

**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

ANDERSON KLEBER VASCONCELOS MENDES

**BIOMASSA DE RAÍZES PRODUZIDA POR COQUETÉIS VEGETAIS
UTILIZADOS COMO ADUBO VERDE: ESTIMATIVA DAS PROPORÇÕES
DE ESPÉCIES C3 E C4 UTILIZANDO ISOTÓPOS DE CARBONO**

Orientadora: Dr^a. Ana Dolores Santiago de Freitas

Co-orientadora: Dr^a. Vanderlise Giongo

Recife, 2018

ANDERSON KLEBER VASCONCELOS MENDES

BIOMASSA DE RAÍZES PRODUZIDA POR COQUETÉIS VEGETAIS
UTILIZADOS COMO ADUBO VERDE: ESTIMATIVA DAS PROPORÇÕES DE
ESPÉCIES C3 E C4 UTILIZANDO ISOTÓPOS DE CARBONO

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares para obtenção do título de Mestre, Área de Concentração: Aplicação de radioisótopos na agricultura e meio ambiente.

Orientadora: Dr^a. Ana Dolores Santiago de Freitas

Co-orientadora: Dr^a. VanderliseGiongo

Recife, 2018

M538b Mendes, Anderson Kleber Vasconcelos.

Biomassa de raízes produzida por coquetéis vegetais utilizados como adubo verde: estimativa das proporções de espécies C3 e C4 utilizando isótopos de carbono. / Anderson Kleber Vasconcelos Mendes. - Recife: O Autor, 2018.

45 f. : il., tabs.

Orientadora: Dra. Ana Dolores Santiago de Freitas.

Coorientadora: Dra. Vanderlise Giongo.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, 2018.

Inclui referências bibliográficas.

1. Manejo do solo. 2. Sistema radicular. 3. Adubação orgânica. 4. Leguminosas. I. Freitas, Ana Dolores Santiago de, orientadora. II. Giongo, Vanderlise, coorientadora. III. Título.

UFPE

CDD 621.48 (21. ed.)

BDEN/2018-07

ANDERSON KLEBER VASCONCELOS MENDES

BIOMASSA DE RAÍZES PRODUZIDA POR COQUETÉIS VEGETAIS
UTILIZADOS COMO ADUBO VERDE: ESTIMATIVA DAS PROPORÇÕES DE
ESPÉCIES C3 E C4 UTILIZANDO ISOTÓPOS DE CARBONO

Dissertação submetida ao Programa de Pós-
Graduação em Tecnologias Energéticas e
Nucleares para obtenção do título de
Mestre, Área de Concentração: Aplicação
de radioisótopos na agricultura e meio
ambiente.

Dissertação defendida e Aprovada em: 29/01/2018

COMISSÃO EXAMINADORA:

Dra. Carolina Etienne de Rosália e Silva Santos – DEPA/UFRPE (titular externo ao
PROTEN)

Dr. Dário Costa Primo – DEN/UFPE (titular externo ao PROTEN)

Dr. Renata Janaina Carvalho de Souza (titular externo ao PROTEN)

Dr. Everardo Valadares de Sá Barretto Sampaio – DEN/UFPE (suplente interno ao
PROTEN)

Dr. Newton Pereira Stamford – UFRPE (suplente externo ao PROTEN)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me proporcionar a oportunidade de concluir minha Dissertação depois de muitos esforços, mas que sempre tive a certeza que o final seria muito gratificante.

Aos meus pais, Maria Lúcia Leite de Vasconcelos Mendes e José Mendes dos Santos, por todo amor, apoio e dedicação, e por serem meu alicerce de valores e perseverança.

Aos meus avós maternos, Bráz Emigdio Vasconcelos e Luíza Leite Vasconcelos, e paternos, Luiz Mendes e Nita Mendes.

Aos meus irmãos, Alisson Vasconcelos e Paula Vasconcelos, pelos momentos de convivência, carinho e afeto.

Aos meus sobrinhos, Carlos Henrique e José Victor, pelas brincadeiras e aprendizado de como é importante uma família unida.

Ao meu companheiro, amigo, confidente Heleno Pereira Nunes, pelo afeto, amor, compreensão e ajuda principalmente nessa reta final.

À minha orientadora Dra. Ana Dolores Santiago de Freitas, por todo apoio, ensinamentos, carinho, amizade e dedicação.

Aos professores do DEN, professor Everardo Valadares de Sá Barreto Sampaio e Rômulo Menezes, por todo apoio, confiança e ensinamentos, que foram muito importantes durante o curso de mestrado.

À minha co-orientadora Dra. Vanderlise Giongo e sua equipe da Embrapa Semiárido, por toda ajuda nas coletas de campo e algumas das importantes análises, pessoas fundamentais para que a concretização do trabalho pudesse acontecer.

Aos queridos alunos de iniciação científica, Gustavo da Costa, e Jessyca Gomes, pela participação no processamento e análises do material coletado em campo.

À família “doloriana”, formada por Andrea, Benaia, Renata e Reginaldo Neto pela amizade e carinho.

A todos os colegas do Laboratório de Fertilidade do Solo, pela ótima convivência e amizade que tornaram meus dias de análises muito mais prazerosos.

À equipe técnica do Laboratório de Fertilidade do Solo, formada por Claudenice, Gilberto e Pedro, por todo apoio de que precisei durante as análises de laboratório.

À toda minha família e amigos por todo carinho e torcida para a conclusão desta dissertação.

RESUMO

A cobertura vegetal através de técnicas como a de adubação verde se tornou uma prática conservacionista essencial para recuperar e manter a qualidade dos solos. O objetivo deste trabalho foi estimar as quantidades totais de biomassa subterrânea e as contribuições de plantas C3 e C4 em misturas de espécies cultivadas como adubos verdes em cultivo irrigado de manga na região do Submédio São Francisco. Os experimentos foram conduzidos no Campo Experimental de Bebedouro, de propriedade da Embrapa, em Petrolina, Pernambuco, adotando um delineamento em blocos ao acaso, com parcelas subdivididas. As parcelas corresponderam a duas formas de manejo da biomassa (Com revolvimento e sem revolvimento do solo) produzida por três tratamentos de adubos verdes, que constituem as subparcelas. Os tratamentos foram duas misturas de espécies (denominadas de coquetéis) e um terceiro tratamento onde foi permitido o crescimento de plantas espontâneas. Os coquetéis foram preparados misturando-se sementes de dois grupos de espécies: leguminosas e gramíneas + oleaginosas, em diferentes proporções. Foram estimadas as biomassas radiculares produzidas por cada espécie do coquetel e pelas plantas espontâneas. Foram analisadas as proporções de plantas C3 e C4 na biomassa radicular dos coquetéis vegetais pela diluição isotópica do ^{13}C , por espectrometria de massa. Para a proporção de plantas C3 e C4 não houve diferença significativa entre os tratamentos (coquetéis vegetais + vegetação espontânea) embora que para o tratamento com mais percentagem de leguminosas sem manejo do solo apresentou uma maior concentração de plantas C3 na camada de 0-20. Quando o solo foi revolvido também não houve diferença significativa, embora a vegetação espontânea tenha apresentado uma maior proporção de espécies C3 para todas as profundidades. Entre os diferentes tipos de manejo a vegetação espontânea com revolvimento apresentou maior proporção de plantas C3, em relação ao manejo sem revolvimento, e conseqüentemente menos plantas C4, diferindo significativamente. Para biomassa radicular entre os tratamentos não houve diferença significativa, todavia a vegetação espontânea tenha apresentado uma maior quantidade de biomassa em todas as profundidades quando houve o revolvimento do solo, fato ocorrido apenas para a camada de 40-60 cm. Quando não houve o revolvimento comparado os dois tipos de manejos não houve interação não diferindo significativamente, porém a vegetação espontânea apresentou maiores valores com o revolvimento do solo e entre as profundidades houve uma maior concentração de biomassa subterrânea na camada de 0-20 cm. O Uso de coquetel vegetal não interferiu na produção de biomassa radicular, porém o revolvimento do solo favoreceu apenas a vegetação espontânea. A biomassa radicular das plantas C3 e C4 foi afetada consideravelmente para todos os tratamentos e apresentando diferença significativa para o coquetel vegetal 1 e a vegetação espontânea nas camadas de 20-40 e 60-80 cm quando comparada ao sistema sem revolvimento do solo.

Palavras-Chave: Manejo do solo. Sistema radicular. Adubação orgânica. Leguminosas

ABSTRACT

Vegetation cover by techniques such as green manure is an essential conservation practice to recover soil quality. The objective of this work is to determine the average biomass and nutrient sources C3 and C4 in mixtures of species cultivated as green manures in irrigated mango cultivation in the Submédio São Francisco region. The experiments were conducted at the Experimental Field of Bebedouro, owned by Embrapa, in Petrolina, Pernambuco, adopting a randomized block design with subdivided plots. The plots correspond to the forms of biomass (with soil rotation and no-tillage) by three treatments of green manures, which constitute as subplots. The therapies of species (denominated of cocktails) and the third resource that was authorized the growth of spontaneous plants. The cocktails were prepared by mixing the seeds of two groups of species: legumes and grasses + oilseeds, in two proportions. They were estimated as root biomasses produced by each species of cocktail and spontaneous plants. The proportions of C3 and C4 plants in the root biomass of the vegetable cocktails were analyzed by the ^{13}C isotopic dilution by mass spectrometry. For the proportion of plants C3 and C4 there was no significant difference between treatments (vegetable cocktails + spontaneous vegetation), although for the treatment with a higher percentage of legumes without soil management, there was a higher concentration of C3 plants in the 0-20 cm layer. When the soil was disturbed, there was also no significant difference, although spontaneous vegetation presented a higher proportion of C3 species at all depths. Among the different types of management, the spontaneous vegetation with rotation presented a higher proportion of C3 plants, in relation to the management without revolving, and consequently fewer C4 plants, differing significantly. There was no significant difference in the root biomass between the treatments, although the spontaneous vegetation presented a higher amount of biomass at all depths when the soil was stirred, only occurring for the 40-60 cm layer. When there was no reversal compared to the two types of management, there was no interaction, but the spontaneous vegetation showed higher values with the soil rotation and between the depths there was a higher concentration of underground biomass in the 0-20 cm layer. The use of vegetable cocktail did not interfere in the production of root biomass, but the soil rotation favored only spontaneous vegetation. The root biomass of the C3 and C4 plants was considerably affected for all treatments and presented a significant difference for the vegetal cocktail 1 and the spontaneous vegetation in the layers of 20-40 and 60-80 cm when compared to the system without soil rotation.

