

EMMANOELLA COSTA GUARANÁ ARAUJO

**CICLAGEM DE NUTRIENTES E DECOMPOSIÇÃO DE SERAPILHEIRA EM
PLANTIO FLORESTAL, NA REGIÃO DE ITAPARICA, PERNAMBUCO**

RECIFE
Pernambuco - Brasil
Fevereiro – 2019

EMMANOELLA COSTA GUARANÁ ARAUJO

**CICLAGEM DE NUTRIENTES E DECOMPOSIÇÃO DE SERAPILHEIRA EM
PLANTIO FLORESTAL, NA REGIÃO DE ITAPARICA, PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr José Antônio Aleixo da Silva
Co-orientadores: Prof. Dr. Fernando José Freire
Prof. Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira

RECIFE
Pernambuco - Brasil
Fevereiro – 2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

A663c Araujo, Emmanoella Costa Guaraná
Ciclagem de nutrientes e decomposição de serapilheira em plantio
florestal, na região de Itaparica, Pernambuco / Emmanoella Costa
Guaraná Araujo. – Recife, 2019.

92 f.: il.

Orientador(a): José Antônio Aleixo da Silva.

Coorientador(a): Fernando José Freire; Rinaldo Luiz
Caraciolo Ferreira.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de
Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em
Ciências Florestais, Recife, BR-PE, 2019.

Inclui referências.

1. Solos florestais - Fertilidade 2. Eucalipto - Nutrição
3. Angico-de-carçoço - Nutrição 4. Química do solo I. Silva, José
Antônio Aleixo da, orient. II. Freire, Fernando José, coorient. III.
Ferreira, Rinaldo Luiz Caraciolo, coorient. IV. Título

CDD 634.9

EMMANOELLA COSTA GUARANÁ ARAUJO

**CICLAGEM DE NUTRIENTES E DECOMPOSIÇÃO DE SERAPILHEIRA EM
PLANTIO FLORESTAL, NA REGIÃO DE ITAPARICA, PERNAMBUCO**

Aprovado em: 04/02/2019

ORIENTADOR

Prof^o Dr. José Antônio Aleixo da Silva
Departamento de Ciência Florestal/UFRPE

BANCA EXAMINADORA

Prof^a Dra. Eliane Cristina Sampaio de Freitas
Departamento de Ciência Florestal/UFRPE

Prof^o Dr. Ademir de Oliveira Ferreira
Departamento de Agronomia/UFRPE

RECIFE
Pernambuco - Brasil
Fevereiro – 2019

À vovó Fernanda, vovó Aliete (*In Memoriam*)
e vovô Zé Bento (*In memoriam*). Minha eterna
gratidão e saudade dos que se foram.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus por tudo, sobretudo pelos motivos de agradecimentos a seguir.

A minha família que é perfeita dentro das suas imperfeições, tenho muita sorte de ter vocês! E a Aldir Roney, companheiro, amigo e parceiro!

Ao meu orientador José Antônio Aleixo da Silva pelos ensinamentos, disponibilidade e contribuições e ao meu co-orientador Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira por suas contribuições. Ao professor Fernando José Freire por tudo, não tenho palavras para agradecer sua gentileza, e generosidade, gratidão imensa e eterna.

Aos grandes mestres e amigos Simone Mirtes, Tarcísio Viana, Marcelo Nogueira e Lucia Chaves, a amizade de vocês fez tudo mais leve... Amo vocês!

Aos professores Eliane e Ademir que aceitaram participar da banca de avaliação deste trabalho.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco, ao Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal e todos os professores que participaram da minha formação. Aos servidores do Departamento de ciência florestal sobretudo Juliana Ferreira, por todo carinho e atenção.

Agradeço a não concessão de bolsa, pois foi a falta de recursos que fez surgir os amigos mais parceiros e solidários que a vida poderia me dar: Letícia Walter, Isis Dalcione, Luana Guedes, Anderson Oliveira, Gutierrez Bezerra, Nattan Tavares, Paulo Neto Lucas Moura, Leonardo Modesto, Júlia Andresa, Isadora Carvalho, Mariana Sophya, Júlia Rodrigues e Tibério Alencar, ao Tibério gratidão eterna.

A Thiago Cardoso (kpta) que é minha dupla em todos os momentos, e que está prestes a cometer o maior erro de sua vida... dividir um apartamento comigo à 3.000 km de distância de casa.

Aos amigos que ingressaram junto a mim nesta jornada, Adão, César, Djailson, Giselle, Josias, Lúcia, Lucidalva, Pullyne, Uaine, Vanessa, Weydson e Yana, vocês foram maravilhosos.

Aos Tjangas Aldir, Marina Gusmão, Rodrigo Araújo, Juliana Chaves, Willams Oliveira, Deyse, Alex, Elba Borges, Rafael

A Universidade de Pernambuco que me acolheu por 12 anos e permitiu a conclusão deste curso, sobretudo as chefes mais humanas que alguém poderia ter, Valéria Leite e Rita Alheiros e aos companheiros de contas médicas: Josi, Léo, Mau, Lalá, Rô, Dennis, Mary, Valzinha, Cat, Quequel, Jacizinha, Dani, Flávia, Lúcia, Carol, Lígia, Remígio e Dr. Ênio

Cantarelli. A amiga preciosa que fez meus 12 anos de UPE mais leves Luciana Pontes, um amor que existe desde sempre.

Eliana de Moraes e Mary Mirtes, eternas amigas e nazerenas amadas.

As fofinhas Tarcila Lins (gêmea que a rural me deu), Cibelle Reis e Leticia Walter, gratidão (Tô chegando).

Ao Cenapesq na figura do professor Carlos Guaraná e aos laboratórios de Fisiologia, sobretudo à professora Claudia Ulisses e o técnico Wellington, Solos professora Maria Bethânia e o técnico Pedro, Análise de sementes professores Marcos Passos e Ricardo Gallo, Tecnologia da madeira, professor Rafael Braz e técnico Tony, Bioquímica Vegetal e os professores Levy Paes Barreto, Egídio Bezerra e Benjamim demais funcionários que contribuíram com a realização deste trabalho.

Gratidão!

“Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma”.

Lavoisier

ARAUJO, EMMANOELLA COSTA GUARANÁ. **Ciclagem de nutrientes e decomposição de serapilheira em plantio florestal, na região de Itaparica, Pernambuco.** Orientador: José Antônio Aleixo da Silva. Co-orientadores: Fernando José Freire e Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira.

RESUMO GERAL

Em áreas onde são cultivadas espécies de interesse econômico, a exportação de nutrientes do solo é elevada. Concomitantemente, os solos do semiárido são frequentemente de elevada fertilidade natural e o uso de biocarvão pode proteger essa fertilidade por um período mais longo, principalmente em plantios puros de espécies florestais. O estabelecimento de plantios puros de angico e de espécies exóticas ao semiárido, como o eucalipto, pode comprometer o aporte de serapilheira e a ciclagem de nutrientes, dessa forma, é importante conhecer qual a capacidade de aporte de serapilheira e nutrientes desses cultivos em ambiente semiárido. Assim, esse estudo teve o objetivo de avaliar alterações nos atributos químicos do solo e na nutrição de plantios puros de eucalipto (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus tereticornis*) e angico-vermelho (*Anadenanthera colubrina* var. Cebil), aos 41 meses sob fertilização de sedimentos de lago, resíduos de tanques de piscicultura e biocarvão, produzido por meio da queima de algaroba remanescentes na área, bem como avaliar o aporte de serapilheira e nutrientes desses plantios, além de estimar a taxa de decomposição e liberação de nutrientes do material foliar de eucalipto no semiárido pernambucano. Decorridos 41 meses da primeira aplicação dos adubos naturais e biocarvão (Julho de 2017), amostras de folhas de eucalipto e angico foram coletadas, bem como o solo da área experimental foi amostrado. Para análise foliar de N, P, K, Ca e Mg foram coletadas vinte e cinco folhas do terço médio das copas das árvores. Também foram coletadas amostras de solo até a profundidade de 0,30 m, distando 15 cm da base das árvores. A deposição de serapilheira foi quantificada e os teores de N, P, K, Ca e Mg foram determinados aos 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315 e 360 dias, permitindo calcular o aporte desses nutrientes ao longo do tempo. A serapilheira foi fracionada em galho, folha, material reprodutivo, miscelânea e casca. Para avaliar a decomposição da fração foliar de eucalipto foram utilizadas bolsas de náilon e o peso remanescente dessas bolsas, bem como os teores de N, P, K, Ca e Mg foram determinados nos mesmo intervalos de tempo utilizados para avaliação da deposição de serapilheira. Foi estimada a constante de decomposição da serapilheira e a constante de liberação de nutrientes no material foliar do eucalipto, bem como o tempo de meia-vida e tempo para que 95% do material vegetal foliar fosse decomposto e os nutrientes liberados. Os teores de K^+ e P do solo foram influenciados pelos adubos naturais e o biocarvão elevou o teor de C do solo. O cultivo de angico reduziu os teores de K^+ e P do solo e o cultivo de eucalipto reduziu os teores de Mg^{2+} . O resíduo de tanque de piscicultura foi responsável pela elevação dos teores de P tanto no eucalipto quanto no angico, sendo recomendado para solos naturalmente pobres em P. O angico apresentou os maiores teores de N, P, K e Ca, sugerindo elevada demanda dessa espécie por esses nutrientes. O eucalipto foi mais exigente em Mg do que o angico, sugerindo que seu cultivo em ambiente semiárido deve ser recomendado em solos ricos em Mg^{2+} . O aporte de serapilheira do eucalipto foi maior do que o do angico, porém ambos foram influenciados pela precipitação pluviométrica, em que as maiores deposições ocorreram nos períodos secos do ano. A aplicação de biocarvão influenciou negativamente a deposição de serapilheira do eucalipto e não teve efeito no angico. O material aportado do angico foi mais rico nutricionalmente do que o do eucalipto, porém o aporte de nutrientes da fração folha da serapilheira do eucalipto foi maior do que o do angico. A taxa de decomposição da folha de serapilheira do eucalipto foi de $1,5 \text{ mg dia}^{-1}$, sugerindo que o cultivo de eucalipto em sistema de produção de base ecológica, manejado com adubos naturais, a atividade microbiana é

intensificada, acelerando a ciclagem de nutrientes. O tempo de liberação de nutrientes da fração folha da serapilheira de eucalipto nesse sistema de produção de base ecológica foi de no máximo 33 dias, sugerindo que as deposições foliares se renovem nesse intervalo de tempo, para que o contínuo ciclo de nutrientes seja preservado.

Palavras-chave: análise nutricional, angico, eucalipto, massa remanescente

ARAUJO, EMMANOELLA COSTA GUARANÁ. **Nutrient cycling and litter decomposition in forest plantations in the region of Itaparica, Pernambuco.** 2019. Advisor: José Antônio Aleixo da Silva. Co-advisors: Fernando José Freire, Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira.

