vegetation in northeast Brazil. **Forest Ecology and Management**, v.259, n.6, p.1135-1140, 2010b.

SANTOS, E. R. S.; FREITAS, A. D. S.; VIEIRA, I. M. M. B.; COLAÇO, W. **Fixação simbiótica no N_2 em leguminosas tropicais**. In: FIGUEIREDO, M. V. B.; BURITY, H. A.; STAMFORD, N. P.; SANTOS, C. E. R. S. (Ed.). **Microorganismos e agrobiodiversidade: o novo desafio para a agricultura**. Guaíba: Agrolivros, 2008. p.17-41. 568p.

SCHLESINGER, W.H. **Biogeoquímica: Un análisis del cambio global**. Provença: Editora Ariel, 2000. 577p.

SIERRA, C. A.; VALLE, J. I.; ORREGO, S. A.; MORENO, F. H.; HARMON, M. E.; ZAPATA, M.; COLORADO, G. J.; HERRERA, M. A.; LARA, W.; RESTREPO, D. E.; BERROUET, L. M.; LOAIZA, L. M.; BENJUMEA, J. F. Total carbon stocks in a tropical forest landscape of the Porce region, Colombia. **Forest Ecology and Management**, Falta o local, v.243, n. 2–3, p. 299-309, 2007.

SILVA, L. A. **Dinâmica do nitrogênio da uréia (^{15}N) e utilização do N da palhada (^{15}N) em cana soca sob diferentes sistemas de manejo**. 2004. 46f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

SILVA, G. C.; SAMPAIO, E. V. S. B. Biomassas de partes aéreas em plantas da caatinga. **Revista Árvore**, v.32, n.3, p. 567-575, 2008.

SILVA-OLAYA, A. M. **Emissão de dióxido de carbono após diferentes sistemas de preparo do solo na cultura da cana-de-açúcar**. 2010. 101f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2010.

SIMÕES NETO, D. E. Variedades de cana-de-açúcar no estado de Pernambuco: contribuição do melhoramento clássico da RIDESA–UFRPE. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, v.5-6, p.125-146, 2009.

SINDAÇÚCAR – SINDICATO DA INDÚSTRIA DO AÇÚCAR E DO ÁLCOOL NO ESTADO DE PERNAMBUCO. **Acompanhamento da produção canavieira nos Estados do Norte e Nordeste**. Disponível em: <www.sindaçucar.com.br>. Acesso em: 12 fev. 2015.

SOARES, L. H. B.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. **Mitigação das emissões de gases efeito estufa pelo uso de etanol da cana-de-açúcar produzido no Brasil**. 14p. Embrapa Agrobiologia. Seropédica, RJ, 2009. 14p. (Embrapa Agrobiologia. Circular Técnica, 27). Disponível em: <<http://www.cnpab.embrapa.br>>. Acesso em: 10 out. 2011.

TAULÉ, C.; MAREQUE, C.; BARLOCCO, C.; HACKEMBRUCH, F.; REIS, V. M.; SICARDI, M.; BATTISTONI, F. The contribution of nitrogen fixation to sugarcane (*Saccharum officinarum* L.), and the identification and characterization of part of the associated diazotrophic bacterial community. **Plant Soil**, v.356, n.1-2, p.35–49, 2012.

THORBURN, P.J.; MEIER, E.A.; COLLINS, K.; ROBERTSON, F.A. Changes in soil carbon sequestration, fractionation and soil fertility in response to sugarcane residue retention are site-specific. **Soil and Tillage Research**, v.120, p. 99-111, 2012.

TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; OLIVEIRA, M. W.; GAVA, G. J. C.; SARRIÉS, G. A. Utilização de nitrogênio e produtividade da cana-de-açúcar (cana-planta) em solo arenoso com incorporação de resíduos da cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, n.3, p. 637-646, 2002.

TURSKI, M.; BEKER, C.; KAZMIERCZAK, K.; NAJGRAKOWSKI, T. Allometric equations for estimating the mass and volume of fresh assimilational apparatus of standing scots pine (*Pinus sylvestris* L.) trees. **Forest Ecology and Management**, v.255, n.7, p. 2678–2687, 2008.

URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M.; OLIVEIRA, O.C. de; RESENDE, A. S.; WEBER, H. **Efeito da queima, aplicação de N, irrigação e molibdênio na produção e acumulação de nitrogênio na cana-de-açúcar a longo prazo**. Seropédica, RJ: Embrapa Agrobiologia, 1998. 13p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 72).

URQUIAGA, S.; LIMA, R.M.; XAVIER, R.P.; RESENDE, A.S.; ALVES, B.J.; BODDEY, E. R. Avaliação da eficiência do processo de fixação biológica do nitrogênio em diferentes variedades e cana-de-açúcar. **Agronomia**, v.37, n.1, p. 55-58, 2003.

VIEILLEDENT, G.; VAUDRY, R.; ANDRIAMANOHISOA, S. F. D.; RAKOTONARIVO, O.S.; RANDRIANASOLO, H. Z.; RAZAFINDRABE, H. N.; BIDAUD RAKOTOARIVONY, C.; EBELING, J.; RASAMOELINA, M. A universal approach to estimate biomass and carbon stock in tropical forests using generic allometric models. **Ecological Applications**, v.22, n.2, p. 572–583, 2012.

VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C.; PENATTI, C.P.; BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E.; FRANCO, H.C.J. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada ao nitrogênio residual da adubação e do sistema radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.2, p.249-256, 2007.

VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O.; CANTARELLA, H.; FRANCO, H. C. J.; FARONI, C. E.; OTTO, R.; TRIVELIN M.O.; TOVAJAR, J. G. Mineralização da palhada e crescimento de raízes de cana-de-açúcar relacionados com a adubação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, número especial, p. 2757-2762, 2008.

VITTI, A. C.; FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O.; FERREIRA, D. A.; OTTO, R.; FORTES, C. ;FARONI, C. E. Nitrogênio proveniente da adubação nitrogenada e de resíduos culturais na nutrição da cana-planta. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**. v.46, n.3, p.287-293. 2011.

XAVIER, R. P. **Contribuição da fixação biológica de nitrogênio na produção sustentável da cultura da cana-de-açúcar**. 2006. 80f. Tese (Doutorado em Ciências) - Departamento Fitotecnia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

YONEYAMA, T.; MURAOKA, T.; KIM, T.H.; DACANAY, E.V.; NAKANISHI, Y. The natural ¹⁵N abundance of sugarcane and neighbouring plants in Brazil, the Philippines and Miyako (Japan). **Plant Soil**, v.189, n.2, p. 239–244, 1997.

YOUKHANA, A. H.; IDOL, T. W. Allometric models for predicting above- and belowground biomass of *Leucaena-KX2* in a shaded coffee agroecosystem in Hawaii. **Agroforestry Systems**, v.83, p.331-345, 2011.