Keywords: Plant mixtures. Soil management. Root biomass. Stable isotopes

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Número de massa atômica
Al	Alumínio
C	Carbono
¹³ C	Carbono com número de massa atômica 13
Ca	Cálcio
CE	Condutividade elétrica
Cmolc	Centimol de carga
CTC	Capacidade de troca de cátions
Cu	Cobre
CuCO ₃	Carbonato de cobre
dm ⁻³	Decímetro cúbico
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	Food and Agriculture Organization
FBN	Fixação biológica de nitrogênio
Fe	Ferro
g	Gramas
ton	Tonelada
H	Hidrogênio
ha	Hectare
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
K	Potássio
Kg	Quilograma
K ₂ O	Óxido de potássio
m	Metro
MAP	Monoatômico fosfato
Mg	Magnésio
mg	Milígrama
Mmolc	Milimol de carga
Mn	Manganês
MOS	Matéria orgânica do solo
N	Nitrogênio
¹⁴ N	Nitrogênio com número de massa atômica 14
¹⁵ N	Nitrogênio com número de massa atômica 15
N ₂	Nitrogênio (gás)
Na	Sódio
NH ⁴⁺	Íon amônio
NO ³⁻	Íon nitrato
P	Fósforo
pH	Potencial hidrogeniônico
Prof.	Profundidade
P ₂ O ₅	Pentóxido de fósforo
S	Soma de bases trocáveis
t	Tonelada
V	Saturação por bases
Zn	Zinco
°C	Graus Celsius
δ	Desvio por mil
%	Porcentagem
‰	Por mil

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- CROQUI DA ÁREA DO EXPERIMENTO DAS MANGUEIRAS.....	23
-------------------------------------------------------------	----

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO DA ÁREA DE CULTIVO DA MANGA ANTES DA IMPLANTAÇÃO DOS COQUETÉIS VEGETAIS	22
TABELA 2 - ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO DA ÁREA DE CULTIVO DA MANGA ANTES DA IMPLANTAÇÃO DOS COQUETÉIS VEGETAIS.	22
TABELA 3 - BIOMASSA RADICULAR DE COQUETÉIS VEGETAIS EM CONSÓRCIO COM MANGUEIRA EM PETROLINA-PE, 2017.	28
TABELA 4 - ANÁLISE ISOTÓPICA DE INDIVÍDUOS DE PLANTAS C3 E C4 E VEGETAÇÃO ESPONTÂNEA CULTIVADOS COM A MANGUEIRA EM PETROLINA-PE.....	30
TABELA 5 - ANÁLISE ISOTÓPICA DE COQUETÉIS VEGETAIS EM CONSÓRCIO COM A MANGUEIRA EM PETROLINA –PE	31
TABELA 6 - PROPORÇÕES DE PLANTAS C3 E C4 DE COQUETÉIS VEGETAIS EM CONSÓRCIO COM MANGUEIRA EM PETROLINA-PE, 2017.	33
TABELA 7- BIOMASSA RADICULAR DE PLANTAS C3 E C4 EM COQUETÉIS VEGETAIS EM CONSÓRCIO COM A MANGUEIRA EM PETROLINA-PE	35

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1 A CULTURA DA MANGA	13
2.2 ABUNDÂNCIA NATURAL DO C.....	14
2.3 FIXAÇÃO BIOLÓGICA DO NITROGÊNIO EM LEGUMINOSAS E GRAMÍNEAS	15
2.4 ADUBAÇÃO VERDE	17
2.5 BIOMASSA RADICULAR DE PLANTAS.....	19
2.6 MATÉRIA ORGÂNICA.....	20
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
3.1 Descrição do experimento em campo.....	22
3.2 Amostragem da biomassa e processamento das raízes.....	24
3.3 Determinação das proporções de raízes de plantas C3 e C4	25
3.4 Análises estatísticas	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	36
REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

O Semiárido brasileiro tem 969.589,4 km², e 25 milhões de habitantes (IBGE, 2011). A região do Vale do São Francisco destaca-se pela produção em grande escala de diversas frutas, exportando principalmente para o mercado europeu. Para atender esta produção, o cultivo intensivo do solo, junto com as condições climáticas e o uso de insumos não renováveis, favorecem a degradação, ocasionando a modificação de atributos físicos, químicos e biológicos do solo (AGUIAR; MONTEIRO, 2005; FERRACINI et al., 2001). A adubação verde é uma prática conservacionista importante para recuperar e manter a qualidade dos solos (AZEVEDO et al., 2007; BAYER et al., 2001). O conhecimento dos efeitos das práticas agrícolas sobre a matéria orgânica do solo é de grande importância para adoção de manejos dos componentes dos sistemas de produção que garantam a manutenção da fertilidade do solo e a disponibilidade de nutrientes para as culturas.

O uso de coquetéis vegetais em cultivos perenes (mangueira), em conjunto com o não revolvimento do solo, pode consistir numa técnica de manejo eficaz para a região do Semiárido brasileiro. Nesse tipo de sistema, as espécies utilizadas como culturas de cobertura são semeadas em diferentes proporções e quando atingem o estágio de pleno florescimento são cortadas e depositadas sobre o solo (GIONGO et al., 2011). Já existem estimativas dos potenciais de aporte de biomassa aérea desses coquetéis (NETO et al., 2017), entretanto não é conhecido o quanto de biomassa de raízes está sendo aportada. Determina-se com relativa facilidade as contribuições de biomassa dos diferentes grupos de espécies (leguminosas e gramíneas) para a biomassa aérea dos coquetéis. Entretanto, a separação das raízes apenas por identificação visual é extremamente difícil. Técnicas que utilizam isótopos estáveis são úteis para estimar as contribuições de plantas com diferentes sistemas fotossintéticos em misturas de plantas de diferentes espécies.

Estudos para o conhecimento sobre a biomassa e a distribuição de raízes vêm acontecendo há pelo menos 280 anos (JACKSON et al., 1996). Ao longo desse tempo foram desenvolvidas diversas técnicas de amostragem como: a lavagem de raízes na parede do perfil (RITCHNER et al., 2000), observação do crescimento das raízes através de um painel de vidro (MAGALHÃES FILHO et al., 2008), e escavações mais profundas na tentativa de observar a profundidade máxima atingida pelas raízes (CERRI; VOLKOFF, 1987). Essas técnicas de amostragem são usadas até os dias

atuais. Com o passar do tempo novos métodos surgiram, como o de radioisótopos, isótopos estáveis, traçadores estáveis (LEHMANN et al., 2001; MACHADO et al., 2011) e minirhizotron para avaliar zonas de enraizamento funcionais, gravação de vídeo e processamento de imagem, para acompanhar *in situ* o crescimento das raízes (BRASIL et al., 2007).

A falta de conhecimento sobre os processos na rizosfera em comparação com outros órgãos da planta esta relacionada com adificuldade causada pela inacessibilidade do sistema radicular (ESHEL & BEECKMAN, 2012).A capacidade que as plantas possuem de absorver e armazenar carbono tornou-se uma estratégia mitigatória aos efeitos das mudanças climáticas. Com isso, quantificar o estoque de carbono na biomassa dos ecossistemas é fundamental para caracterizar um determinado bioma e desenvolver estratégias sustentáveis. Segundo Sampaio e Freitas (2008), o interesse no estoque e produção de biomassa na vegetação relaciona-se com a acumulação de biomassa e de nutrientes nela contidos. A biomassa de raízes é um importante estoque de carbono e nutrientes, podendo ser um bom indicador da capacidade de produção de um sistema. Diante disto, o seguinte trabalho teve como objetivo estimar abiomassa subterrânea e as contribuições de plantas C3 e C4 em misturas de espécies cultivadas como adubos verdes em cultivo irrigado de manga na região do Submédio São Francisco.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A CULTURA DA MANGA

Originária do sudeste asiático, a manga é cultivada em diversos países, desde a região tropical até a equatorial. Em 30 anos, a produção mundial da manga dobrou, alcançando um volume de 35 milhões de toneladas de frutos em 2010, sendo a Ásia, com produção principalmente de mangas nativas, a responsável pela maior produção, seguida pelas Américas e pela África. O cultivo de manga orgânica tem, atualmente, um mercado crescente e com preços diferenciados, sendo a produção mundial de frutos estimada em 13 milhões de toneladas (MEDINA-URRUTIA et al., 2011).

O Brasil é um dos três maiores produtores de frutas frescas do mundo. Dados indicam que 43 milhões de toneladas foram produzidas em uma área de, aproximadamente, 2,5 milhões de hectares, em 2012 (IBRAF, 2014). A manga tem no Brasil o mercado interno como a principal fonte de escoamento da produção. Mesmo com o grande incremento observado atualmente, as exportações de manga no Brasil ainda não alcançaram 10% do volume total produzido no país. O Nordeste encontra-se em primeiro lugar, com aproximadamente 66% da produção nacional em 2013, seguido pela região Sudeste, com 32%. Bahia, São Paulo e Pernambuco foram responsáveis pela produção, em 2013, de 1.163 milhão de toneladas e juntos representam 77,25% da produção brasileira. (IBGE, 2013). A variedade mais plantada é a *Tommy atkins*, sendo a preferida comercialmente por mais de 80% dos produtores (BRITO, 2004)

Segundo Lima & Miranda (2000), a fruticultura proporcionou avanços nas estruturas sociais, pois na medida em que sua cadeia se intensificou, houve aumento na geração de empregos e desenvolveu a especialização da mão-de-obra, necessária para todo o processo de produção da manga na agricultura familiar. O espaço conquistado pelo Brasil no mercado internacional dessa fruta nessa década, evidencia o potencial da fruticultura tropical. Tal feito está relacionado pela oportunidade do recente crescimento da demanda mundial de frutas tropicais e suco de frutas (ALMEIDA et al., 2000). Os principais parceiros comerciais do país são a Europa, EUA, Ásia e Mercosul, que são bastante exigentes quanto às barreiras sanitárias e fiscalização das moscas das frutas.

2.2 ABUNDÂNCIA NATURAL DO C

As diferenças de composição isotópica em um composto é bastante utilizada em estudos ambientais e baseia-se na existência de proporções diferentes dos isótopos de determinados elementos, que participam do processo em estudo. Sua determinação é feita pelo espectrômetro de massa. Tais diferenças ocorrem naturalmente e são fruto de reações físico-químicas e/ou biológicas, possibilitando, a discriminação de um dos isótopos (MARTINELLI et al., 1988). Esse processo de discriminação isotópica é chamado de fracionamento isotópico, e pode ser resumido como um enriquecimento ou empobrecimento do isótopo pesado da amostra em estudo, em relação a uma fonte conhecida (LOPES, 2001).

O ciclo do carbono é caracterizado pela troca constante de CO₂ entre a atmosfera, ecossistemas terrestres e a superfície do oceano. Na natureza podem ser encontrados dois tipos de isótopos estáveis, o ¹²C e o ¹³C, que correspondem a 98,89% e 1,11% da composição total, respectivamente. Os valores de δ¹³C do CO₂ atmosférico diminuem em resposta às entradas de C empobrecido, isso acontece pela ocorrência frequente da queima de combustíveis fósseis, biomassa vegetal queimada ou em decomposição. Em ambientes aquáticos, o valor de δ¹³C varia amplamente dependendo da fonte de CO₂ dissolvido e sua origem, podendo ser de rochas calcárias, minerais, atmosfera ou da matéria orgânica (PETERSON; FRY, 1987).

Plantas de ciclo fotossintético C₃, em sua maioria as dicotiledôneas, tendem a discriminar mais o ¹³C apresentando um δ¹³C que varia entre -20 e -30 ‰, contrastando com plantas de ciclo C₄, que apresentam valores de -9 a -17 ‰. A matéria orgânica do solo reflete a abundância de ¹³C do material vegetal do qual se derivou. No processo de decomposição de resíduos vegetais a discriminação isotópica do ¹³C praticamente é nula entre o material de origem e a matéria orgânica (MELILLO et al., 1989). Logo, a origem da matéria orgânica do solo pode ser identificada através da abundância natural (ALVES et al., 2008).