ABSTRACT

In areas where species of economic interest are cultivated, soil nutrient exports are high. Concomitantly, the semi-arid soils are often of high natural fertility and the use of biochar may protect this fertility for a longer period, especially in pure plantations of forest species. The establishment of pure plantations of angico and exotic species in brazilian semi-arid, such as eucalyptus, can compromise the contribution of litter and nutrient cycling, thus, it is important to know the litter supply capacity and nutrients of these crops in a semi-arid environment, where mineral fertilization is not recommended. Therefore, the objective of this study was to evaluate changes in soil chemical attributes and nutrition of pure plantations of eucalyptos (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus tereticornis*) and angico-vermelho (*Anadenanthera colubrina* var. Cebil), at 41 months under fertilization of lake sediments, fishery tank residues and biochar, produced by means of the burning of algaroba remaining in the area, as well as to evaluate the contribution of litter and nutrients of these in addition, estimating the rate of decomposition and nutrient release of eucalypt leaf material in the Pernambuco's semi-arid. After 41 months of application of the natural fertilizers and biochar (July 2017), samples of eucalyptus and angico leaves were collected, as well as the soil of the experimental area was sampled. For leaf analysis of N, P, K, Ca and Mg, twenty - five leaves of the middle third of the crowns of the trees were collected. Soil samples were also collected up to a depth of 0.30 m, 15 cm apart from the base of the trees. The litter deposition was quantified and the contents of N, P, K, Ca and Mg were determined at 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315 and 360 days, allowing to calculate the nutrient supply over time. The litter was fractionated into twig, leaf, reproductive material, miscellany and bark. To evaluate the decomposition of the leaf fraction of eucalyptus were used nylon bags and the remaining weight of these bags, as well as the contents of N, P, K, Ca and Mg were determined in the same time intervals used to evaluate litter deposition. The litter decomposition constant and the nutrient release constant in the eucalypt leaf material were estimated, as well as the half-life and time for 95% of the leaf material to be decomposed and to release the nutrients. The soil K⁺ and P contents were influenced by the natural fertilizers and the biochar increased the C content of the soil. Angico cultivation reduced soil K + and P levels and eucalyptus cultivation reduced Mg²⁺ levels. The fish tank residue was responsible for the elevation of P levels in both eucalyptus and angico, and was recommended for naturally poor soils in P. The angico had the highest levels of N, P, K and Ca, suggesting a high demand of this species by these nutrients. The eucalyptus was more demanding in Mg than the angico, suggesting that its cultivation in semi-arid environment should be recommended in soils rich in Mg²⁺. The eucalyptus litter contribution was higher than that of the angico, but both were influenced by rainfall, in which the highest depositions occurred in the dry periods of the year. The application of biochar negatively influenced the deposition of eucalyptus litter and had no effect on angico. The material contributed by angico was richer nutritionally than eucalyptus, but the contribution of nutrients of leaf fraction of eucalyptus litter was higher than that of angico. The decomposition rate of eucalyptus leaf litter was 1.5 mg day⁻¹, suggesting that the eucalyptus cultivation in an ecologically based production system, managed with natural fertilizers, the microbial activity is intensified, accelerating the nutrient cycling. The nutrient release time of the leaf fraction of the eucalyptus litter in this ecologically based production

system was a maximum of 33 days, suggesting that the foliar deposition being renewed within this time interval, so that the continuous nutrient cycle be preserved.

Keywords: nutritional analysis, angico, eucalyptus, remaining mass

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	13
2. REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1. Nutrição mineral de plantas	16
2.2. Ciclagem de nutrientes em florestas	17
2.2.1. Ciclo biogeoquímico.....	17
2.3. Serapilheira	18
2.4. Adubação	19
2.4.1. Resíduo de tanques de piscicultura.....	20
2.4.2. Sedimento de reservatório artificial.....	21
2.4.3. Biocarvão	22
2.5. Florestas plantadas	24
2.5.1. Eucalipto	24
2.5.2. Angico-vermelho	25
REFERÊNCIAS	27
CAPÍTULO I.....	32
Atributos químicos do solo e nutrição de plantios de eucalipto e angico sob diferentes fontes de adubação e biocarvão, na região de Itaparica, Pernambuco.	32
1. INTRODUÇÃO.....	35
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	38
2.1. Área de estudo	38
2.2. Instalação do experimento	39
2.3. Caracterização química do solo 41 meses após a primeira aplicação dos tratamentos... ..	40
2.4. Avaliação do teor nutricional.....	41
2.5. Análise estatística	42
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4. CONCLUSÕES	51
REFERÊNCIAS	52
CAPÍTULO II.....	55
Aporte de serapilheira e nutrientes em plantios puros sob diferentes fontes de adubação e biocarvão no município de Belém de São Francisco - PE.....	55
1. INTRODUÇÃO.....	58

2. MATERIAL E MÉTODOS.....	61
2.1. Área de estudo	61
2.2. Instalação do experimento	62
2.3. Tratamentos	63
2.4. Aporte de serapilheira e nutrientes	63
2.5. Decomposição e liberação de nutrientes da fração folha da serapilheira de eucalipto ..	64
2.6. Análise dos nutrientes	66
2.7. Análise estatística	66
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
3.1. Aporte de serapilheira	68
3.2. Teor de nutrientes na fração folha.....	71
3.3. Aporte de nutrientes na fração folha.....	76
3.4. Decomposição foliar do eucalipto	82
4. CONCLUSÃO.....	86
REFERÊNCIAS	87
CONCLUSÕES GERAIS	92

1. INTRODUÇÃO GERAL

A supressão da vegetação para uso dos produtos florestais e implantação de sistemas agrícolas acarreta redução da matéria orgânica do solo, deixando-o vulnerável às intempéries e reduzindo sua fertilidade, o que culmina na alteração das propriedades edáficas, no que diz respeito aos atributos físicos, químicos e biológicos (MELLONI et al., 2008).

Além disso, o aumento na conversão de áreas florestais para o estabelecimento de atividades agropecuárias, bem como a demanda por produtos florestais madeireiros e não madeireiros, contribuiu com melhoramento da produção de espécies arbóreas de rápido crescimento, aumentando o interesse em conhecer a dinâmica da sua ciclagem de nutrientes e implicações econômicas numa silvicultura de baixo impacto (GOYA et al., 2008).

O uso desses produtos florestais deve ocorrer de forma racional, com produção limpa e custos adequados à realidade do produtor. Nesta perspectiva, os plantios comerciais surgem como alternativa para amortizar a agressão à cobertura florestal nativa, sendo utilizadas espécies como as do gênero *Eucalyptus*, em função do crescimento acelerado e qualidade dos produtos finais (IBÁ, 2017b).

Tanto as florestas naturais quanto as plantadas retiram do solo os nutrientes necessários ao seu crescimento e estabelecimento, e posteriormente, com a decomposição e mineralização do material senescente, esses elementos retornam para o meio abiótico, reiniciando o ciclo. Além dos benefícios econômicos, os plantios comerciais contribuem para a restauração de serviços ecossistêmicos, incluindo ciclagem de nutrientes por meio da produção, acúmulo e decomposição de material orgânico (CUNHA NETO et al., 2013).

Os vegetais representam uma importante via de conexão entre o solo e a biosfera, sendo importante compreender de que forma os nutrientes absorvidos pelas raízes para produção da biomassa retornam para o meio abiótico, por meio do aporte e decomposição do material que contribui para formação de um horizonte orgânico denominado serapilheira (FREIRE et al., 2010; TAIZ et al., 2017).

Diferente das florestas não manejadas, as manejadas apresentam grande quantidade de nutrientes exportados na colheita de seus produtos, a depender da espécie, parte coletada e idade das árvores, pois quanto mais desenvolvido o vegetal, maior quantidade de nutrientes incorporados em sua biomassa (CALDEIRA et al., 2002; GATTO et al., 2014). Tal fato contribui para redução da fertilidade dos solos, exigindo suplementação com fertilizantes, que

no geral são poluentes e causam sérios impactos ao meio ambiente, quando utilizados de forma inadequada, além de elevar o custo da produção.

O conhecimento da circulação dos nutrientes no ciclo biogeoquímico é importante para definição das estratégias de gerenciamento edáfico. A biomassa morta, acumulada na camada superficial do solo, além de contribuir com o retorno dos nutrientes, ajuda a reduzir erosão e variações de temperatura e umidade (LEITE et al., 2010). No entanto, apesar das espécies do gênero *Eucalyptus* serem amplamente cultivadas no Brasil, ainda se tem pouco conhecimento sobre a ciclagem de seus nutrientes no Semiárido nordestino.

Os ambientes possuem armazenamento e ciclagem de nutrientes próprios, ressaltando a necessidade de estudos para determinar a sustentabilidade das plantações de eucalipto (LUDVICHAK et al., 2016). Assim, é necessário conhecer a dinâmica das espécies a serem introduzidas no local, sua adaptação às condições ambientais e contribuição na sustentabilidade do ecossistema (SANTOS NETO et al., 2015).

Como em plantios comerciais nem sempre a matéria orgânica é suficiente para a manutenção dos ciclos dos nutrientes, existe grande necessidade de reposição dos nutrientes exportados. Neste sentido, o uso de adubos e condicionadores edáficos oferece grande contribuição ao solo, melhorando sua estrutura e repondo nutrientes, além de colaborar com a manutenção da atividade biológica no sistema. Outro benefício é o reaproveitamento do material, que deixa de ser descartado de maneira inadequada, mitigando a poluição ambiental, eutrofização das águas, além de reduzir os custos de produção pela redução de fertilizantes químicos.

No município de Belém de São Francisco, em Pernambuco, implantou-se um experimento de produção madeireira em 2014, com o objetivo de desenvolver um plantio sustentável com o uso de adubação e um condicionador do solo, o biocarvão, por se tratar de um solo arenoso, mas de boa fertilidade natural. Como fertilizantes foram usados resíduos de tanques de piscicultura e sedimentos do reservatório artificial de Itaparica (ou sedimento de lago), e como condicionador do solo, biocarvão, produzido a partir da madeira das Algarobas remanescentes na área.

Nossa hipótese é que as diferentes fontes de adubos naturais e o biocarvão que possuem diferentes relações C/N podem ao longo do tempo alterar os atributos químicos do solo e interferir na nutrição dos plantios puros de eucalipto e angico. Os adubos naturais de menores relações C/N podem nutrir as plantas por um tempo mais curto e o biocarvão pode evitar perdas de nutrientes por lixiviação, proporcionando uma nutrição mais gradativa e equilibrada e de mais longo prazo, considerando que o solo é de elevada fertilidade natural.

O estabelecimento de plantios puros de angico e de espécies exóticas ao semiárido, como o eucalipto, pode comprometer o aporte de serapilheira e a ciclagem de nutrientes, principalmente quando esses plantios são realizados sob fertilização de adubos naturais e/ou condicionados pelo uso de biocarvão. Dessa forma, é importante conhecer qual a capacidade de aporte de serapilheira e nutrientes desses cultivos em ambiente semiárido, sem uso fertilização mineral. Alternativamente, se recomenda o uso de adubos naturais, como sedimentos de lago ou resíduos da criação e peixes, como fornecedores de nutrientes. Paralelamente, esses cultivos são normalmente realizados em solos de boa fertilidade natural e o uso de biocarvão pode ser um manejo adequado para proporcionar sustentabilidade a esses cultivos, porque o acréscimo de C ao solo pelo biocarvão pode reter os nutrientes e cedê-los por um período mais longo de tempo de cultivo, principalmente em solos arenosos.

Portanto, diante da carência de informações sobre a ciclagem de nutrientes em florestas plantadas e adubadas no Nordeste brasileiro, sobretudo no estado de Pernambuco, a fim de reduzir custos e preservar o ambiente, esse estudo teve o objetivo de avaliar alterações nos atributos químicos do solo e na nutrição de plantios puros de eucalipto e angico sob adubação de sedimentos de lago, resíduos de tanques de piscicultura e biocarvão, bem como avaliar o aporte de serapilheira e nutrientes desses plantios e estimar a taxa de decomposição e liberação de nutrientes do material foliar de eucalipto no semiárido pernambucano.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Nutrição mineral de plantas

O metabolismo vegetal envolve o processo no qual a planta utiliza elementos químicos minerais, como fonte de nutrientes, para produção de biomassa e energia, contribuindo com seu desenvolvimento e estabelecimento, uma vez que seres autotróficos não dependem de compostos produzidos por outros organismos. Tais nutrientes entram no meio biótico predominantemente pelos sistemas radiculares das plantas, para então percorrer outros níveis tróficos e retornar ao meio abiótico (TAIZ et al., 2017).

A nutrição de plantas estuda a dinâmica dos nutrientes essenciais ao desenvolvimento dos vegetais, bem como as consequências de seu suprimento inadequado, visualizadas por meio de sintomas. As plantas absorvem elementos que podem ser nutrientes, benéficos ou tóxicos, sem muita restrição (PRADO, 2008), e aqueles menos disponíveis serão utilizados com maior eficiência por elas (SELLE, 2007).

Um elemento é considerado essencial quando atende aos critérios de essencialidade, propostos por Arnon e Stout (1939), sendo esses critérios direto, ou indireto. No entanto, os critérios foram adaptados por Epstein e Bloom (2006), sendo que para ser essencial precisa atender pelo menos uma das situações: a) o elemento é parte de uma molécula indispensável à estrutura ou metabolismo da planta; b) em condições de extrema deficiência do elemento, a planta exibe anormalidades em seu crescimento, desenvolvimento ou reprodução, se comparada com outras menos privadas de tais nutrientes.

Apesar de importantes para suprir a demanda de produtos florestais, as plantações com espécies de rápido crescimento levam a reflexões em longo prazo, uma vez que, apesar de existir uma elevada produção de biomassa, também ocorre grande exportação de nutrientes na pós-colheita, quebrando o ciclo e contribuindo para redução da fertilidade do solo (POGGIANI; ZEN, 1984).

Assim, é preciso conhecer a quantidade de nutrientes presentes no sistema e quanto é exportado durante a supressão, definindo a eventual necessidade de complementação com fertilizantes e as práticas mais adequadas de manejo.

2.2. Ciclagem de nutrientes em florestas

Naturalmente a manutenção das florestas depende dos ciclos bioquímicos, geoquímicos e biogeoquímicos. De forma geral, as entradas de nutriente no sistema ocorrem por meio da precipitação, fixação do nitrogênio, aporte e decomposição de serapilheira, escoamento pelas folhas e troncos, fertilização, entre outros. Já as saídas ocorrem pela erosão, lixiviação, volatilização e exportações pós-colheita (SELLE, 2007).

A ciclagem dos nutrientes é importante para manutenção dos minerais essenciais, responsáveis pelo crescimento e estabelecimento dos vegetais e, no geral, são obtidos por meio da solução do solo, sendo que as plantas podem influenciar diretamente a disponibilidade de nutrientes entorno da superfície da raiz (MILLER, 2014).

Após absorção, as plantas convertem elementos inorgânicos em orgânicos que são incorporados a sua biomassa, ponto de entrada na cadeia alimentar, tal processo pode influenciar diretamente a nutrição dos indivíduos herbívoros (ROUACHED; RHEE, 2017).

O mesmo fundamento pode ser estendido para as florestas plantadas com espécies de interesse comercial, situações que dependem da ciclagem biogeoquímica para sustentar um rápido crescimento e altas taxas de produtividade no curto prazo, quando comparadas às florestas nativas. Neste caso, a exportação de nutrientes é elevada, ressaltando a necessidade de uma complementação nutricional.

Assim, o manejo das florestas pode incentivar o aumento da produção de biomassa, sendo esta diretamente proporcional à remoção de nutrientes do ambiente (POGGIANI; ZEN, 1984). Os solos florestais exercem influência direta sobre o ecossistema e quanto mais diverso o ambiente, mais equilibrado será o caminho percorrido pelos elementos (GAMA-RODRIGUES; BARROS, 2002).

2.2.1. Ciclo biogeoquímico

A circulação dos elementos químicos na biosfera, do ambiente para os organismos e vice-versa, caracteriza a ciclagem de nutrientes, sendo que cada elemento apresenta um ciclo particular (ODUM, BARRET, 2016). Para seu crescimento e desenvolvimento, as plantas retiram do solo os nutrientes essenciais necessários ao seu estabelecimento, no entanto, com o fechamento das copas e queda do material senescente, esta necessidade passa a ser suprida pelos elementos que retornam ao sistema (KOLM; POGGIANI, 2003).

Nos sistemas naturais, os serviços ecossistêmicos são fundamentais para manutenção da vida na terra, porém, com a degradação do ambiente há uma quebra do ciclo, culminando no desequilíbrio pela falta de retorno dos elementos para o sistema (WATANABE; ORTEGA, 2011). Com a supressão da vegetação, boa parte dos elementos é tirada do ambiente, interrompendo o ciclo e reduzindo a fertilidade dos solos (SÁ et al., 2009).

Plantações tropicais de rápido crescimento elevam o custo com fertilizantes, requeridos em maior quantidade pela remoção de nutrientes com a supressão da biomassa pela retirada de produtos, principalmente madeira a cada 6–7 anos em solos altamente intemperizados, sendo fundamental compreender a dinâmica e exigências das espécies (LACLAU et al., 2010). Portanto, é importante escolher a espécie a ser cultivada de acordo com as condições de sítio, buscando aumentar a biodiversidade, proporcionando condições adequadas para o aumento da atividade microbiana, que em conjunto com a fauna edáfica, são responsáveis pelo retorno dos nutrientes para o meio abiótico (NAZARIES et al., 2013)

Assim, é preciso conhecer a forma como os elementos circulam no ambiente para otimizar a tomada de decisões frente aos recursos ambientais, sobretudo para conservação e reposição de nutrientes no sistema edáfico, sendo imprescindível conhecer o comportamento da espécie inserida no ciclo biogeoquímico (VARGAS et al., 2018).

É importante também compreender os processos que regulam a ciclagem de nutrientes, como o aporte, acúmulo, decomposição e mineralização de serapilheira, pois tais processos irão influenciar na sustentabilidade dos ecossistemas (GRUGIKI et al., 2017). Tal ação é indispensável para preservação e elevação da fertilidade dos solos em ambientes florestais, contribuindo diretamente com o aumento da produção de biomassa e manutenção da circulação natural dos elementos.

2.3. Serapilheira

O material orgânico formado pela deposição de resíduos animais e vegetais sobre o solo é denominado serapilheira. A serapilheira, além de fonte de carbono e nutrientes, representa o habitat de organismos e micro-organismos responsáveis por sua fragmentação, decomposição e mineralização, sendo a fração folha a responsável pela maior quantidade de nutrientes devolvidos para o solo (SELLE, 2007; CAPELLESSO et al., 2016).

A serapilheira, além de fonte de nutrientes, apresenta função de proteção do solo contra erosão e perda de umidade e melhoria dos atributos físicos e químicos do solo (HOLANDA et

al., 2015). É importante conhecer a composição da serapilheira e sua taxa de decomposição, para entender a dinâmica do fluxo de nutrientes que ocorre no sistema solo-planta (SOUTO, 2006), bem como, suas funções de proteção do solo e de manutenção de micro-organismos.

No entanto, para que haja um processo de liberação de nutrientes é necessário que o material seja decomposto, fazendo da decomposição um processo importante para o retorno dos nutrientes ao solo e, estimulando a produtividade florestal (SKORUPA; BARROS; NEVES, 2015). Porém, existe uma forte relação entre a qualidade do material aportado, a taxa de decomposição e o sítio, pois quanto maior a disponibilidade de nutrientes e de água, maior o teor dos elementos nas frações aportadas e diversidade da fauna edáfica, que contribuirá para a fragmentação e decomposição do material (RAHMAN; TSUKAMOTO, 2013).

Um dos métodos mais utilizados para encontrar a taxa de decomposição da serapilheira é aquele que usa bolsas de náilon com amostra de peso conhecido e aberturas que permitam a entrada da fauna edáfica, onde as bolsas são distribuídas sobre ou sob o solo e periodicamente são recolhidas e pesadas para a determinação da massa remanescente.

Assim, é preciso realizar estudos de espécies em florestas naturais ou plantadas, com o intuito de compreender a dinâmica de nutrientes e desenvolver práticas de manejo sustentáveis (PINTO et al., 2016).

2.4. Adubação

As plantas cultivadas não utilizam todo fertilizante aplicado nos processos agrícolas, sendo que boa parte é lixiviado, fixado ao solo ou evaporado, o que contribui com a poluição dos lençóis freáticos, redução da qualidade dos cursos d'água e contaminação do ar. Assim, é preciso preservar a circulação natural dos elementos e aumentar a eficiência de absorção e utilização destes (ARNON; STOUT, 1939; ODUM, BARRET, 2016).

Atividades agropecuárias geram resíduos que, apesar de naturais e/ou orgânicos, podem causar poluição ambiental, caso não sejam devidamente tratados ou descartados. Tais resíduos possuem elevados teores de carbono e elementos químicos essenciais, que podem contribuir com o incremento da produção e melhorar a relação custo-benefício (ABREU JÚNIOR, et al. 2005). Porém é preciso conhecer a constituição desses compostos para que não se tornem, entre outros problemas, poluidores e/ou portadores de patógenos e/ou doenças.