A utilização da abundância natural para análise de isótopos de carbono estáveis tem sido um método para determinar a proporção desse elemento em tecidos de amostras de biomassa aérea, radicular e outros (LUDLOW et al., 1976). As análises isotópicas são feitas através da relação de ¹³C/¹²C das amostras em estudo em comparação com um valor padrão internacional PDB, na qual, essa referência é de 0,01124. O resultado da composição isotópica é a diferença entre o ¹³C/¹²C das plantas

em estudo em relação a esse PDB, expresso em valor negativo, pois a relação molar do material vegetal é inferior ao da amostra padrão, gerando valores muito pequenos sendo necessários a expressão por mil (‰) (O'LEARY, 1981). Diferenças nos valores de $\delta^{13}\text{C}$ para raízes de uma planta C3 são muito pequenas entre os tipos de plantas (por exemplo, C4). Folhas e brotos geralmente são mais empobrecidas em ^{13}C (1,0%) do que raízes (BADECK et al., 2005; KLUMPP et al., 2005), embora o CO_2 produzido na respiração por rebentos seja mais enriquecido do que as raízes.

As diferentes amostras das plantas contendo uma mistura de espécies C3 e C4 devem refletir quantitativamente as proporções e que ao ser determinadas a partir de valores de $\delta^{13}\text{C}$ de cada componente individual, para qualquer parte da planta, seja folha, raiz, hastes ou sementes os valores de $\delta^{13}\text{C}$ não variem para uma espécie em particular e consequentemente mantenham a diferença entre as espécies (TROUGHTON & CARD, 1975). Assim, análise isotópica são úteis para estudos de proporção de raízes com combinações de plantas C3 e C4 (SVEJCAR & BOUTTON., 1985; SVEJCAR et al. 1988).

Outro fator que deve ser considerado é que sob um regime de seca ou alta evapotranspiração, as espécies podem exercer diferentes níveis de fechamentos estomáticos. Em plantas C3, à medida que há um fechamento dos estômatos os valores ^{13}C tornam-se menos negativo, enquanto que em plantas C4 ocorre o oposto (FARQUHAR et al., 1982). Assim, as proporções de isótopos de carbono nos tecidos podem variar de acordo com a época sazonal e isso pode diferir entre espécies (KLOEPPEL et al., 1998).

2.3 FIXAÇÃO BIOLÓGICA DO NITROGÊNIO EM LEGUMINOSAS E GRAMÍNEAS

A maioria das espécies de leguminosas é capaz de se associar simbioticamente com bactérias fixadoras de nitrogênio de vários gêneros, denominadas coletivamente de rizóbios (FARIA & FRANCO, 2002). Em leguminosas, a fixação biológica de nitrogênio (FBN) ocorre no interior de nódulos, induzidos pela colonização das raízes pelas bactérias (HUNGRIA et al., 2000). O desenvolvimento dos nódulos é iniciado pela troca de sinais químicos moleculares entre a planta e o simbionte (HUNGRIA et al., 1994). Os nódulos e a planta hospedeira são perfeitamente interligados por meio de

vasos xilemáticos e floemáticos e, portanto, totalmente integrados em termos hormonais e nutricionais. O processo de FBN requer um suprimento contínuo de carboidratos que fornecem tanto a energia para a redução do nitrogênio, quanto os esqueletos de carbono necessários à assimilação da amônia produzida. Durante os processos de colonização e desenvolvimento dos nódulos, energia é necessária às divisões celulares e é obtida da oxidação dos carboidratos produzidos na parte aérea da planta hospedeira (SILVEIRA et al., 2001).

As leguminosas possuem o mecanismo simbiótico mais sofisticado e eficiente entre as associações de plantas superiores com bactérias fixadoras de N_2 e as leguminosas de grão e forrageiras têm papel importante na agricultura tropical. O sucesso da soja, no Brasil, deve-se a um programa de melhoramento direcionado à obtenção de cultivares com alta produção, sem adubação nitrogenada, e ao desenvolvimento em paralelo de inoculantes contendo rizóbios adaptados às condições dos solos brasileiros. O avanço da soja para os cerrados deve-se, além da identificação e solução dos problemas de fertilidade, principalmente à obtenção de inoculantes novos capazes de competir com a microflora de um ecossistema perturbado após a conversão em terras de cultura (BARROS, 2015).

Os primeiros registros de estudos da FBN em gramíneas no Brasil surgiram nos anos 1950. O primeiro pesquisador na área foi Johanna Döbereiner em parceria com o Centro Nacional de Educação e Pesquisa Agropecuária do Ministério da Agricultura. Dentre as gramíneas mais estudadas, a cana-de-açúcar destaca-se pelos primeiros estudos, da qual foi isolada a bactéria fixadora de N *Beijerinckiafluminensi*, a partir da rizosfera da planta (DÖBEREINER & RUSCHEL 1958). Estima-se que a economia potencial com adubação nitrogenada nessa cultura seja de 200 milhões de reais por ano, sendo a FBN responsável por 65% do N acumulado pela planta (REIS et al., 2006).

O sistema radicular das gramíneas é fasciculado, tendo vantagens sobre o sistema pivotante das leguminosas, proporcionando maior exploração da área do solo, extraíndo maior quantidade de água e nutrientes. Mesmo que apenas uma parte do nitrogênio possa ser fornecida pela associação com bactérias fixadoras, a economia em adubos nitrogenados seria igual ou superior àquela verificada com as leguminosas que podem ser autossuficientes em nitrogênio (DÖBEREINER, 1992).

2.4 ADUBAÇÃO VERDE

A produção das culturas agrícolas é impulsionada por diversos fatores edafoclimáticos, fenológicos, nutricionais, entre outras. Um dos nutrientes mais importantes para obtenção de uma alta produtividade é o nitrogênio, de modo que quase sempre é necessária alguma fonte de adubação desse macronutriente. Uma alternativa bastante viável para suprir a demanda do N é a introdução de espécies leguminosas consorciadas (ESPINDOLA et al., 2006a, 2006b). Como vantagem, além de fixar o nitrogênio pela simbiose, proporcionam elevada produção de biomassa e economia na utilização de fertilizantes (ESPINDOLA et al., 2006). O uso de leguminosas como cobertura viva intercalada com frutíferas proporciona uma maior proteção do solo, além disso, associa a manutenção da fertilidade como consequência da adubação verde, fixa C e N atmosféricos e maximiza a ciclagem de nutrientes, favorecendo a atividade biológica do solo (PERIN, 2001).

A adubação verde é uma prática na qual utilizam-se culturas como leguminosas e gramíneas para melhorar as características físicas e químicas do solo. Além disso, proporciona uma maior ciclagem de nutrientes, controle da erosão, aporte de nitrogênio, controle da temperatura do solo, aumento da matéria orgânica do solo, controle de plantas invasoras e sequestro de carbono. A utilização de coquetel vegetal, no qual se misturam diversas espécies de plantas, é uma alternativa apresentada para a agricultura irrigada no Semiárido brasileiro. A semeadura de diversas plantas busca uma maior diversidade de espécies vegetais (PIRES et al, 2011).

O consórcio entre leguminosas fixadoras e plantas não fixadoras é uma alternativa de incremento de nitrogênio no solo (PERIN et al., 2003). Além disso, outra característica importante das leguminosas é a baixa relação C/N, quando comparada a plantas de outras famílias. Este aspecto, aliado à grande presença de compostos solúveis, favorece sua decomposição e mineralização por micro-organismos do solo e a reciclagem de nutrientes (ZOTARELLI, 2000). Alguns fatores influenciam na liberação desses nutrientes: interação entre espécies utilizadas, manejo da fitomassa, época de semeadura, composição química do resíduo vegetal e relação C/N e condições edafoclimáticas (CRUSCIOL et al., 2008). A elaboração de técnicas de manejo de plantas de cobertura e a compreensão das interações desses fatores assumem papel importante na dinâmica das culturas (GAMA-RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES; BRITO, 2007).

Perin et al. (2004) observaram a importância da crotalária na adubação verde, fixando e incorporando o nitrogênio no solo, com 57 % do N da biomassa proveniente da FBN e o restante retirado do solo. Quando consorciada com o milho, o aumento do nutriente foi de 61%, o que evidencia uma grande competição pelo N mineral do solo em relação à leguminosa. Prellwitz & Coelho (2011) avaliaram os efeitos do cultivo de *Crotalaria juncea* L. semeada nas entrelinhas da soca de cana-de-açúcar, na produtividade de colmos, no índice de área foliar e no acúmulo de N. Verificaram que, após 110 dias de semeadura, a produtividade média foi a mesma da obtida no monocultivo com adubação de cobertura e com controle de plantas daninhas, mas superior à do tratamento em plantio solteiro não adubado e sem controle de plantas daninhas. Nos tratamentos consorciados com a leguminosa, foram medidos maiores teores de nitrogênio foliar do que naqueles em monocultivo.

Pretere et al. (2008), estudando diversas espécies utilizadas como coquetel vegetal em consórcio com mangueiras em Petrolina PE, observaram que o efeito dessas plantas depende da qualidade e quantidade da fitomassa produzida, e que uma proporção maior de gramíneas e oleaginosas em relação às leguminosas contribui para tal feito. Isso porque há uma relação C/N maior, que favorece maior permanência do material no solo, que material com maior quantidade de leguminosas. Perin et al. (2004) relataram efeitos do cultivo isolado ou adubação verde sobre a produção de fitomassa, acumulação e fixação de N, utilizando quatro diferentes tratamentos: crotalária, milho, crotalária + milho e vegetação espontânea. Após 68 dias de plantio, a crotalária apresentou fitomassa maior ($9,34 \text{ t ha}^{-1}$) que os demais tratamentos, porém só foi significativamente maior que a biomassa da vegetação espontânea ($4,49 \text{ t ha}^{-1}$). Ocorreu maior acúmulo de N com a crotalária (305 kg ha^{-1}), enquanto que o milho apresentou $96,79 \text{ kg ha}^{-1}$. O plantio consorciado com crotalária e milho proporcionou 218 kg ha^{-1} , e a vegetação espontânea 126 kg ha^{-1} de N acumulado. A FBN contribuiu com 173 e 89 kg ha^{-1} , correspondendo a 57% e 61% do N nas plantas no cultivo isolado da crotalária e consorciado com milho, respectivamente.

A FBN pelas leguminosas em simbiose com rizóbios é a principal vantagem do uso dessas espécies para adubação verde. Demétrio et al. (1998) relataram que a incorporação de feijão-bravo (*Canavalia brasiliensis*) proporcionou aumento na produção e acúmulo de N no milho, semelhante aos resultados obtidos com a aplicação de 560 kg ha^{-1} de N. Tal feito é muito importante, pois proporciona um menor gasto com insumos e diminuição dos custos na agricultura. Recentemente, trabalhos desenvolvidos

com coquetéis vegetais para adubação verde na cultura do melão relataram que a FBN em gramíneas também é uma importante via de entrada do nutriente ao sistema (FERREIRA NETO, 2017).

2.5 BIOMASSA RADICULAR DE PLANTAS

A biomassa radicular e as partes subterrâneas são compartimentos muitas vezes ignorados nas estimativas de estoques de biomassa vegetal (MARTÍNEZ-YRIZAR, 1995). Esses compartimentos são responsáveis por até 70% da biomassa total em alguns ecossistemas naturais, como o Cerrado (RIBEIRO et al., 2011). Segundo Jackson et al. (1996) os ecossistemas tropicais úmidos são os que apresentam maiores biomassas radiculares (50 Mg ha^{-1}). O estudo ainda afirma haver uma redução da biomassa das raízes quando quantificadas em terras agrícolas e áreas de pastagem (15 Mg ha^{-1}), sendo corroborado por Jaramillo (2003a,b), tanto em florestas tropicais úmidas quanto em florestas tropicais secas. As raízes constituem um importante compartimento nos estoques de biomassa mundial (JACKSON et al., 1996) Estoques chegam a representar de 29 a 55 % da biomassa florestal nos trópicos, tendo as florestas do Brasil um importante papel nos estoques globais (MOKANY et al., 2006)

A cobertura vegetal proporciona infiltração de água, protegendo o solo contra a erosão e carreamento de nutrientes para rios e áreas inapropriadas que muitas vezes deixamos solo esgotado de nutrientes necessários para a agricultura. Por outro lado, a desagregação do solo através da penetração das raízes faz com que partículas muito agregadas se decomponham mais facilmente. Assim, conhecer o sistema radicular é de fundamental importância para se obter informações para aplicação de técnicas de produção eficazes. Até porque, é através desse sistema que as plantas conseguem retirar água do solo, com os nutrientes necessários para distribuição para todos os seus compartimentos. Um dos métodos utilizados para se conhecer essa dinâmica é o uso de isótopos radioativos, técnica pouco usada no Brasil (BOARETTO et al., 2004).