O resíduo orgânico e mineral contribui com o retorno de nutrientes, além de melhorar a estrutura física, química e biológica do solo, e estes benefícios podem ser utilizados na produção

de espécies de ciclo curto ou longo, como nos cultivos florestais, buscando uma produção ecologicamente sustentável, economicamente viável e socialmente justa (FINATTO et al., 2013).

Estudos mostram que o uso de adubos aumenta significativamente a produtividade e a qualidade dos vegetais, reduzindo a pressão no ambiente e contribuindo com o estoque de carbono, no entanto, aplicações inadequadas podem causar sérios riscos ambientais (SHUYAN et al., 2017). Adubos e condicionadores de solo de liberação lenta reduzem perda por lixiviação e volatilização, com liberação gradual e contínua dos nutrientes (MACHADO et al., 2011).

Os adubos elevam a matéria orgânica do solo, melhorando as propriedades químicas e físicas do solo, bem como suas funções biológicas, o que favorece o crescimento das raízes e absorção de nutrientes das camadas mais profundas, sem contar na contribuição com o sequestro de carbono e benefícios econômicos com a redução da necessidade de fertilização química (MARTÍNEZ-ALCÁNTAR et al., 2016).

Resíduos orgânicos carbonizados também são indicados para melhorar a qualidade do solo, além de conter alto teor de carbono, contribuindo com a disponibilidade de água, capacidade de troca de cátions e disponibilidade de nutrientes, a depender da matéria prima e condições de pirólise, fazendo com que sua interação com o solo contribua positivamente na produção agrícola, colaborando com o crescimento vegetal, sendo recomendada sua utilização em conjunto com outras fontes orgânicas (TRAZZI et al., 2016; MOREIRA, 2018).

2.4.1. Resíduo de tanques de piscicultura

A atividade hidrelétrica, junto à construção de barragens, atinge diretamente as populações ribeirinhas, que dependem sobretudo da pesca para manutenção do seu sustento. Assim, atividades como a produção de peixes em tanques escavados surgem como alternativa de manutenção da economia local, gerando alimento, emprego e renda para população (ADEWUYI et al., 2010).

No entanto, a piscicultura aparece como uma atividade geradora de um grande volume de material orgânico e resíduos de ração, proveniente da deposição de restos de alimentos e fezes dos peixes que precisam ser recolhidos com frequência, sendo necessário o esvaziamento dos tanques no fim do ciclo de cada cultivo (SILVA et al., 2017). Esses resíduos precipitam, permanecendo no fundo dos tanques, constituindo um material rico em nutrientes que pode

contribuir com a fertilização de áreas de cultivo ou funcionar como condicionadores de solos, e o reaproveitamento dos resíduos apresenta baixo custo de produção, quando gerados de produção local (SILVA et al., 2013).

Resíduos orgânicos gerados em atividades agropecuárias, manejados e/ou descartados de forma inadequada, contribuem com a poluição ambiental, sendo indicadas medidas de mitigação, reutilização ou destinação apropriada do material. Os resíduos agropecuários quando não manejados podem causar sérios danos ao meio ambiente, assim a busca por alternativas para sua reutilização, com critérios, pode resultar em menor degradação do meio ambiente e também pode trazer retornos econômicos (SILVA et al., 2017).

Na bacia do Rio São Francisco, sobretudo o reservatório de Itaparica, existe um grande potencial para produção de peixes em tanques escavados, mas há um acúmulo de nutrientes, especialmente fósforo e nitrogênio (GUNKEL et al., 2015). Este acúmulo de nutrientes em conjunto com o consumo de oxigênio acelera o processo de eutrofização da água do reservatório, reduzindo a qualidade da água e a quantidade da biodiversidade, logo, se faz necessária destinação adequada para limitar o acúmulo de sedimentos e evitar a eutrofização (GUNKEL; SOBRAL, 2013).

Esses resíduos apresentam baixa relação C/N, o que indica alta capacidade de decomposição, mineralização e disponibilização de nutrientes, o que pode aumentar a velocidade de disponibilização para as plantas (BRACCINI et al., 1995). Em estudo comparando resíduo dos tanques de piscicultura e esterco de animais, foram constatados que o material proveniente da produção de peixes apresentou valores mais alto de nutrientes, principalmente em K e Mg, que representou cerca de 2 a 4 vezes mais, que o esterco (SILVA et al., 2013).

Assim, quando manejados, os resíduos gerados na produção de peixes podem ser reaproveitados na agricultura, reduzindo o impacto do descarte inadequado, contribuindo para fertilidade dos solos, minimizando os impactos ambientais causados por fertilizantes químicos e reduzindo custos de produção para o produtor.

2.4.2. Sedimento de reservatório artificial

Por ser um país com a quantidade de rios abundante, o Brasil é hoje um dos maiores construtores de barragens e o segundo maior produtor de energia hidrelétrica no mundo (OLIVEIRA, 2018). O transporte de sedimentos por vias fluviais contribui com a maior parte

dos materiais aportados nos oceanos e a intensidade de transferência varia de acordo com fatores ambientais e, atualmente, com as modificações antrópicas praticadas sobre os recursos naturais (MEDEIROS et al., 2011).

Os rios carregam em seu curso grande quantidade de resíduos orgânicos e elementos essenciais na forma orgânica, no entanto a construção de barragens interfere não só na quantidade de peixes disponíveis, mas no fluxo natural desses elementos, que acabam ficando retidos, gerando grande quantidade de sedimentos depositados (SOUZA et al., 2011). Todos os reservatórios possuem uma capacidade de entrada de sedimentos, o que pode limitar seu uso e causar alteração na qualidade da água retida (SALIMI et al., 2013).

Estudo realizado por Patil e Shetkar (2016), em uma bacia hidrográfica localizada na Índia, mostrou uma perda da capacidade da barragem de cerca de 6,5%, ocasionada pelo acúmulo de sedimentos. Por isso a preocupação com a construção de barragens é crescente, pois o que está em jogo não é apenas a disponibilidade de peixes para suprir a demanda da população ribeirinha, mas um acúmulo excessivo de águas para irrigação, que causa danos ao solo, bem como a concentração de sais como os sulfatos, assim, a remoção de tais resíduos para uso em sistemas de cultivos agrícolas se torna interessante (FONSECA; BARRIGA; FYFE, 2003).

Uma alternativa para o uso de tais sedimentos são como adubos, devido ao alto teor de matéria orgânica presente no material. No entanto, é preciso conhecer as características do sedimento para evitar contaminação por materiais tóxicos, como por exemplo metais pesados (WALTER; GUNKEL; GAMBOA, 2012). A retirada do material, pelo pequeno produtor, pode ser facilitada com a baixa do nível da água, caracterizando um material rico em nutrientes e com custo reduzido (SANTOS, 2016).

Além de fonte de nutrientes, os sedimentos de reservatórios artificiais são sumidouros importantes para o carbono orgânico, sendo fatores como variações severas no nível da água determinantes para a taxa de acúmulo de CO₂ (LÓPEZ et al., 2016).

2.4.3. Biocarvão

A incorporação da matéria orgânica nos solos (MOS) é importante para manutenção e/ou melhoria da fertilidade e estoque de carbono. No entanto, é imprescindível não só incorporar, mas manter estes níveis de MOS, sobretudo onde há uma alta taxa de decomposição. Uma forma de estabilizar o material no solo ocorre por meio da incorporação de resíduo

orgânico carbonizado, pois, além de estabilizar o processo de decomposição retém os nutrientes, regulando sua liberação (GONZAGA et al., 2018).

Em junho de 2010, o Brasil lançou o Programa Nacional de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (ABC), com objetivo de aumentar a produtividade agrícola reduzindo a emissão de gases de efeito estufa, sendo que, o uso de biomassa carbonizada, ou biocarvão, como condicionador de solo, pode contribuir com a redução ou compensação da emissão de CO₂ na atmosfera. Assim, além de colaborar com sua produtividade, contribui com a fertilidade e mitigação das alterações climáticas (SHAREEF; ZHAO, 2017).

O biocarvão (BC) geralmente é produzido a partir de resíduos que outrora seriam descartados, como cascas e galhos, por exemplo, e atualmente existem sistemas onde sua produção libera o mínimo de CO₂ por meio de um processo de queima controlada, onde há geração de energia térmica e elétrica (PETTER et al., 2016).

Em geral, o BC é qualquer fonte de biomassa, produzido por meio do processo de queima controlada, sob baixo ou nenhum suprimento de oxigênio, com a finalidade de ser incorporado ao solo, para melhoria da sua qualidade agronômica e ambiental (MAIA; MADARI; NOVOTNY, 2011)

O BC por apresentar natureza porosa, contribui para retenção de água, e interfere nas propriedades químicas e físicas do solo (MOREIRA, 2018). Como sua estrutura é resistente à degradação microbiana, possui característica adequada para melhorar o estoque de carbono nos solos, contribuindo com a redução de emissão de gases causadores do efeito estufa, sem contar com sua alta capacidade de troca catiônica e elevada porosidade (SANTOS, 2015).

A porção de cinzas do material é fonte de fósforo, potássio e outros nutrientes, que ficam disponíveis para as plantas mais facilmente que os da matéria orgânica não-pirolisada (PETTER et al., 2012). Alguns estudos sugerem o uso do biocarvão associado a resíduos orgânicos, como forma de liberação lenta de nutrientes, devido à redução da degradação do material. O fato é que o BC é uma alternativa para destinação de resíduos orgânicos que poderiam se tornar altamente poluentes.

Em avaliação do crescimento de mudas de espécies florestais submetidas a substratos com nove tipos de biocarvão foi constatado que houve diferença no crescimento em altura das mudas, indicando que o material de origem do condicionador interfere nas contribuições ao ambiente edáfico (PLUCHON et al., 2014).

Em estudo realizado com resíduos agrícolas em Camarões, foram utilizados sabugos de milho e casca de eucalipto carbonizados em fornos para produção do carvão vegetal, e apesar de ambos terem apresentado boas propriedades agronômicas e preencher os principais critérios

de qualidade para o sequestro de carbono no solo, o material produzido a partir do sabugo apresentou maior teor de potássio solúvel e carbono, quando comparado ao biochar de casca de eucalipto (MERLAIN; MUNSON; ALLAIRE, 2017).

No geral a biomassa agrícola apresenta maior teor nutricional e de carbono que a biomassa florestal (BRAND, 2010), sendo também indicadas para produção de carvão vegetal, contribuindo para estocagem de carbono no solo. Assim indivíduos suprimidos pelos mais diversos motivos podem ser fonte de matéria prima para produção do BC.

2.5. Florestas plantadas

As florestas plantadas contribuem com serviços ecossistêmicos básicos, como a regulação climática, armazenamento de carbono, saúde humana e geração de recursos que sustentam indústrias de produtos florestais madeireiros e não madeireiros. (WINGFIELD et al., 2015).