No Bioma Caatinga, que ocorre no Semiárido brasileiro, os trabalhos sobre biomassa radicular de plantas ainda são escassos, devendo sempre ter cuidados na generalização dos dados, a maioria estão limitados a camadas superiores do solo. Salcedo et al. (1999) estudando o estoque de biomassa de raízes na caatinga em camadas de até 5 mm de espessura e 30 cm de profundidade, verificaram que a

produção variou de 3 a 8 Mg ha⁻¹. Poucos são os trabalhos que estimam os estoques de raízes em sistemas de cultivo no Semiárido.

2.6 MATÉRIA ORGÂNICA

Conhecer a dinâmica da matéria orgânica em solos tropicais é de fundamental importância para os mais variados componentes do sistema. Ela é responsável por características químicas, físicas e biológicas que determinam o potencial de fertilidade do solo e de fornecer condições adequadas para o crescimento de culturas agrícolas. O carbono é o principal componente da matéria orgânica do solo (MOS) e seu conteúdo advém da incorporação de resíduos vegetais interagindo com micro-organismos do solo, podendo proporcionar uma maior disponibilidade de acordo com sua qualidade e o acúmulo de MOS (URQUIAGA et al., 2008).

Segundo Vitorello et al. (1989), a quantificação através de medidas isotópicas do carbono da matéria orgânica do solo é usada para relatar os efeitos das práticas de uso da terra e na estrutura do ecossistema. Como exemplo tem-se a determinação da proporção do carbono da MOS originário de uma cultura de ciclo fotossintético C₄ (cana-de-açúcar), implantada após predominância de cobertura vegetal de plantas C₃ (floresta).

Os principais solos do Semiárido brasileiro são Argissolos e Latossolos, que ocupam 36% da região e apresentam teores de carbono de 9,7 g.Kg⁻¹ e 8,9 g.Kg⁻¹, respectivamente (GIONGO et al., 2011). A utilização de determinadas plantas como adubo verde em um ecossistema limitado para fixar C pela falta de água, pode ser uma alternativa para o aumento do teor de matéria orgânica dos solos (SAMPAIO & SALCEDO, 1997).

A mineralização da matéria orgânica influencia diretamente na disponibilidade dos nutrientes para as culturas (FRAGA & SALCEDO, 2004). A intensidade e velocidade de mineralização da matéria orgânica podem variar de acordo com as fontes dos resíduos vegetais (ALVES et al., 2011). Os processos de decomposição e da mineralização dos nutrientes dependem principalmente do meio físico, dos organismos decompositores e da qualidade do material vegetal (VANLAUWE et al., 2005). Comumente, a qualidade tem sido definida pelo teor de N, pelos tipos e proporções de compostos presentes no material vegetal e por suas relações (PALM et al., 2001b).

Vários Trabalhos relatam modificações nos estoques de C e N do solo, com perda da matéria orgânica e alteração na biota do solo (CERRI et al., 2007; MELLO et

al., 2014). Um dos principais fatores que causam maiores perdas de carbono orgânico do solo é a conversão da floresta primária em terras cultiváveis (-25%), culturas perenes (-30%) e em pastagens (-12%) (DON et al., 2011).

A altitude também é um fator aparentemente determinante que apresenta correlação positiva nos estoques de biomassa nas florestas tropicais úmidas (SOUSA NETO et al., 2011) o que parece acontecer por causa do maior acúmulo de matéria orgânica no solo, que resulta em maior disponibilidade de nitrogênio. As florestas maduras possuem um importante papel nos estoques de carbono no solo e sua conversão em florestas perturbadas causa perdas nos estoques (-9%). Esses autores enfatizam que os estoques de carbono podem ser parcialmente reversíveis com a conversão de sistemas agrícolas em pastagem (+26%) ou em terras agrícolas em pousio (+31%). As raízes possuem a capacidade de aumentar esses processos de reversão, pois junto com a serapilheira colaboram na preservação dos estoques do carbono orgânico do solo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Descrição do experimento em campo

O estudo foi conduzido em um experimento de longa duração contemplando o cultivo de mangueira, instalado em 2008, localizado no Campo Experimental de Bebedouro, Petrolina, PE, em um ARGISSOLO Vermelho-Amarelo distrófico plúntico, textura média/argilosa, relevo plano, cujos atributos químicos e físicos estão apresentados na Tabelas 1 e 2.

Tabela 1: Atributos químicos do solo da área de cultivo da manga antes da implantação dos coquetéis vegetais

Prof. (cm)	MO	pH	CE	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	S	CTC	V
											(bases)		
g kg-1	1:2,5	Ext	mg					c mol dm-3					%
1		Sat	dm-3										
0-5	9,77	7,1	0,27	42,5	0,37	0,02	1,97	1,00	0,05	0,28	3,37	3,65	91,54
5-10	7,63	6,9	0,35	42,5	0,42	0,02	1,8	1,12	0,05	0,41	3,36	3,77	89,22

Tabela 2: Atributos físicos do solo da área de cultivo da manga antes da implantação dos coquetéis vegetais.

Profundidade Cm	Densidade		Porosidade		Granulometria		
	Solo	Partículas	Total (%)	Areia total	Silte	Argila	
	kg dm-3				g kg-1		
0-5	1,48	2,55	42,84	836	126	38	
5-10	1,47	2,60	43,05	822	141	36	

O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso, com parcelas subdivididas e os tratamentos consistiram em três sistemas de culturas intercalares (ou adubos verdes) e duas formas de manejo da biomassa produzida pelas mesmas, com quatro repetições. As parcelas (24 m x 45 m) corresponderam às duas formas de manejo e os três tratamentos de adubos verdes constituíram as subparcelas. Os tratamentos de adubos verdes corresponderam a duas misturas de espécies (denominadas de coquetéis vegetais) e um terceiro tratamento no qual foi permitido o crescimento de plantas espontâneas. As duas formas de manejo foram a incorporação da biomassa dos adubos verdes e das plantas espontâneas ao solo ou a deposição da biomassa na superfície do solo. Cada tratamento foi constituído por uma parcela com nove plantas de mangueira cultivadas em espaçamento de 5 x 8 m.

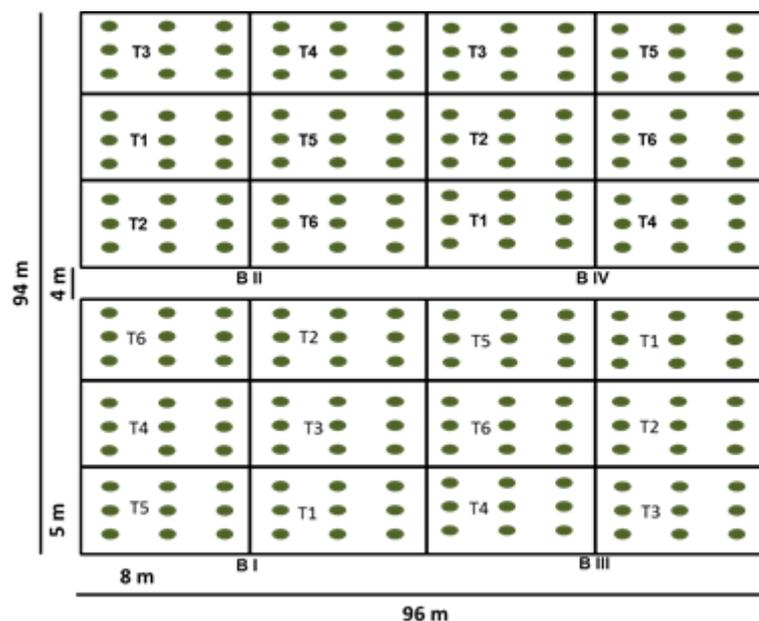


Figura 1: Croqui da área do experimento das mangueiras.

Os coquetéis vegetais foram preparados misturando-se sementes de dois grupos de espécies: leguminosas e gramíneas + oleaginosas. As sementes das diversas espécies utilizadas foram misturadas em duas proporções relativas às densidades de semeadura (sementes m^{-1}) recomendadas para cada espécie: 1) no coquetel vegetal 1, as sementes foram misturadas em quantidades correspondentes a 50% da recomendação para as oleaginosas e gramíneas e 150% da recomendação de cada espécie de leguminosa; e 2) no coquetel 2, as sementes foram misturadas em quantidades correspondentes a 150% da recomendação para as oleaginosas e gramíneas e 50% da recomendação de cada espécie de leguminosa.

As espécies de gramíneas utilizadas nos coquetéis vegetais foram milheto (*Pennisetum glaucum* (L.)), milho (*Zea mays* L.) e sorgo (*Sorghum bicolor* (L.)), as leguminosas utilizadas foram duas crotalárias (*Crotalaria juncea* L. e *C. spectabilis* Roth), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC.), lablab (*Dolichos lablab* L.), duas espécies de mucunas (*Mucuna aterrima* (Piper & Tracy) Holland e *M. nivea* (Roxb.) DC. ex Wight & Arn.) e feijão-guandu (*Cajanus cajan* (L.) Huth). As oleaginosas utilizadas foram gergelim (*Sesamum indicum* L.), girassol (*Helianthus annuus* L.) e mamona (*Ricinus communis* L.).

O espaçamento das linhas de semeadura dos coquetéis vegetais foi de 0,5m, com a primeira linha localizando-se a 1 m da base do caule da mangueira. Após abertas as

linhas, inicialmente foram semeadas as sementes de menor tamanho, seguindo as de tamanho intermediário e posteriormente as de maior tamanho, garantindo assim a uniformidade de distribuição. Os coquetéis vegetais foram plantados entre os meses de novembro e fevereiro, logo após da colheitas dos frutos.

Em 2014, no cultivo das mangueiras, foram realizadas aplicações de calcário calcítico e gesso agrícola antes do plantio dos coquetéis vegetais (2 kg por planta, onde cada planta ocupa uma área de 40 m²) e na área só vem sendo realizada adubação verde.

O manejo de irrigação foi por microaspersores, utilizando-se um emissor por planta, realizado com base na tensiometria, sendo as leituras realizadas com tensímetro digital. Anualmente são realizadas podas das fruteiras, após o período de colheita das mangas.

As plantas dos coquetéis vegetais foram cortadas, aproximadamente, 70 dias após o plantio, quando atingiram o florescimento pleno, e manejadas seguindo os dois sistemas de preparo do solo. Nos tratamentos com deposição do material na superfície do solo, as plantas foram cortadas com roçadeira. Nos tratamentos com enterrio do material, as plantas foram incorporadas na camada superficial (20 cm) do solo por meio de aração e gradagem.

3.2 Amostragem da biomassa e processamento das raízes

Para determinação da biomassa do sistema radicular, foram feitas amostragens de solo no oitavo ano após implantação do experimento (2016). Para a coleta, foi utilizado um trado tipo caneco com 10 cm de diâmetro, retirando cilindros de solo em 5 camadas de 20 cm de altura, até a profundidade de 1 m. Em cada parcela com cultivo dos coquetéis vegetais, foram realizadas três tradagens em linhas de cultivo do coquetel e três tradagens entre linhas do plantio, constituindo as amostras simples. Para cada parcela, amostras compostas para linha e entrelinha foram obtidas juntando as 3 amostras simples coletadas em cada situação. De cada amostra composta, as raízes foram separadas, limpas e acondicionadas em sacos.

Indivíduos de cada espécie utilizada nos coquetéis foram retirados cuidadosamente do solo de cada parcela e o sistema radicular foi lavado. Raízes que permaneceram presas às plantas foram coletadas e processadas separadamente (como descrito para as amostras coletadas nas tradagens).

Após serem lavadas, as amostras de raízes foram secas em estufa a 65 °C, pesadas, moídas e preparadas para determinação dos teores totais de carbono (%), em analisador elementar, e das abundâncias naturais do isótopo ^{13}C , por espectrometria de massa, no Laboratório de Isótopos Estáveis (LABISE) do Departamento de Geologia, da UFPE. As amostras foram pesadas em cápsulas de estanho em uma balança analítica Metler (precisão de 0,00001g). Em seguida, estas cápsulas foram introduzidas em analisador de combustão elemental (COSTECH) e queimadas a 1020 °C em colunas contendo CrO, e transferidas para outras colunas contendo Cu^{2+} , a 650 °C, para liberação de N_2 e CO_2 , que são então separados por cromatografia de troca iônica. As composições elemental e isotópica do gas CO_2 foram analisadas em um espectrômetro de massa Thermofinnigan Delta V Advantage (os cilindros de CO_2 atrelados ao Delta foram calibrados contra padrões internacionais). As raízes de cada espécie de planta utilizada nos coquetéis também foram processadas da mesma maneira. As abundâncias foram expressas em unidades de delta (δ ‰), calculadas pela equação:

$$\delta = (\text{Ramostra}/\text{Rpadrão} - 1) \times 1000$$

Em que: Ramostra e Rpadrão são as razões $^{13}\text{C}:^{12}\text{C}$ de cada amostra e do padrão (PeeDeeBelemnite).

3.3. Determinação das proporções de raízes de plantas C3 e C4

A determinação da proporção de plantas C3 e C4 em amostras baseia-se na variação da razão $R = ^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, que é maior em plantas com sistema fotossintético C4 que em plantas com sistema C3.

De acordo com Mordélet et al. (1997) se as razões isotópicas das plantas C3 e C4 são conhecidas, a proporção pode ser calculada utilizando equações de balanço de massa. Assim, as contribuições de C3 e C4 para a fitomassa pode ser calculada para qualquer mistura de raízes de plantas cultivadas nas mesmas condições e no mesmo local por meio das seguintes equações:

$$\text{BC3} + \text{BC4} = 1$$

$$-28,85 \text{ BC3} - 13,04 \text{ BC4} = \delta^{13}\text{C}_{\text{amostra}}$$

Em que BC3 é a biomassa de raízes C3, BC4 é a biomassa de raízes C4 e $\delta^{13}\text{C}_{\text{amostra}}$ é a abundância natural de ^{13}C em cada amostra coletada em campo.

3.4. Análises estatísticas

Os dados foram submetidos a diferentes análises de variância (ANOVA), de acordo com a variável dependente e com a montagem do experimento. Para comparar as quantidades totais de biomassa e de proporção de raízes, considerando que os experimentos foram montados em blocos ao acaso com parcelas subdivididas, cujas parcelas principais foram compostas por dois sistemas de preparo de solo e as parcelas subdivididas por seis tratamentos, com quatro repetições e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Todos os testes foram realizados utilizando-se o programa estatístico Sisvar 5.6 (FERREIRA, 2014).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para todos os tratamentos, a maior quantidade de raízes foi encontrada na camada mais superficial do solo (até 20 cm), com proporções variando entre 46% e 67% da biomassa total de raízes produzida em até 1 m de profundidade (Tabela 3). Quando o solo não foi revolvido para incorporação da biomassa aérea dos coquetéis vegetais e da vegetação espontânea, não houve diferença significativa com relação à biomassa de raízes produzida em nenhuma das camadas. Entretanto, nos tratamentos com revolvimento do solo, observou-se que a vegetação espontânea sempre apresentou uma maior quantidade de biomassa de raízes que os coquetéis vegetais, sendo a diferença significativa em relação ao coquetel 1 apenas na camada de 60 a 80 cm. Como consequência, a quantidade total de raízes produzida neste tratamento foi a maior, chegando a representar a mais que 2,5 vezes a quantidade produzida pelo coquetel 2 com revolvimento e mais que 1,6 vezes a quantidade produzida pelas plantas espontâneas no tratamento sem revolvimento. O não revolvimento do solo permitiu a maior produção de raízes de ambos os coquetéis estudados. É importante salientar que as diferenças encontradas entre os tratamentos com e sem revolvimento são devidas ao manejo aplicado no ciclo de cultivo anterior, uma vez que se trata de um experimento que vem sendo repetido desde 2008.

A concentração de biomassa radicular na camada de 0 a 20 cm de profundidade, em ambos os manejos do solo, corrobora os resultados encontrados por Tavares Filho et al. (2001), observaram que em plantio convencional as raízes de milho se desenvolviam mais superficialmente, na camada de até aproximadamente 0,15 m em solo solto, sobre uma camada compactada, que limitava a penetração das raízes; enquanto que, no plantio direto por mais de 20 anos, foi observado um sistema radicular mais bem distribuído no perfil do solo, em razão da melhor condição de continuidade estrutural do solo.

Rackowski (1988) & Cox et al. (1990) compararam o enraizamento em sistemas com e sem revolvimento do solo, encontrando menores biomassas até a camada de 0,50m que no sistema convencional, fato explicado por maiores teores de umidade nas camadas superficiais, fazendo que as raízes não penetrassem facilmente no solo. Akpo (1993), estudando savanas áridas de Senegal, encontrou 55% das raízes nos 50 cm superiores de solo, isso pode ter ocorrido pelo fato de espécies de gramíneas constituírem a maior parte da vegetação (MORDELET & MENAUT 1995).

Tabela 3: Biomassa radicular de coquetéis vegetais em consórcio com mangueira em Petrolina-PE, 2017.

Profundidade (cm)	Coquetel 1 (t/ha ⁻¹)	Coquetel 2 (t/ha ⁻¹)	Vegetação Espontânea (t/ha ⁻¹)
Sem Revolvimento			
0-20	7,93aA	8,49aA	9,06aA
20-40	2,76aA	1,70aA	3,06aA
40-60	1,89aA	1,27aA	2,48aA
60-80	0,96aA	1,08aA	0,84aA
80-100	0,66aA	0,74aA	0,62aA
Total	14,20aA	15,27aA	16,20aA
Com Revolvimento			
0-20	7,81aA	5,70aA	11,87aA
20-40	1,85aA	1,42aA	6,55aA
40-60	0,66aA	1,18aA	5,14aA
60-80	0,46bA	0,83abA	1,38aA
80-100	0,87aA	0,73aA	1,04aA
Total	11,64aA	9,86aA	25,97aA

Letras minúsculas na linha comparam os tratamentos (coquetel 1, coquetel 2 e vegetação espontânea) de cada manejo por profundidade, letras maiúsculas na coluna comparam os sistemas de manejo (sem revolvimento e com revolvimento do solo) por profundidade. Letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Segundo Giongoet al. (2011), a utilização de coquetéis vegetais associada ao não revolvimento do solo pode se tornar uma estratégia de manejo viável para o cultivo de manga nos solos do Semiárido brasileiro. Embora as elevadas temperaturas e intensidade de insolação, características do clima semiárido, associadas à alta disponibilidade de água, nos sistemas de cultivo da manga irrigada, aumentem a desordem do sistema, favorecendo o estado de mínima energia e máxima desordem, implicando na redução do estoque de carbono.

Diversos trabalhos também relatam a importância no cultivo da mistura de leguminosas e gramíneas, em que plantas C4 se beneficiam pela fixação do N₂ atmosférico e excreção direta de compostos nitrogenados pelas raízes. Dias et al. (2007) afirmam que além do aporte de raízes, deve-se considerar o grande aporte de biomassa aérea produzida pelas plantas dos coquetéis e espécies espontâneas. Esses mesmo autores ainda afirmam que muitos trabalhos têm sido realizados com a hipótese de que na mistura de gramíneas (C4) e leguminosas (C3), as plantas C4 são beneficiadas. Isso se deve, segundo os mesmos autores, a fixação do N₂ atmosférico e excreção direta dos compostos nitrogenados liberados pelas raízes ou pela decomposição da lideira. Assim, parte do N necessário ao desenvolvimento e crescimento de uma gramínea forrageira pode ser adquirida com a introdução de leguminosa no sistema.

Souza (2017), estudando diferentes coquetéis vegetais encontrou para o coquetel com predomínio de sementes de leguminosas mais biomassa que as de plantas espontâneas, com aumento de mais de 6,5 ton/ ha⁻¹ em um ano, e no ano seguinte, aumento de pouco mais de 5 ton/ ha⁻¹. O milho e a mucuna foram as espécies que mais se destacaram nos cultivos dos coquetéis.

Segundo Favero et al. (2000), espécies consideradas como vegetação espontânea, podem promover os mesmos efeitos de cobertura do solo, produção de biomassa e ciclagem dos nutrientes que as espécies introduzidas ou cultivadas para adubação verde.

Os valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ dos indivíduos estudados estavam dentro das faixas de valores relatados na literatura para plantas com sistema fotossintético C3 e C4 (Tabela 4). Resultados parecidos foram encontrados por Polley et al., (1992) que, estudando diferentes misturas de espécies, encontraram valores -11,35‰ e -12,26 ‰ para plantas C4 (*Sorghum bicolor* e *S. scoparium*) e de -27,76‰ e -25,96‰ para espécies C3 (*P. glandulosa* e *C. laevigata*).

Tabela 4: Análise isotópica de indivíduos de plantas C3 e C4 e vegetação espontânea cultivados com a mangueira em Petrolina-PE

Indivíduo	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
Milho	-13,36
Espontânea Gramínea	-13,00
Bredo	-12,92
Espontânea Gramínea	-13,79
<i>C.speciabilis</i>	-23,63
Gergelim	-26,88
Milheto	-15,43
Salsa	-27,15
Espontânea Leg.	-28,56
Girassol	-27,74
<i>C.juncea</i>	-27,77
Mamona	-28,91
Feijão de porco	-28,73
Asteraceae	-28,73
Espontânea Leg.	-29,91
Espontânea Leg.	-30,64
Orelha de onça	-28,33
Feijão guandu	-29,12
Euphorbiaceae	-26,74
Malva	-27,81
ND	-27,83
Mucuna	-30,82

ND: Espécie não definida.