O cultivo de florestas plantadas no país vem aumentando consideravelmente, totalizando em 2016 uma área total de 7,84 milhões de hectares, o que representou um aumento de 0,5%, quando comparado com o ano de 2015, sendo este crescimento atribuído exclusivamente aos plantios de eucalipto (IBÁ, 2017a).

No semiárido brasileiro a pressão antrópica vem se intensificando ao longo dos anos, por meio do corte indiscriminado de espécies arbóreas nativas, assim, plantios comerciais conseguem suprir, em parte, a demanda por produtos florestais, sendo importante a introdução de espécies de alta produção de biomassa, adaptadas às condições edafoclimáticas (DRUMOND et al., 2008).

2.5.1. Eucalipto

Nos últimos anos as áreas utilizadas para plantação de espécies florestais vêm aumentando consideravelmente, e dentre as espécies mais plantadas se destacam as do gênero *Eucalyptus* (IBÁ, 2017a). Além do incremento médio anual (IMA) ser superior aos das espécies nativas brasileiras, já que se utiliza material genético melhorado existe grande adaptação às condições edafoclimáticas, e alta versatilidade no uso e aproveitamento (SILVA, 2008/2009), podendo ser utilizado para produção de celulose e papel, carvão e energia, madeira serrada, entre outros. Assim, os eucaliptos estão entre as opções mais viáveis para o reflorestamento

com finalidade econômica, pelo seu melhoramento genético, resistência à pragas e doenças, qualidade e produtividade.

No Brasil, os plantios de eucalipto ocupam 5,7 milhões de hectares da área de florestas plantadas, sendo Minas Gerais com maior porcentagem de ocupação (24%), seguido de São Paulo (17%) e Mato Grosso do Sul (15%), onde o crescimento de cultivo da espécie no país foi de 2,4% ao ano nos últimos cinco anos (IBÁ, 2017a).

Diversas empresas manejam povoamento de clones e desenvolvem plantações em forma de mosaico, mesclando os talhões com remanescentes ao longo da paisagem, conciliando a produção florestal com a conservação da biodiversidade (GABRIEL et al., 2013). A eficiência nutricional dos clones varia com o ambiente, sendo influenciado pelo sítio e espaçamento (MOLICA, 1992).

Os genótipos também interferem na produção de biomassa e na eficiência nutricional, existindo diferenças na eficiência de absorção, translocação e utilização dos macronutrientes, sendo interessante a seleção de genótipos para condições distintas de sítio, permitindo sua alocação em solos com distintas características nutricionais (PINTO et al., 2011).

2.5.2. Angico-vermelho

O angico-vermelho, *Anadenanthera colubrina* var. *cebil* Grisebe, pertencente à família Fabaceae (Leguminosae), possui distribuição no território nacional, é decíduo e em condições naturais pode alcançar até 20 metros (LORENZI, 2002). Sua madeira é densa e pesada, sendo amplamente utilizada na construção civil devido a sua durabilidade, além do uso medicinal e industrial pela grande concentração de taninos na casca (MONTEIRO et al., 2006; PAES et al., 2013).

Essa espécie, por ter rápida germinação e rusticidade é indicada para recomposição de áreas degradadas, podendo ser utilizado em semeadura direta, mesmo em locais de insolação intensa e baixa qualidade de sítio (SANTOS, 2016). Também indicada para reposição da mata ciliar em áreas não inundáveis, seu pólen e néctar servem de alimentação às abelhas e as folhas podem ser utilizadas na forragem para os animais, sem contar que apresenta brotações após corte, característica útil nas plantações comerciais (MAIA, 2004).

Além da demanda de mercado pelo fornecimento de taninos e mel, utilização como forrageira, resina e madeira também é utilizada como planta ornamental na arborização

urbana (RODRIGUES et al., 2007). Por se tratar de uma espécie leguminosa também pode ser plantada em faixas, na vegetação existente, com objetivo de contribuir para melhoria do solo.

A espécie foi escolhida para plantio pelo fato de ser nativa e não haver vegetação natural no entorno que pudesse servir de parâmetro para comparação com o eucalipto.

REFERÊNCIAS

- ABREU JÚNIOR, C. H. et al. Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: propriedades químicas do solo e produção vegetal. **Tópicos Especiais em Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v.4, p.391-470, 2005.
- ADEWUYI, S. A et al. Analysis of profitability of fish farming in Ogun State, Nigeria. **Journal of Human Ecology**, [S.l.], v.31, n.3, p.179-184, 2010.
- ARNON, D. I., STOUT, P. R. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. **Plant Physiology**. Washington, p. 371-375, 1939.
- BRACCINI, A. L. de et al. Efeito da aplicação de resíduos orgânicos com diferentes relações C/N sobre algumas características químicas de um latossolo vermelho-escuro. **Ceres**, Viçosa-MG, v. 244, n. 44, p.671-684, 1995.
- BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 131 p.
- CALDEIRA, M. V. W. et al. Exportação de nutrientes em função do tipo de exploração e um povoamento de *Acacia mearnsii* de Wild. **Revista Floresta e Ambiente**. Rio de Janeiro, v. 9, n. 1, p.97-104. 2002.
- CAPELLESSO, E. S. et al. Effects of forest structure on litter production, soil chemical composition and litter-soil interactions. **Acta Botanica Brasílica**, São Paulo-SP, v. 30, n. 3, p. 329-335, 2016.
- CUNHA NETO, F. V. et al. Acúmulo e decomposição da serapilheira em quatro formações florestais. **Ciência Florestal**, Santa Maria-RSv.23, n.3, p.379-387, 2013.
- DRUMOND, M. A. et al. Produção e distribuição de biomassa de espécies arbóreas no Semiárido brasileiro. **Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 4, p.665-669, jan. 2008.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Tradução: Maria Edna Tenório Nunes. Londrina: Planta, 2006. 403p.
- FINATTO, J. et al. A importância da utilização da adubação orgânica na agricultura. **Revista Destaques Acadêmicos**, Lajeado, v.5, n.4, p.85-93, 2013.
- FREIRE, J. D. L. et al. Deposição e composição química de serrapilheira em um bosque de sabiá. **Revista Brasileira de Zootecnia**, [S.l.], v.39, n.8, p.1650-1658, 2010.
- FONSECA R. M., BARRIGA F. FYFE W. S. **Dam reservoir sediment as fertilizers and artificial soils: Case studies from Portugal and Brazil**. Proceeding: Int. Symp. Of the Kanazawa University, 21 st-Century COE Program, p.55-62, 2003.
- GABRIEL, V. de A. et al. A importância das plantações de eucalipto na conservação da biodiversidade. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, n. 74, p.203-213, 28 jun. 2013. Embrapa Florestas.
- GAMA-RODRIGUES, A. C.; BARROS, N. F. Ciclagem de nutrientes em floresta natural e em plantios de eucalipto e de dandá no sudeste da Bahia, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 193-207, 2002.

- GATTO, A. et al. Ciclagem e balanço de nutrientes no sistema solo-planta em um plantio de *Eucalyptus* sp., no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 3, p. 879-887, jun. 2014.
- GONZAGA, M. I. et al. Sewage sludge derived biochar and its effect on the growth and morphological traits of *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden seedlings. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 2, p.687-695, jun. 2018.
- GOYA, J. F. et al. Decomposition and nutrient release from leaf litter in *Eucalyptus grandis* plantations on three different soils in Entre Ríos, Argentina. **Bosque**, S.l., v. 3, n. 29, p.217-226, 2008.
- GUNKEL, G. et al. Carrying capacity limits of net cage aquaculture in Brazilian reservoirs. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, Rio de Janeiro, n. 36, p.128-144, jun. 2015.
- GUNKEL, G.; SOBRAL, M.C. Re-oligotroficação as a challenge for tropical reservoir management with referenceto Itaparica Reservoir, São Francisco, Brazil. **Water Science & Technology**, v.64, n.4, p.708-714, 2013.
- GRUGIKI, M. A. et al. Decomposição e Atividade Microbiana da Serapilheira em Coberturas Florestais no Sul do Espírito Santo. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 8, 2017.
- HOLANDA, Alan Cauê et al. Decomposição da serapilheira foliar e respiração edáfica em um remanescente de caatinga na Paraíba. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n. 2, p.245-254, abr. 2015.
- IBÁ - Indústria Brasileira de produtores de Árvores- Indústria Brasileira de Produtores de. **Relatório IBÁ 2017**. Brasília, 2017a. 80 p.
- IBÁ - Indústria Brasileira de produtores de Árvores- **Florestas plantadas**: oportunidades e desafios da indústria brasileira de base florestal plantada no caminho da sustentabilidade. Brasília: CNI, 2017b. 79 p.
- KOLM, L.; POGGIANI, F. Ciclagem de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus grandis* submetidos à prática de desbastes progressivos. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, n. 63, p. 79-93, jun. 2003.
- KORUPA, A. L. A.; BARROS, N. F. de; NEVES, J. C. L. Forest litter decomposition as affected by *Eucalyptus* stand age and topography in south-eastern Brazil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n. 6, p.1055-1064, dez. 2015.
- LACLAU, J. et al. Biogeochemical cycles of nutrients in tropical *Eucalyptus* plantations. **Forest Ecology and Management**, [S.l.], v. 259, n. 9, p. 1771-1785, abr. 2010.
- LEITE, L. F. C.; OLIVEIRA, F. das C.; ARAÚJO, A. S. F.; GALVÃO, S. R. S.; LEMOS, J. O.; SILVA, E. F. L. Soil organic carbon and biological indicators in na Acrisol under tillage systems and organic management in north-eastern Brazil. **Australian Journal of Soil Research**, v. 48, p. 258-265, 2010.
- LÓPEZ, P. et al. Sediment size distribution and composition in a reservoir affected by severe water level fluctuations. **Science of the total environment**, [S.l.], v. 540, n. 1, p. 158-167, jan. 2016.