Os coquetéis vegetais foram compostos de leguminosas e gramíneas, espécies com sistemas fotossintéticos diferentes. As espécies encontradas foram (*Digitaria bicornis*(Lam.) Roem. &Schult., *Digitaria* sp.) e leguminosas (*Desmodiumtortuosum*(Sw.) DC., *Indigofera hirsuta* L., *Macroptiliumlathyroides*(L.) Urb., *M. martii*(Benth.) Maréchal&Baudet, *Mimosa pudica* L.), além de esoppecies de outras famílias botânicas, incluindo Amaranthaceae (*Amaranthusviridis*L.) (Asteraceae (*Tridaxprocumbens*L., *Acanthospermumhispidum*DC.), Comelinaceae (*Commelina difusa* Burm. f.), Convolvulaceae (*Ipomoeabahiensis*Willd. ex Roem. &Schult., *I. mauritiana*Jacq.), Euphorbiaceae (*Euphorbiachamaeclad* e Malvaceae (*Waltheriarotundifolia*Schrank. e *Waltheria*sp.). Entre as espontâneas, as leguminosas *I.*

hirsuta e *D. tortuosume* as gramíneas *D. bicornise* *Digitaria* sp. destacaram-se na produção de biomassa (Souza,2017)

A tendência de predominância de plantas C3 foi observada em todas as profundidades das amostras estudadas (Tabela 5), provavelmente a grande presença de raízes de mangueira é um fator que deve ser considerado para o aumento do sinal isotópico.

Tabela 5: Análise isotópica de coquetéis vegetais em consórcio com a mangueira em Petrolina –PE

Prof (cm)	Coquetel 1 (t/ha)		Coquetel 2 (t/ha)		Vegetação Espontânea (t/ha)	
	L	EL	L	EL	L	EL
Sem revolvimento						
0-20	-23,67	-24,06	-23,94	-25,73	-23,33	-21,1
20-40	-26,04	-24,25	-25,73	-25,16	-20,46	-20,12
40-60	-26,74	-27,31	-26,45	-26,28	-23,11	-20,44
60-80	-27,41	-27,59	-27,60	-26,86	-21,91	-20,49
80-100	-26,82	-27,95	-27,04	-26,67	-22,83	-22,14
Com revolvimento						
0-20	-25,35	-26,04	-24,59	-24,15	-26,49	-26,44
20-40	-22,71	-25,02	-24,85	-26,03	-27,35	-27,41
40-60	-23,57	-26,76	-27,11	-26,24	-26,67	-26,54
60-80	-24,96	-27,25	-27,39	-27,71	-27,32	-27,15
80-100	-26,59	-27,15	-25,71	-25,97	-27,65	-27,35

L= Linha EL= Entrelinha

Os resultados isotópicos demonstraram que através da técnica de abundância natural do $\delta^{13}\text{C}$ pode se determinar a biomassa das raízes de diferentes composições de plantas e estudar crescimento radicular. Além disso, diferenças na concentração isotópica ou N Total pode ser explorado para estudar mecanismos de competição radicular entre leguminosas e outras espécies C3 (ARCHER, 1989). Segundo Polley et al., (1992) os índices isotópicos e as concentrações de elementos na biomassa de raízes de espécies individuais em diferentes misturas de vegetais podem ser mais precisamente estimados se essas raízes apresentarem tamanho semelhante para as que compõem a

maior parte da amostra e que são coletadas simultaneamente com as que contêm a mistura de espécies.

Em todos os tratamentos, as proporções de raízes de plantas C3 foram maiores que os de plantas C4 (Tabela 6), sem diferença significativa nas proporções entre os coquetéis vegetais e vegetação espontânea, para os dois tratamentos de revolvimento do solo. Entretanto, o manejo do solo afetou as proporções de raízes de plantas C3 e C4 da vegetação espontânea. As proporções de raízes de gramíneas foram menores e, conseqüentemente, as de plantas C3 foram maiores. Tal feito pode ser explicado pelo fato que nas camadas mais inferiores do solo teve presença de raízes de mangueira, sendo uma planta C3 a contribuição é evidente, fazendo que essa diferença nas proporções seja bastante alta, mesmo no coquetel com mais sementes de gramíneas, outro fator que explica tal diferença é o tipo do sistema radicular das plantas C3, sendo uma cultura perene e raiz do tipo pivotante há uma maior exploração por nutrientes e água fazendo com que haja uma maior concentração em camadas mais profundas do solo, outra hipótese a ser considerada no seguinte trabalho é que a estimativa de uma maior proporção de espécies C3 em relação as C4 é que a presença de partículas minerais do solo superstima o peso total das raízes.

Ludlow et al.(1976) avaliando a proporção de plantas C3 e C4 através da técnica isotópica ressalta a dificuldade na identificação e separação de raízes misturadas, seja na coleta do solo ou através da lavagem, mesmo que essas raízes de diferentes espécies sejam morfologicamente distintas. Segundo Ball-Coelho et al. (1998), o acúmulo de matéria orgânica e de nutrientes na superfície do solo em áreas sob manejo sem revolvimento do solo pode resultar na restrição do crescimento radicular em profundidade, embora as plantas que apresentam ciclo fotossintético C4 apresentam maior acumulação nas camadas mais superficiais do solo (WAISEL al., 2002).

Outro fator que deve ser considerado é que sob um regime de seca ou alta evapotranspiração, as espécies podem exercer diferentes níveis de fechamentos estomáticos. Em plantas C3 a medida que há um fechamento por parte dos estômatos os valores ^{13}C tornam-se menos negativo, enquanto que em plantas C4 ocorre o oposto (FARQUHAR et al., 1982). Assim, as proporções de isótopos de carbono nos tecidos podem variar de acordo com a época sazonal e isso pode diferir por espécies (KLOEPEL et al., 1998).

Tabela 6: Proporções de plantas C3 e C4 de coquetéis vegetais em consórcio com mangueira em Petrolina-PE, 2017.

Prof Cm	Coquetel 1		Coquetel 2		Vegetação espontânea	
	%					
	C3	C4	C3	C4	C3	C4
Sem Revolvimento						
0-20	71 aA	29 aA	82 aA	18 aA	58 aB	42 aA
20-40	81 aA	19 aA	76 aA	24 aA	46 aB	54 aA
40-60	93 aA	7 aA	83 aA	17 aA	56 aB	44 aA
60-80	96 aA	4 aA	92 aA	8 aA	54 aB	46 aA
80-100	95 aA	5 aA	87 aA	13 aA	60 aB	40 aA
Com Revolvimento						
0-20	84 aA	16 aA	74 aA	26 aA	87 aA	13 aB
20-40	75 aA	25 aA	82 aA	18 aA	93 aA	7 aB
40-60	80 aA	20 aA	91 aA	9 aA	88 aA	12 aB
60-80	78 aA	22 aA	97 aA	3 aA	92 aA	8 aB
80-100	90 aA	10 aA	85 aA	15 aA	94 aA	6 aB

Letras minúsculas na linha comparam os tratamentos (coquetéis e vegetação espontânea), letras maiúsculas na coluna comparam os sistemas de manejo (sem revolvimento e com revolvimento do solo) pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A maior contribuição de plantas C3 foi observado no coquetel vegetal 2 representando 76% na camada de 0-20 cm não diferindo significativamente dos outros tratamentos para todas as profundidades (Tabela 7), embora a contribuição de plantas C4 foi maior para o tratamento com vegetação espontânea, correspondendo a 41 % na camada de 0-20 cm, não houve diferença nos outros tratamentos, quando não há revolvimento do solo. Quando há uma incorporação da biomassa vegetal e, conseqüentemente, o revolvimento do solo a maior contribuição de plantas C3 foi observada para o tratamento com a vegetação espontânea 86% na camada superficial de 0-20 cm não diferindo significativamente em comparação com os tratamentos coquetel vegetal 1 e 2, a medida que aumenta-se a profundidade observou-se uma diferença significativa para a camada 60-80 em relação ao tratamento com coquetel vegetal 1.

Para plantas C4, o tratamento com vegetação espontânea apresentou uma maior biomassa radicular na camada superficial de 0-20 cm 86%, mas não diferindo significativamente dos outros tratamentos. A prática do revolvimento do solo fez com que diminuisse consideravelmente a biomassa radicular principalmente das plantas C3 no

tratamento com coquetel vegetal 1, apresentando diferença significativa na camada 60-80 cm, fato observado também para o coquetel vegetal 2, entretanto não observou-se interação entre os manejos especificamente para esse tratamento. Fato contrário foi observado para a vegetação espontânea, pois tal prática aumentou o número de plantas C3 principalmente na camada de 60-80 cm e conseqüentemente a diminuição de plantas C4 nas camadas 20-40 cm e 60-80 cm, respectivamente, diferindo estatisticamente em relação a vegetação espontânea sem revolvimento do solo. O acúmulo de raízes nas camadas superficiais (0-20 cm), principalmente no manejo sem revolvimento do solo, pode estar relacionado com melhor estado de agregação do solo nessa camada em relação ao manejo com revolvimento do solo, representado pela maior ocorrência de agregados maiores que 2,00 mm. A presença das raízes no solo, principalmente de gramíneas, favorece as ligações entre partículas do solo, contribuindo, desta forma, para a formação e estabilização de agregados (CARPENEDO & MIELNICZUK, 1990). Então, como a prática do revolvimento tem a capacidade de desestruturar esses agregados contendo raízes, o mesmo ocasionou uma diminuição na proporção de espécies C4 em todos os tratamentos.

O sistema de manejo do solo pode afetar também a distribuição de raízes no solo (MELLO IVO & MIELNICZUK, 1999). Esse efeito a longo prazo, causa alterações em diferentes profundidades (ISHAQ et al., 2003). O revolvimento do solo influenciou positivamente a taxa de crescimento radicular inicial e o desempenho da cultura (PETERSEN, 2008). Dessa forma, a mobilização intermediária do solo, como ocorre nos preparos em faixa a longo prazo, proporciona melhor movimento e armazenamento de água no perfil do solo, criando condições adequadas para o desenvolvimento inicial da cultura e aprofundamento do sistema radicular.

As diferentes amostras das plantas contendo uma mistura de espécies C3 e C4 devem refletir quantitativamente as proporções e que podem ser determinadas a partir de valores de $\delta^{13}\text{C}$ de cada componente individual, para qualquer parte da planta seja folha, raiz, hastes ou sementes os valores de $\delta^{13}\text{C}$ não variam para uma espécie em particular e conseqüentemente mantendo a diferença entre as espécies (TROUGHTON & CARD, 1975).

A análise isotópica tornou-se útil para estudos de proporção de raízes com combinações de plantas C3 e C4 em solos e pastagens não irrigadas (SVEJCAR & BOUTTON, 1985; SVEJCAR et al. 1988).