- LORENZI, H.: **Árvores Brasileiras** – Manual de Identificação e Cultivo de Plantas e Árvores Nativas do Brasil. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2002, v.1, 368 p.
- LUDVICHAK, A. A. et al. Nutrient return through litterfall in a *Eucalyptus dunnii* maiden stand in sandy soil. **Revista Árvore**, Viçosa, p.1041-1048, dez. 2016.
- MACHADO, D. L. M. et al. Slow-release and organic fertilizer son early grow thof Rangpur lime. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 3, n. 58, p. 359-365, jul. 2011.
- MAIA, C. M. B. F.; MADARI, B. E.; NOVOTNY, E. H. Advances in Biochar Research in Brazil. **Dynamic Soil, Dynamic Plant**, [S.l.], v. 5, n. 1, p. 53-58, fev. 2011.
- MAIA, G. N. **Caatinga: árvores e arbustos e suas utilidades**. São Paulo: D & Z Computação Gráfica e Editora, 2004. 413 p.
- MARTÍNEZ-ALCÁNTARA, B. et al. Liquid organic fertilizers for sustainable agriculture: nutrient up take of organic versus mineral fertilizers in citrus trees. **Plosone**, [S.l.], v. 11, n. 10, 2016.
- MERLAIN, D. K. B.; MUNSON, A.; ALLAIRE, S. E. Quality of biochars made from Eucalyptus tree bark and corncob using a Pilot-Scale Retort Kiln. **Waste and Biomass Valorization** , [S.l.], v. 9, n. 6, p. 899-909, 2017.
- MELLONI, R. et al. Evaluation of soil quality under different forest covers and pasture in southern Minas Gerais State, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.2461–2470, 2008.
- MEDEIROS P. R. P., et al. Aporte de material em suspensão no Baixo Rio São Francisco (SE/AL), em diferentes condições hidrológicas. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, n. 15 v.1 p. 42-53, 2011.
- MILLER, A. J. Plant Mineral Nutrition. **Els**, [s.l.], p.1-6, 15 jul. 2014.
- MOLICA, S. G. **Produção de biomassa e eficiência nutricional de híbridos interespecíficos de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais**. Tese de Doutorado Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1992. 120p.
- MONTEIRO, J. M. et al. The effects of seasonal climate changes in the caatinga on tannin levels in *Myracrodruon urundeuva* (Engl.) Fr. All. And *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, João Pessoa, v. 16, n. 3, p.338-344, set. 2006.
- MOREIRA, F. T. de A. **Avaliação de um sistema agroflorestal na região de Itaparica, semiárido pernambucano**. 2018. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2018.
- NAZARIES, L. et al. Evidence of Microbial Regulation of Biogeochemical Cycles from a Study on Methane Flux and Land Use Change. **Applied and Environmental Microbiology**, [S.l.], v. 79, n. 13, p. 4031-4040, abr. 2013.
- ODUM, E. P.; BARRET, G. W. **Fundamentos de ecologia**. São Paulo: Cengage Learning, 5 ed 2016. 612 p.
- OLIVEIRA, N. C. C. de. A grande aceleração e a construção de barragens hidrelétricas no Brasil. **Varia História**, Belo Horizonte, v. 34, n. 65, p.315-346, ago. 2018.

- PAES, J. B. et al. Taninos condensados da casca de angico vermelho (*Anadenanthera colubrina* var. *cebil*) extraídos com soluções de hidróxido e sulfito de sódio. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 3, p. 22–27, 2013.
- PATIL, R. A.; SHETKAR, R. V. Prediction of sediment deposition in reservoir using artificial neural networks. **IJCIET**, Tamilnadu, v. 7, n. 4, p. 1-12, jul. 2016.
- PETTER, F. A. et al. Soil fertility and upland rice yield after biochar application in the Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília v.47, n.5, p.699-706, 2012.
- PETTER, F. A. et al. Biocarvão no solo: aspectos agrônômicos e ambientais. Colombo: **Embrapa florestas**, 2016. 9 p.
- PINTO, H. C. A. et al. Decomposição da serapilheira foliar de floresta nativa e plantios de *Pterogyne nitens* e *Eucalyptus urophylla* no sudoeste da Bahia. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 4, p.1141-1153, out/dez. 2016.
- PINTO, S. I. C. et al. Eficiência nutricional de clones de eucalipto na fase de mudas cultivados em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p.523-533, jan. 2011.
- PLUCHON, N. et al. Stimulation of boreal tree seed ling growth by wood-derived charcoal: effects 96 of charcoal properties, seed ling species and soil fertility. **Functional Ecology**, v.28, p.766–775, 2014.
- POGGIANI, F.; ZEN, S. Ciclagem e exportação de nutrientes em florestas para fins energéticos. **Série Técnica IPEF**, 1984. n. 27, p.17-30.
- PRADO, R.M. **Nutrição de Plantas**. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 408 p.
- RAHMAN, M. M.; TSUKAMOTO, J. Leaf traits, litter decomposability and forest floor dynamics in an evergreen- and a deciduous-broad leaved forest in warm temperate Japan. **Forestry**, [S.l.], v. 86, n. 4, p. 441-451, jul. 2013.
- RODRIGUES, Ana Carolina da Cunha et al. Efeito do substrato e luminosidade na germinação de *Anadenanthera colubrina* (Fabaceae, Mimosoideae). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 2, p.187-193, abr. 2007.
- ROUACHED, H.; RHEE, S. Y. Rhee. System-level under standing of plant mineral nutrition in the big data era. **Current Opinion in Systems Biology**, [S.l.], v. 4, p. 71-77, ago. 2017.
- SÁ, J.C. M; CERRI, C. C.; LAL, R.; DICK, W. A. PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. E.: Soil organic carbono and fertility interactions affected by a tillage chrono sequence in a Brazilian Oxisol. **Soil e Tillage Research**, Amsterdam, v.104, p.56-64, 2009.
- SALIMI, M. et al. Sedimentation Estimation Study Using Artificial Neural Network for Karaj Dam Reservoir in Iran. **J. Basic. Appl. Sci. Res**, Zarfán, v. 8, n. 3, p. 185-193, jan. 2013.
- SANTOS NETO, A. P. et al. Produção de serapilheira em floresta estacional semidecidual e em plantios de *Pterogyne nitens* tull. e *Eucalyptus urophylla* s. T. Blake no sudoeste da Bahia. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 3, p.633-643, 30, 2015.
- SANTOS, R. C. dos. **Avaliação nutricional e de crescimento inicial em altura de espécies arbóreas em Sistemas Agroflorestais na região de Itaparica, semiárido Pernambucano.**

2016. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Florestais, Ciência Florestal, UFRPE, Recife, 2016.

SANTOS, S. R. dos. **Biocarvão associado a fertilizante e sua influência no aproveitamento de fósforo pela planta**. 2015. 38 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

SELLE, G. L. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. **Bioscience Journal**; v. 23, n.4: p. 29-39.2007.

SHAREEF, T. M. E.; ZHAO, B. Review Paper: The Fundamentals of Biochar as a Soil Amendment Tool and Management in Agriculture Scope. **Journal of Agricultural Chemistry and Environment**, [S.l.], v. 6, n. 1, p. 38-61, jan. 2017.

SHUYAN, L. et al. Effect of different organic fertilizers application on growth and denitrification risk of nitrate under a vegetable field. **Scientific Reports**, [S.l.], p. 1-9, jan. 2017.

SILVA, E. A. et al. Efeito do resíduo de tanque de piscicultura na produção de mudas de maracujazeiro. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 74, n. 1, p.58-64, 2017.

SILVA, J. A. A. Potencialidades de florestas energéticas de *Eucalyptus* no pólo gesseiro do Araripe, Pernambuco. **Anais da Academia Pernambucana de Ciências Agrônomicas**, v. 5 e 6, p. 301–319, 2008/2009.

SILVA, R. F.; et al. Qualidade do resíduo de tanques de produção de alevinos como condicionante de solos no semiárido de Pernambuco: subsídios para gestão ambiental. **Gaia Scientia**, v.7, n.1, 2013.

SILVA, F. O. R. et al. Efeito do resíduo de tanque de piscicultura na produção de mudas de maracujazeiro. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 74, n. 1, p. 58-64, mar. 2017.

SOUTO, P. C. **Acumulação e decomposição da serapilheira e distribuição de organismos edáficos em área de Caatinga na Paraíba**. 161f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2006. 150p

SOUZA, W. F. L. et al. Impactos de barragens sobre os fluxos de materiais na interface continente-oceano. *Revista virtual de química*, Rio de Janeiro. v.30, 2011, p. 116-128.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 6.ed. 2017. 858p.

VARGAS, G. R. de. et al. Ciclagem de biomassa e nutrientes em plantios florestais. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v.11, n.2, p.111-123, mai., 2018.

WALTER, K.; GUNKEL, G.; GAMBOA, N. Na assessment of sediment reuse for sediment management of Gallito Ciego Reservoir, Peru. **Research and Management**, v.17, p.301–314, 2012.

WATANABE, M. D.B; ORTEGA, E. Ecosystem services and biogeochemical cycles on a global scale: valuation of water, carbon and nitrogen processes. **Valuation of water, carbon and nitrogen processes**, [S.l.], v. 14, n. 6, p. 594-604, out. 2011.

WINGFIELD, M. J. et al. Planted for esth ealth: The need for a global strategy. **Science**, [S.l.], v. 349, n. 6250, p. 832-836, ago. 2015.

CAPÍTULO I

Atributos químicos do solo e nutrição de plantios de eucalipto e angico sob diferentes fontes de adubação e biocarvão, na região de Itaparica, Pernambuco.

ARAUJO, EMMANOELLA COSTA GUARANÁ. **Atributos químicos do solo e nutrição de plantios de eucalipto e angico sob diferentes fontes de adubação e biocarvão, na região de Itaparica, Pernambuco.** 2019. Orientador: José Antônio Aleixo da Silva. Co-orientadores: Fernando José Freire, Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira.

RESUMO

Em áreas onde são cultivadas espécies de interesse econômico, a exportação de nutrientes do solo é elevada. Em algumas dessas áreas procura-se não utilizar fertilizantes minerais e a reposição nutricional é realizada com adubos. Concomitantemente, os solos do semiárido são frequentemente de elevada fertilidade natural e o uso de biocarvão pode proteger essa fertilidade por um período mais longo, principalmente em plantios puros de espécies florestais. Assim, esse estudo teve o objetivo de avaliar alterações nos atributos químicos do solo e na nutrição de plantios puros de eucalipto (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus tereticornis*) e angico-vermelho (*Anadenanthera colubrina* var. Cebil), aos 41 meses sob fertilização de sedimentos de lago, resíduos de tanques de piscicultura e biocarvão no semiárido pernambucano. Decorridos 41 meses da primeira aplicação dos adubos naturais e biocarvão (julho de 2017), amostras de folhas de eucalipto e angico foram coletadas, bem como o solo da área experimental foi amostrado. Para análise foliar de N, P, K, Ca e Mg foram coletadas vinte e cinco folhas do terço médio das copas das árvores, implantadas em um delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições por tratamento. Também foram coletadas amostras de solo até a profundidade de 0,30 m, distando 15 cm da base das árvores. Os teores de K^+ e P do solo foram influenciados pelos adubos naturais e o biocarvão elevou o teor de C do solo. O cultivo de angico reduziu os teores de K^+ e P do solo e o cultivo de eucalipto reduziu os teores de Mg^{2+} . O resíduo de tanque de piscicultura foi responsável pela elevação dos teores de P tanto no eucalipto quanto no angico, sendo recomendado para solos naturalmente pobres em P. O angico apresentou os maiores teores foliares de N, P, K e Ca, sugerindo elevada demanda dessa espécie por esses nutrientes. O eucalipto foi mais exigente em Mg do que o angico, sugerindo que seu cultivo em ambiente semiárido deve ser recomendado em solos ricos em Mg^{2+} .

Palavras-chave: análise de fertilidade, macronutrientes, teores foliares

ARAÚJO, EMMANOELLA COSTA GUARANÁ. **Soil chemical attributes and nutrition of eucalyptus and angico plantations under different sources of fertilization and biochar in the region of Itaparica, Pernambuco.** 2019. Advisor: José Antônio Aleixo da Silva. Co-advisors: Fernando José Freire, Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira.

ABSTRACT

In areas where species of economic interest are cultivated, soil nutrient exports are high. In some of these areas it is sought not to use mineral fertilizers and the nutritional replacement is performed with organic fertilizers. Concomitantly, the semi-arid soils are often of high natural fertility and the use of biochar may protect this fertility for a longer period, especially in pure plantations of forest species. Thus, this study had the objective of evaluating changes in soil chemical attributes and nutrition of pure plantations of eucalyptus (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus tereticornis*) and angico-vermelho (*Anadenanthera colubrina* var. Cebil), at 41 months under fertilization of lake sediments, fishery tank residues and biochar in the semi-arid region of Pernambuco. After 41 months of application of the natural fertilizers and biochar (July 2017), samples of eucalyptus and angico leaves were collected, as well as the soil of the experimental area was sampled. For leaf analysis of N, P, K, Ca and Mg, twenty-five leaves of the middle third of the crowns of the trees were collected, implanted in a completely randomized design with four replicates per treatment. Soil samples were also collected up to a depth of 0.30 m, 15 cm apart from the base of the trees. The soil K⁺ and P contents were influenced by the natural fertilizers and the biochar increased the C content of the soil. Angico cultivation reduced soil K⁺ and P levels and eucalyptus cultivation reduced Mg²⁺ levels. The fish tank residue was responsible for the elevation of P levels in both eucalyptus and angico, and was recommended for naturally poor soils in P. The angico had the highest levels of N, P, K and Ca, suggesting a high demand of this species by these nutrients. The eucalyptus was more demanding in Mg than the angico, suggesting that its cultivation in semi-arid environment should be recommended in soils rich in Mg²⁺.

Keywords: fertility analysis, macronutrients, leaf contents

1. INTRODUÇÃO

Os elementos circulam na natureza de maneira constante e equilibrada e uma das formas de retorno dos nutrientes que compõem a biomassa vegetal para o ambiente abiótico é por meio da queda do material senescente, após sua fragmentação, decomposição e mineralização (VARGAS, 2018).

A busca pelo conhecimento da autossustentabilidade dos ecossistemas é crescente, constante e imprescindível, sobretudo no tocante à ciclagem dos nutrientes, especialmente em regiões onde a escassez de chuva é fator limitante na absorção de nutrientes (HOLANDA, 2015). Por isso, a avaliação da fertilidade dos solos é insuficiente para avaliar o estado nutricional do vegetal, sendo importante considerar o teor e o conteúdo dos nutrientes, principalmente no componente foliar dos vegetais.

Por meio do processo de fotossíntese, absorção de água e nutrientes, os elementos inorgânicos são transportados e incorporados à biomassa vegetal, passando para forma orgânica, sendo a eficiência deste processo definida por fatores como idade, espécie da planta e qualidade do sítio (ANDRADE; CABALLERO; FARIA, 1999; MARSCHNER, 2012).

Conhecer o teor de nutrientes na fitomassa e de que forma esse material retorna para o solo é fundamental para o manejo da produção florestal, sem contar na redução de custos e impactos ambientais com o decréscimo da fertilização química e reaproveitamento do material que poderia ser descartado de maneira inadequada contribuindo com a poluição ambiental. No entanto, para avaliar o estado nutricional de uma planta são necessários valores de referência, estabelecendo nível crítico ótimo e a faixa ótima para a concentração dos nutrientes nas diversas partes do vegetal (WADT et al., 1998; DIAS et al., 2013).

A formação da biomassa florestal também contribui para translocação de nutrientes presentes nas camadas inferiores do solo, absorvidos pelas raízes profundas dos vegetais e devolvidos por meio do material vegetal senescente, sendo fundamental para manutenção natural dos ecossistemas (EMBRAPA, 1999; KOLM; POGGIANI, 2003).

Em áreas onde são cultivadas espécies de interesse econômico, a exportação de nutrientes do solo é elevada, e os resíduos de vegetação que poderiam permanecer em campo, contribuindo com a manutenção das condições edáficas, nem sempre são deixados (TIECHER, 2016). Assim, com a implantação de novos cultivos, sem manejo, a tendência é que a saída de nutrientes do sistema seja maior que a entrada, podendo causar desequilíbrio ambiental.

É importante conhecer o teor de nutrientes nas folhas, pois esta fração pode representar indiretamente a fertilidade do solo e conhecer o estado nutricional das plantas pode contribuir economicamente com o retorno financeiro da agricultura (TEIXEIRA et al., 2017). Espécies como as do gênero *Eucalyptus* possuem grande importância no setor industrial, no entanto ainda se tem pouco conhecimento sobre a influência do manejo florestal e qualidade dos sítios na ciclagem de seus nutrientes (GONZÁLEZ-GARCÍA et al., 2016), sobretudo no semiárido pernambucano.

Com objetivo de suprir a demanda por produtos florestais madeireiros e não madeireiros, o reflorestamento com espécies de rápido crescimento aparecem como alternativas para mitigar o uso da vegetação natural. No entanto tais espécies, em geral, são cultivadas em solos de baixa fertilidade, exigindo uma complementação de nutrientes para atingir a produtividade desejada (CALDEIRA et al., 2015).

Conhecer a eficiência das espécies de interesse comercial pode contribuir com a investigação sobre as estratégias utilizadas pelas plantas para adaptação à ambientes com baixa pluviosidade, contribuindo com o aumento da produtividade florestal, sobretudo com programas de melhoramento de plantas (MÜLLER et al., 2017).

É importante conhecer o conteúdo nutricional da biomassa para entender o quanto será exportado na colheita e garantir uma produção contínua e sustentada possibilitando a previsão de situações críticas que comprometam a produção da biomassa e atributos químicos do solo (VIEIRA; SCHUMACHER; CALDEIRA, 2015).

No município de Belém de São Francisco, em Pernambuco, implantou-se um experimento em 2014 de produção madeireira, com o objetivo de desenvolver um plantio de baixo impacto com o uso de adubos, além de um condicionador do solo, o biocarvão, por se tratar de um solo arenoso, mas de boa fertilidade natural. Como fertilizantes foram usados resíduos de tanques de piscicultura e sedimentos do reservatório artificial de Itaparica (ou sedimento de lago), e como condicionador do solo, biocarvão, produzido a partir da madeira das algarobas remanescentes.

Nossa hipótese é que as diferentes fontes de adubos naturais e o biocarvão que possuem diferentes relações C/N podem ao longo do tempo alterar os atributos químicos do solo e interferir na nutrição dos plantios puros de eucalipto e angico-vermelho. Os adubos de menores relações C/N podem nutrir as plantas por um tempo mais curto e o biocarvão pode evitar perdas de nutrientes por lixiviação, proporcionando uma nutrição mais gradativa e equilibrada e de mais longo prazo, considerando que o solo é de elevada fertilidade natural.

Portanto, diante da carência de informações sobre a ciclagem de nutrientes em florestas plantadas e fertilizadas com fontes naturais de adubo no Nordeste brasileiro, sobretudo no estado de Pernambuco, o presente trabalho tem por objetivo avaliar alterações nos atributos químicos do solo e na nutrição de plantios puros de eucalipto (*Eucaliptus urophylla* x *Eucaliptus tereticornis*) e angico-vermelho (*Anadenanthera colubrina* var. Cebil), aos 41 meses sob fertilização de sedimentos de lago, resíduos de tanques de piscicultura e biocarvão no semiárido pernambucano.

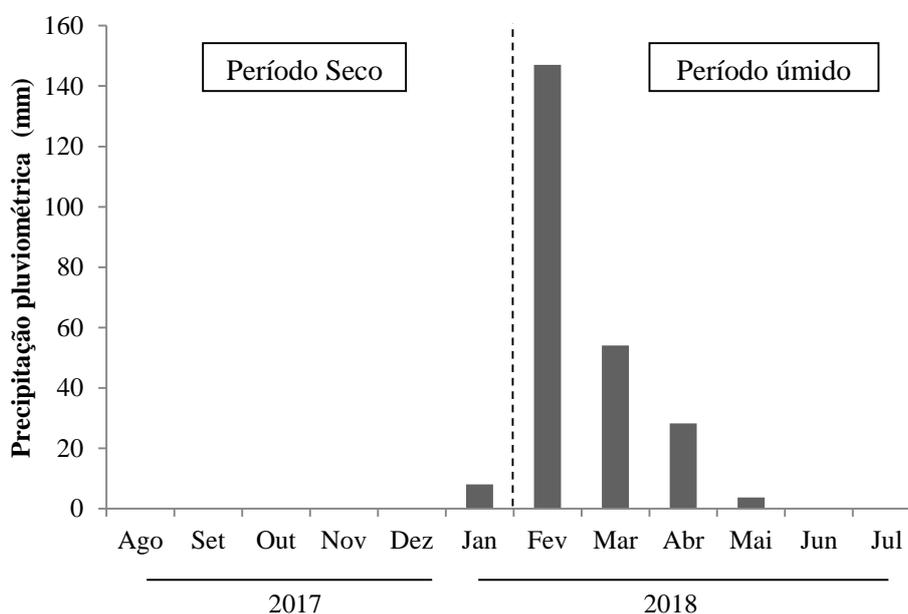
2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O experimento se encontra implantado, desde 2014, na Estação Experimental do Instituto de Pesquisa Agrônômica de Pernambuco (IPA), situado no município de Belém de São Francisco, Mesorregião do São Francisco e Microrregião de Itaparica, no Semiárido pernambucano (ASSIS et al., 2014).

O clima da região é o semiárido (BSh') de acordo com a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013), com precipitação média anual de 507 mm e temperatura média de 24,7 °C (MENEZES et al., 2007). Suas chuvas, no geral, estendem-se de novembro a abril. Durante o período de avaliação do experimento a precipitação pluviométrica acumulada foi de 245 mm (Figura 1).

Figura 1. Distribuição da precipitação pluviométrica durante o período experimental no município de Belém de São Francisco – PE



Fonte: IPA (2018).

O relevo é predominantemente suave-ondulado (CPRM, 2005). O solo foi classificado como Neossolo Flúvico Eutrófico (EMBRAPA, 2013) e caracterizado quimicamente, em 2014, até 90 cm de profundidade (Tabela 1). A vegetação é composta basicamente por Savana Estépica, ou Caatinga do Sertão árido nordestino (IBGE, 2012).