Tabela 7: Biomassa radicular de plantas C3 e C4 em coquetéis vegetais em consórcio com a mangueira em Petrolina-PE

Prof (cm)	Coquetel 1 (t/ha)		Coquetel 2 (t/ha)		Vegetação Espontânea (t/ha)	
	C3	C4	C3	C4	C3	C4
Sem revolvimento						
0-20	6,20 aA	3,11 aA	8,56 aA	2,57 aA	6,41 aA	4,57 aA
20-40	2,97 aA	0,63 aA	1,70 aA	0,41 aA	1,45 aA	1,57 aA
40-60	2,09 aA	0,20 aA	1,26 aA	0,32 aA	1,59 aA	1,19 aA
60-80	1,04 aA	0,04 bA	1,27 aA	0,11 abA	0,61 aB	0,43 aA
80-100	0,73 aA	0,03 aA	0,74 aA	0,12 aA	0,38 aA	0,17 aA
Prof (cm)	Coquetel 1 (t/ha)		Coquetel 2 (t/ha)		Vegetação Espontânea (t/ha)	
	C3	C4	C3	C4	C3	C4
Com revolvimento						
0-20	5,47 aA	1,65 aA	3,93 aA	1,11 aA	6,23 aA	0,96 aA
20-40	0,98 aA	0,31 aA	1,26 aA	0,32 aA	7,37 aA	0,54 aB
40-60	0,30 aA	0,08 aA	1,20 aA	0,10 aA	5,50 aA	0,77 aA
60-80	0,31 bB	0,10 aA	1,00abA	0,03 aA	1,39 aA	0,11 aB
80-100	0,60 aA	0,07 aA	0,61 aA	0,10 aA	0,92 aA	0,06 aA

Letras minúsculas na linha comparam os tratamentos (coquetéis e vegetação espontânea), letras maiúsculas na coluna comparam os sistemas de manejo (sem revolvimento e com revolvimento do solo) pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- O cultivo de coquetéis vegetal 2 foi o que mais apresentou uma maior biomassa radicular consistindo em uma boa tecnologia alternativa para a produção de biomassa a ser incorporada ao solo, em áreas de plantio irrigado de manga no Semiárido de Pernambuco, pois disponibiliza nutrientes necessários para cultivos agrícolas, principalmente de plantas perenes quando não há a prática de revolvimento do solo.
- A proporção de biomassa radicular de plantas C3 é maior que plantas C4. O revolvimento do solo aumenta consideravelmente a biomassa radicular da vegetação espontânea não sendo necessário para outros cultivos.
- A biomassa radicular foi maior na camada de 0-20 do solo em ambos os tipos de manejo.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, T.J.A.; MONTEIRO, M.S.L. Modelo agrícola e desenvolvimento sustentável: a ocupação do Cerrado piauiense. **Ambiente e Sociedade**, v.8, n.2, p.1-18, 2005.
- ALMEIDA, C. O.; SOUZA, J. S.; MENDES, L. N.; PEREIRA, R. J. **Aspectos socioeconômicos. In: Matos, A. P. de (Org.) Manga. Produção: aspectos técnicos.** Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, p.11-14.2000.
- ALVES, B.J.R.; OLIVEIRA, O.C.; BODDEY, R.M; URQUIAGA, S. **Fundamentos da matéria orgânica do solo.** 2^a ed.p.233-234, 2008.
- ALVES, N.R; MENEZES, S.C.R; SALCEDO, H.I; PEREIRA, E.W: Relação entre qualidade e liberação de N por plantas do semiárido usadas como adubo verde. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.15, n.11, p.1107–1114, 2011.
- AKPO, L.E. **Influence du couvert ligneux sur la structure et le fonctionnement de la strate herbacée en milieu sahélien.** ORSTOM, Paris.1993.
- ARCHER, S. Have Southern Texas savannas been converted? Too woodlands in recent history? **The American Naturalist**.v.134.p.545-561. 1989.
- AZEVEDO, D. M. P. *et al.* Atributos físicos e químicos de um Latossolo Amarelo e distribuição do sistema radicular da soja sob diferentes sistemas de preparo no cerrado maranhense. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 01, p. 32-40, 2007.
- BADECK F. W; TCHERKEZ, G; NOGUÉS, S; PIEL C; GHASHHAIE. Postphotosynthetic fractionation of stable carbon isotopes between plant organs—a widespread phenomenon. **Rapid Communications in Mass Spectrometry**. Vol.19.p.1381–1391, 2005.
- BALL-COELHO, B.R.; ROY, R.C. & SWANTON, C.J. Tillage alters corn root distribution in coarse-textured soil. **Soil Tillage Journal**, 45:237-249, 1998
- BAYER, C; NETO, L.M; MIELNICZUK, J; PILLON, C.N; SANGOI, L. Changes in soil organic matter fractions under subtropical no-till cropping systems. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, n. 05, p. 1473-1478, 2001.
- BARROS, B.G.F; **Produção de biomassa e contribuição da fixação biológica do nitrogênio para diferentes genótipos de sorgo.** 2015. 59p. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Energéticas e Nucleares – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- BOARETTO, A.E; TRIVELIN, P.C.O; MURAOKA, T: **Uso de isótopos como traçadores em fertilidade do solo e nutrição de plantas.** Fertbio2004.

- BRASIL, F. DA C.; ZONTA, E.; OLIVEIRA, M. DO R. G. Métodos de amostragem e quantificação para estudos do sistema radicular em condições de campo—Uma revisão crítica. **Revista Universidade Rural Série Ciências da Vida**, v.27,n.2,p.14–33, 2007.
- BRITTO,W.F.S.Custos e viabilidade econômica financeira da agricultura orgânica versus agricultura convencional: O caso da manga no vale do São Francisco;XI Congresso Brasileiro de Custos – Porto Seguro, BA, Brasil, 27 a 30 de outubro de 2004
- CARPENEDO, V. & MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. V.14.p.99- 105, 1990.
- CERRI, C. C.; VOLKOFF, B. Carbon content in a yellow Latosol of central Amazon rainforest. **Acta Ecologica**, v.8, n.1, p.29–42, 1987.
- COX, W. J; ZOBEL, R. W; VAN ES, H. M; OTIS, D. J. Tillage effects on some soil physical and chemical characteristics. **Agronomy Journal**.v.82.p.806-812. 1990.
- CRUSCIOL, C.A.C. *et al.* Taxas de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. **Bragantia**, v. 67, n. 02, p. 261-266, 2008.
- DEMÉTRIO, R.; GUERRA, J.G.M.; SANTOS, G. A. S.; ALMEIDA, D. L. DE POLLI, H.; CAMARGO, F.A.O. Absorção de nitrogênio do solo pelo milho influenciada pela adição de diferentes resíduos de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, BRASÍLIA, v. 33, p.481-486, 1998.
- DIAS, P.F; SOUTO,S.M;RESENDE.A.S; URQUIAGA,S; ROCHA, G.P; MOREIRA,J.F; FRANCO, A.A.Transferência do N fixado por leguminosas arbóreas para o capim *Survenola* crescido em consórcio. **Ciência Rural**, v. 37, n. 02, p. 352-356, 2007.
- DÖBEREINER, J; RUSCHEL, A.P. Uma nova espécie de *Beijerinckia*. **Revista de Biologia**, v. 1, p.261- 272, 1958.
- DOBEREINER, J. History and new perspectives of diazotrophs in association with non-leguminous plants. **Symbiosis**, 1992.
- DON, A.; SCHUMACHER, J.; FREIBAUER, A. Impact of tropical land use change on soil organic carbon stocks—a meta-analysis. **Global Change Biology**, Oxford, v. 17, n. 4, p.1658-1670, 2011.
- ESPINDOLA, J.A.A; GUERRA, J.G.M; ALMEIDA, D.L; TEIXEIRA, M.G; URQUIAGA, S. Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas

herbáceas perenes consorciadas com bananeiras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.321- 328, 2006a.

ESPINDOLA, J.A.A; GUERRA, J.G.M; PERIN, A; TEIXEIRA, M.G; ALMEIDA, D.L; URQUIAGA, S; BUSQUET, R.N.B. Bananeiras consorciadas com leguminosas herbáceas perenes utilizadas como coberturas vivas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41.p.415-420, 2006b.

ESPINDOLA, J.A.A.; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D. L. **Adubação verde: estratégia para uma agricultura sustentável**. Seropédica: Embrapa-CNPAB. 20 p. (Embrapa-CNPAB. Documentos, 42).1997.

FARIA, S.M; FRANCO, A.A. **Identificação de bactérias eficientes na fixação biológica de nitrogênio para espécies leguminosas arbóreas**. Seropédica, EmbrapaAgrobiologia, 2002. 16 p. (Documentos, 158).

FARQUHAR, G. D; M. H. O’Leary;Berry, J. A. On the relationship between carbon isotope discrimination and the intercellular carbon dioxide concentration in leaves.**Australian Journal Plant Physiology**. 9:121–137. 1982.

FAVERO, C.I; JUCKSCH, L.M; COSTA, R.C; ALVARENGA; NEVES, J.C.L. Neves. Crescimento e acúmulo de nutrientes por plantas espontâneas e por leguminosas utilizadas para adubo verde. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**,24 (1): 171-177.2000.

FERRACINI, V.L; PESSOA, M.C.Y.P; SILVA, A.S; SPADOTTO, C.A. Analise de risco de contaminacao das aguas subterraneas e superficiais da regioao de Petrolina (PE) e Juazeiro (BA). Pesticidas:**Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 11, n. 01, p. 1-16, 2001.

FERREIRA, D.F. Sisvar: um guia dos seus procedimentos de comparações múltiplas Bootstrap.**Ciência Agrotecnológica**, Lavras, v.38, n. 2, p.109-112, 2014.

FRAGA, V.S; SALCEDO,I.H. Declines of organic nutriente pools in tropical semi-arid soils under subsistence farming. **Soil Science SocietyofAmericaJournal**, v.68,p.215-224, 2004.

GAMA-RODRIGUES, A.C; GAMA-RODRIGUES, E.F.; BRITO, E.C. Decomposicao e liberacao de nutrientes de residuos culturais de plantas de cobertura em argissolo vermelho- amarelo na regioao noroeste Fluminense (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.06, p.1421-1428,2007.

GIONGO, V; CUNHA, T.J.F; MENDES, A.S.M; GAVA, C.A.T: Carbono no Sistema Solo-Planta no Semiárido Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**.v.06,p.1233-1253,2011.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M.A.T. Environmental factors affecting N₂ fixation in grain legumes in the tropics, with an emphasis on Brazil. **Field Crops Research**, v.65, n.2, p.151-164, 2000.

HUNGRIA, M. Coleta de nódulos e isolamento de rizóbios. In: HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R.S. (Org.). **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola** Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, p.45-61.1994.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção agrícola estadual: lavoura permanente 2013**. Disponível em: <www.ibge.gov.br/estadosat/>. Acesso em: 14 Abr. 2017.

IBRAF - Instituto Brasileiro de Frutas. **Estatísticas**. Disponível em: <www.ibraf.org.br>. 2014. Acesso em: 01 ago,2017.

ISHAQ, M.; IBRAHIM, M. & LAL, R. Tillage and fertilizer effects on root growth of wheat and cotton on a sandy clay loam in Pakistan. **Journal of Sustainable Agriculture** 22:43-57, 2003

JACKSON, R.B., CANADELL, J.G., EHLERINGER, J.R., MOONEY, H. a., SALA, O.E., SCHULZE, E.D.,1. A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. **Oecologia**.v.108(3).p.389-411.1996.

JARAMILLO, V. J; KAUFFMAN, J. B; RODRIGUEZ, L.R; CUMMINGS, D.L; ELLINGSON, L.J. Biomass, Carbon, and Nitrogen Pools in Mexican Tropical Dry Forest Landscapes. **Ecosystems**, v. 6, n. 7, p. 609–629, 2003a

JARAMILLO, V. J; AHEDOHERNANDEZ, R; KAUFFMAN, J. B. Root biomass and carbon in a tropical evergreen forest of Mexico: changes with secondary succession and forest conversion to pasture. **Journal of Tropical Ecology**, v. 19, n. 4, p. 457–464, 2003b

LEHMANN, J.; MURAOKA, T.; ZECH, W. Root activity patterns in an Amazonian agroforest with fruit trees determined by 3233 P and 15 N applications. **Agroforestry Systems**.v.52, p. 185–197, 2001.

LIMA, J. P. R; MIRANDA, E.A.A. Fruticultura irrigada no Vale do São Francisco: Incorporação tecnológica, competitividade e sustentabilidade. **Revista Econômica do Nordeste**, Recife, v.32, n.Especial, p.611-632, 2000a.

LOPES, C.A. Variabilidade de isótopos estáveis de carbono e de isótopos estáveis de nitrogênio. 2001. 47 f. Exame Geral de Qualificação (Mestrado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais) – Departamento de Biologia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2001.

LUDLOW, MM, TROUGHTON, J.H, JONES, R.J: A technique for determining the proportion of C_3 and C_4 species in plant samples using stable natural isotopes of carbon. **Journal Agricultural Science**.v.87, p. 625-632, 1976.

KLUMPP, K; SCHAUFLE, R; ; LOTSHER, M; LATTANZI, F.A; FENEIS, W; SCHNYDER, H. C-isotope composition of CO_2 respired by shoots and roots: fractionation during dark respiration? **Plant, Cell Environment**.v.28.p.241–250.2005.

KLOEPPPEL, B. D; S. T. GOWER, I. W; TREICHEL, S. KHARUK. Foliar carbono isotope discrimination in *Larix* species and sympatric evergreen conifers: a global comparison. **Oecologia**.v.114.p.153–159. 1998.

MACHADO, D.N.; NOVAIS, R.F.; DILVA, I.R.; LOUREIRO, M.E.; MILAGRES, J.J.; SOARES, E.M.B. Enriquecimento e alocação de ^{13}C em plantas de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.35, p.857-866, 2011.

MARTINELLI, L. A., VICTÓRIA, R. L., MATSUI, E. , FORSBERG, B. R; MOZETTO,A.A. Utilização das variações naturais de $d^{13}C$ no estudo de cadeias alimentares em ambientes aquáticos: princípios e perspectivas. **Acta Limnologica Brasiliensia**, Botucatu, v. 1, p. 859-882, 1988.

MARTÍNEZ-YRIZAR, A. Biomass distribution and primary productivity of tropical dry forest. In:STEPHEN, H.B.; MOONEY, H.A.; MEDINA, E. (Eds.). **Seasonally dry tropical forests**. Ed. Cambridge University.p.326-345.1995.

MAGALHÃES FILHO, J.R; AMARAL, L.R; MACHADO, D.F.S.P; MEDINA, C.L; MACHADO, E.C. Deficiência hídrica, trocas gasosas, e crescimento de raízes em laranjeira “valencia” sobre dois tipos de porta-enxerto. **Bragantina**.66.n.1.p. 75-82.2008.

MEDINA-URRUTIA, V.M.; VÁZQUEZ-GARCÍA, M.; VIRGEN-CALLEROS, G. Organic mango production in Mexico: status of orchard management. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 894, p. 255-263, 2011.

MELILLO, J.M; ABER, J.D; LINKINS, A.E; RICCA, A.; FRY,B.; NADELHOFFER, K.J. Carbon and nitrogen dynamics along the decay continuum: plant litter to soil organic matter. *Plant and Soil*, Dordrecht.**Plant Soil**, 115:189-198, 1989.

- MELLO IVO, W.M.P. & MIELNICZUK, J. Influência da estrutura do solo na distribuição e na morfologia do sistema radicular do milho sob três métodos de preparo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v 23p.135-143, 1999.
- MOKANY, K., RAISON, R.J., PROKUSHKIN, A.S. Critical analysis of root : shoot ratios in 506 terrestrial biomes. **Glob.Chang.Biol.** v.12, 84–96.2006.
- MORDELET, P; MENAUT, J.-C; MARIOTTI, A. Tree and grass rooting patterns in an African humid savanna. **Journal Vegetation Science**. v.8.65-70.1997.
- MORDELET, P; MENAUT, J.-C. Influence of trees on above-ground production dynamics of grasses in a humid savanna. **Journal Vegetation Science**. V.6: 223-228.1995.
- NETO, R.A.F; **Nitrogênio fixado em cultivo de melão sob adubação verde no município de Juazeiro, Bahia** – 42p Dissertação (Mestrado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- O'LEARY, M.H. Carbon isotope fractionation in plants. **Phytochemistry**, 20:553-567, 1981.
- PALM, C.A; GILLE, K. E; MAFONGOYA, P.L.; SWIFT, M.J. Management of organic in the tropics: Translating theory into practice. **Nutrient Cycling in Agroecosystem**, v.61, p.63-75, 2001b.
- PETERSEN, M. Tillage and root development in corn- Is there a connection?.2008. Disponível em: <[http:// www.precisiontillage.com/assets/uploads/tillage_root%20development%20article.pdf](http://www.precisiontillage.com/assets/uploads/tillage_root%20development%20article.pdf)> Acesso em: 02 de janeiro, 2018.
- PETERSON B. J.; FRY, B. **Stable isotopes in ecosystem studies**. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto, v. 18, p. 293-320, 1987.
- PETREIRE, V. G.; CUNHA, T. J. F.; SILVA, M. S.L.; SILVA, D. J. **Teores de matéria orgânica e fósforo em solo cultivado com mangueiras em função do uso de coque vegetais**. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 28. ; Reunião Brasileira Sobre Micorrizas, 12.; Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Solo, 10.; Reunião Brasileira De Biologia do Solo, 7., 2008, Londrina. Desafios para o uso do solo com eficiência e igualdade ambiental: anais. Londrina: Embrapa Soja: SBCS:IAPAR: UEL, 2008. 1 CD-ROM.
- PERIN, A. **Desempenho de leguminosas herbáceas perenes com potencial de utilização para cobertura viva e seus efeitos sobre alguns atributos físicos do solo**. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2001. 105p.(Tese de Mestrado)

- PERIN, A.; GUERRA, J.G.M.; TEIXEIRA, M.G. Cobertura do solo e acumulação de nutrientes pelo amendoim forrageiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.791-796, 2003.
- PERIN, A; RICARDO, H.S .S; URQUIAGA, S; GUERRA, J. G. M; CECON, P. R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.1, p.35-40. 2004.
- PIRES, W. N; BRANDÃO, S. S.; GIONGO, V.; MENDES, A. M. S.; SILVA, D. J.; CUNHA, T.J.F.; GAVA, C. A.T. **Teores de matéria orgânica do solo após o uso de coquetéis vegetais no sistema de produção orgânico de mangueiras**. XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo; Uberlândia- MG, 2011.
- POLLEY, H.W; JOHNSON, H.B; MAYEUX, H.S. Determination of root biomasses of three species grown in a mixture using stable isotopes of carbon and nitrogen. **Plant Soil** 142: 97-106. 1992.
- PRELLWITZ, W.P.V.; COELHO, F.C. Produtividade de colmos, índice de área foliar e acúmulo de N na soca de cana-de-açúcar em cultivo intercalar com *Crotalaria juncea* L. **Revista Ceres**, Viçosa-MG, v.58, n.6, p.773-780, 2011.
- RACZKOWSKI, C. W. **Effects of four tillage systems on corn (*Zea mays* L.) root distribution in the North Carolina Piedmont**. Ph.D. thesis DA8909228. North Carolina State University, Raleigh, NC. 1988.
- REIS, V. M.; OLIVEIRA, L. M. O.; BALDANI, V. L. D.; OLIVARES, F. L.; BALDANI, J. I. Fixação biológica de nitrogênio simbiótica e associativa. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: SBCS, p.154-174, 2006.
- RIBEIRO, S.C; FEHRMANN, L; SOARES, C.P.B; JACOVINE, L.A.G; KLEINN, C; GASPAR, R.O. Above- and belowground biomass in a Brazilian Cerrado. **Forest Ecology and Management**. v.262(1).p.491-499.2011.
- RITCHNER, W; LIEDGENS, M; BURGI, H; SOLDATI A; STAMP, P. **Root image analysis and interpretation**. In **Root Methods A Handbook**. Eds. A L Smit, A G Bengough, C Engels, M van Noordwijk, SPellerin and S C van de Geijn. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona, Hong Kong, London, Milan, Paris, Singapore, Tokyo. p. 305–341. 2000.
- SALCEDO, I.H; LEITE, L; VASCONCELOS, E; SOUZA, F; SAMPAIO, E.V.S.B. **Produção de raízes finas sob vegetação de caatinga**. **Workshop sobre sistema**

radicular. Metodologias e estudos de caso, Aracaju-SE, Anais, Embrapa, 1999, p.139-152.

SAMPAIO, E. V. S. B.; FREITAS, A. D. S. **Produção de biomassa na vegetação nativa do Semi-árido nordestino**. In: Menezes, R. S. C.; Sampaio, E. V. S. B.; Salcedo, I. H. (Ed.). Fertilidade do solo e produção de biomassa no Semi-árido. Recife: UFPE. p. 11-26.2008.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H. Diretrizes para o manejo sustentável dos solos brasileiros: Região semi-árida. Simpósio Diretrizes para o Manejo Sustentável dos Solos Brasileiros, 26,1997, Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Rio de Janeiro. **Anais.....** Rio de Janeiro: SBCS, 1997. CDRom.

SILVEIRA, J. A. G; COSTA, R. C. L; OLIVEIRA, J. T. A. Drought-induced effects and recovery of nitrate assimilation and nodule activity in cowpea plants inoculated with *Bradyrhizobium* spp. under moderate nitrate level. **BrazilianJournalofMicrobiology**, v.32, n.3, p.187-194, 2001.

SILVA, S.A.B. **Coquetéis vegetais para manejo de solo em sistemas irrigados de cultivo orgânico de manga**. JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA SEMI-ÁRIDO, 1., 2006, Petrolina. Anais... Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2006. p. 231-237., 2006.

SMITH, B. N. & BENEDICT, C. R. Carbon isotope ratios of chemical constituents of *Panicum maximum* L. **Plant and Cell Physiology**.v.15, 949-51. 1974.

SOUSA NETO, E., CARMO, J. B.; KELLER, M.; MARTINS, S. C.; ALVES, L. F.; VIEIRA, S. A.; PICCOLO, M. C.; CAMARGO, P.; COUTO, H.T. Z.; JOLY, C. A.; MARTINELLI, L. A. Soil - atmosphere exchange of nitrous oxide, methane and carbon dioxide in a gradient of elevation in the coastal Brazilian Atlantic forest. **Biogeosciences**, v.8, n.3, p.733 -742, 2011

SVEJCAR, T. J; BOUTTON, T.W. The use of stable carbon isotope analysis in rooting studies. **Oecologia**.v.67:205–208.1985.

SVEJCAR, T. J; BOUTTON, T.W, Christiansen, S. Rooting dynamics of *Medicago sativa* seedlings growing in association with *Bothriochloa caucasica*. **Oecologia** v.77.p.453–456. 1988.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G.M.C.; GUIMARÃES, M.F.; FONSECA, I.C.B. Resistência à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zeamays*) sob diferentes sistemas de manejo em Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.725-730, 2001.

TROUGHTON, J. H; CARD, K. A.. Temperature effects on the carbon-isotope ratio of C3, C4 and Crassulacean-acid-metabolism (CAM) plants. *Planta***123**, 185-90. 1975.

URQUIAGA, S.; ALVES, J.R.B, DODDEY, R.M.; JANTALIA, C.P: **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. 2ª ed.p.233-234, 2008.

VANLAUWE, B; GACHENGO, K; SHEPHERD, E; BARRIOS, G; CADISCH, G; PALM, C.A. Laboratory validation of a resource quality-based conceptual framework for organic matter management. *Soil Science Society of America Journal*, v.69, p.1135-1145, 2005.

VITORELLO, V.A.; CERRI, C.C.; ANDREUX, F.; SÉLLER, C. & VICTORIA, .L. Organic matter and natural carbon-13 distribution in forested and cultivated oxisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53:773-778, 1989.

ZOTARELLI, L. **Balço de nitrogênio na rotação de culturas em sistema de plantio direto e convencional na região de Londrina - PR**. 2000. 134p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

WASEL, Y.; ESHEL, A. & KAFKAFI, U., eds. *Plant roots –the hidden half*. 3.ed. New York, Marcel Dekker, 1136p.