Tabela 1. Caracterização química do solo da área experimental no semiárido pernambucano em 2014

Profundidade (m)	pH (H ₂ O)	Ca	Mg	K	Na	Al	(H+Al)	S	CTC	V		P (mgdm ⁻³)
										—(%)—		
												(cmol _c dm ⁻³)
0,00-0,30	5,8	4,0	0,9	0,5	0,1	0,1	1,5	5,6	7,1	75,4	1,5	51,0
0,30-0,60	6,0	4,3	0,9	0,2	0,1	0,0	0,9	4,8	5,7	75,5	0,8	37,7
0,60-0,90	6,3	4,8	1,1	0,2	0,2	0,0	0,8	5,4	6,2	79,5	0,3	37,4

Fonte: Santos (2016).

Historicamente, a área foi usada para cultivo agrícola, em especial com a produção de cebola, recebendo grande quantidade de fertilizantes. Após vários anos de exploração foi abandonada, com ocorrência de um grande número de indivíduos de algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw) DC) (SANTOS, 2016).

2.2. Instalação do experimento

O experimento foi instalado em março de 2014 (Figura 2) e conta com quatro cultivos arbóreos, sendo: angico (*Anadenanthera colubrina* var. Cebil), aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão), e dois clones de eucalipto, obtidos por polinização controlada de *E. urophylla* x *E. tereticornis*, uma cultura agrícola, o feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), e uma espécie forrageira, capim tanzânia (*Panicum maximum* Jacq).

Figura 2. Desenvolvimento das plantas de eucalipto (*Eucaliptus urophylla* x *Eucaliptus tereticornis*) à esquerda e angico-vermelho (*Anadenanthera colubrina* var. Cebil) à direita 41 meses após o plantio no município de Belém de São Francisco



Os plantios foram cultivados em dois espaçamentos, sendo: 4 m x 2 m para as espécies arbóreas consorciadas e 3 m x 2 m nos plantios puros isolados. Em todos os arranjos foram

estabelecidos quatro tratamentos: duas fontes de nutrientes e um condicionador de solo, sendo: sedimentos do reservatório artificial de Itaparica, resíduo dos tanques de piscicultura e biocarvão, produzido a partir da algaroba remanescente na área de estudo, e o controle (sem adubação) (tabela 2). Todos os adubos e o condicionador de solo foram aplicados na quantidade de 1 kg por planta, sendo 500 g no plantio e 500 g seis meses após o plantio. O experimento conta com quatro repetições, sendo a parcela representada por vinte e oito árvores, distribuídas em delineamento inteiramente casualizado.

Esse estudo avaliou as parcelas isoladas do angico-vermelho e do clone de eucalipto MA 2001, ambas no espaçamento 3m x 2m. A coleta das folhas das espécies e do solo foi realizada em agosto de 2017, quando o plantio estava com 41 meses. Assim, foram avaliadas trinta e duas parcelas, sendo dezesseis de eucalipto e dezesseis de angico, cada uma com vinte e oito indivíduos, onde foram avaliados apenas os dez indivíduos centrais, considerando o efeito de borda.

Tabela 2. Análise química das fontes de adubação e do biocarvão utilizados no experimento no semiárido pernambucano

T ¹	pH	Ca	Mg	K	Na	SB	(H+Al)	CTC	V	m	N	C	C/N	P
	(H ₂ O)	(cmol _c kg ⁻¹)						(%)				(mg kg ⁻¹)		
RTP ²	6,2	7,9	3,1	0,3	0,7	11,8	1,0	12,8	92	0,0	1,0	18,3	18,3	373
SRA ³	5,5	14,8	4,4	0,2	1,6	21,1	3,8	24,9	85	0,5	2,8	36,7	13,2	25
BC ⁴	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4	56,2	140,5	0

¹Tratamento; ²Resíduo de tanque de peixe (RTP); ³Sedimento de reservatório artificial (SRA); ⁴Biocarvão (BC).
Fonte: Santos (2016).

Essa caracterização servirá de parâmetro para avaliar o efeito dos tratamentos aplicados após 41 meses do plantio, nas propriedades químicas do solo, tomando como testemunha o tratamento que não recebeu adubação (controle).

2.3. Caracterização química do solo 41 meses após a primeira aplicação dos tratamentos

A coleta do solo para as análises químicas de fertilidade foi realizada na profundidade de 0-0,30 m, distante 15 cm da base das árvores (Figura 3). Dentre os 10 indivíduos da área útil, foram escolhidas as seis plantas do centro. A coleta foi realizada por meio da abertura do perfil do solo, onde foram coletadas seis amostras simples para formação de uma amostra composta. O material coletado foi passado em peneira de 2 mm e seco para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA).

Figura 3. Perfil realizado para coleta de solo. As amostras simples foram retiradas a 15 cm da base das árvores



O material foi encaminhado para o laboratório para análise química, de acordo com a metodologia da EMBRAPA (2009). O Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} foram extraídos com KCl $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ e dosados por titulometria. O P, K^+ foram extraídos com Mehlich-1, sendo P dosado por espectrofotometria e K^+ por fotometria de chama. A acidez potencial (H+Al) foi extraída com acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ e dosada por titulometria. A determinação do C foi realizada por oxidação pelo método do dicromato de K. Com os resultados dessas análises químicas, calculou-se a soma de bases (SB), a saturação por bases (V), a saturação por Al (m), a capacidade de troca de cátions efetiva ($\text{CTC}_{\text{efetiva}}$) e a capacidade de troca de cátions potencial ($\text{CTC}_{\text{potencial}}$).

2.4. Avaliação do teor nutricional

Para análise do teor nutricional foram coletadas vinte e cinco folhas do terço médio da copa, distribuídas por todo perímetro das 10 árvores da área útil da parcela, no mês de julho de 2017. As folhas foram acondicionadas em sacos de papel e levadas à estufa de aeração forçada à $65 \pm 5^\circ\text{C}$ até peso constante. Em seguida foram pesadas e moídas para posterior análise (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; BEZERRA NETO; BARRETO, 2011).

Para a comparação dos teores nutricionais das duas espécies foi adotado um delineamento inteiramente casualizado fatorial, composto de dois fatores, sendo dois cultivos arbóreos (F1): angico e eucalipto; onde cada espécie recebeu duas fontes de adubação, um condicionador de solo e um controle (F2). Foram analisados os teores de N, P, K, Ca e Mg de acordo com a metodologia da EMBRAPA (2009).

As digestões das amostras de folhas foram realizadas no Centro de Apoio à Pesquisa (CENAPESQ) da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, por meio do biodigestor MarsXpress, com aquecimento por micro-ondas e controle de temperatura, via pressurização, por tubo.

Após resfriamento, o material foi levado à capela para diluição em balão de 25 ml, com água destilada. Após diluição, foi armazenado em potes plásticos e conservados sob refrigeração para as análises.

A determinação do teor de N total foi realizada por meio do método de arraste de vapor (Kjeldahl) descrito por EMBRAPA (2009).

O teor de P foi determinado a partir do método colorimétrico do molibdo-vanadato, onde procedeu-se com a leitura da absorbância em espectrofotômetro com comprimento de onda de 470nm. O K foi quantificado por fotometria de chamas. Para determinação de Ca e Mg foram realizadas leituras no Espectrofotômetro de Absorção Atômica.

2.5. Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas por meio de um delineamento fatorial, onde o primeiro fator foi representado pelas espécies e o segundo pelos tratamentos do solo (Controle, RTP, SRA, BC), e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, quando os efeitos principais ou as interações foram significativas. Para tal foi utilizado o programa Assistat 7.7 beta.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quanto aos tratamentos aplicados ao solo foi possível observar, com relação ao N, que o sedimento do reservatório de Itaparica apresentou maior quantidade, quando comparado aos demais (Tabela 2). Quanto ao pH, é possível perceber que se encontram na faixa ideal para as plantas que é de 5,5 à 7,0. Foi possível verificar também que os teores de P e Ca eram elevados nos adubos aplicados ao solo (Tabela 2), quando utilizados os valores de referências da EMBRAPA (2015).

Pela relação C/N a decomposição do sedimento do lago pode ser mais acelerada, seguida do tanque de piscicultura e depois o biocarvão. O biocarvão possui uma relação C/N muito elevada (Tabela 2), o que faz com que sua decomposição seja bastante lenta, sem contar que ele tem a capacidade de reter os nutrientes presentes no solo e liberar estes nutrientes aos poucos, sendo em longo prazo e em solos férteis, uma alternativa para reduzir a perda dos nutrientes, mantendo-os no solo por mais tempo, retardando a necessidade de complementação nutricional, principalmente em solos arenosos.

De acordo com análise do solo, o teor de Mg^{2+} foi menor no plantio de eucalipto (Tabela 3), o que indica maior absorção da espécie, fato comprovado na análise nutricional onde o Mg foi o único nutriente absorvido em maior quantidade pelo eucalipto (Tabela 4). Com relação aos tratamentos aplicados, não houve diferença significativa, mostrando que as fontes de adubação e biocarvão não interferiram no teor de Mg do solo, após 41 meses de sua aplicação.

O K^+ e o P apareceram em menor quantidade no solo cultivado com eucalipto (Tabela 3). De fato, o angico apresentou maior quantidade desses nutrientes quando comparado com o eucalipto (Tabela 4). Com relação aos tratamentos aplicados ao solo, o resíduo de tanques de piscicultura e o sedimento de reservatório artificial elevaram os teores desses nutrientes no solo.

Silva et al. (2017) utilizando resíduos de cinco tanques diferentes de produção de peixe, todos com quantidades de nutrientes inferior ao do presente estudo, verificou que o uso do resíduo se mostrou eficiente na produção de mudas de maracujazeiro amarelo, sendo esta uma boa forma de reaproveitar o material e reduzir o custo de produção das mudas.

Tabela 3. Atributos químicos do solo 41 meses após aplicação dos tratamentos nos plantios puros de eucalipto e angico-vermelho no município de Belém de São Francisco, na profundidade de 0-0,30 m

T ¹	pH (H ₂ O)			Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)			Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)			K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)			CTC (cmol _c dm ⁻³)			V (%)			P (mgdm ⁻³)			C (%)		
	Euc ²	Ang ³	Média	Euc	Ang	Média	Euc	Ang	Média	Euc	Ang	Média	Euc	Ang	Média	Euc	Ang	Média	Euc	Ang	Média	Euc	Ang	Média
CT ⁴	6,1	6,2	6,1	3,3	3,3	3,3	1,3	1,4	1,3	0,50	0,43	0,47 B	6,0	5,9	6,0	81,7	85,7	83,7	70,0	55,0	62,5 B	0,89	0,87	0,88 B
RTP ⁵	6,1	6,1	6,1	3,5	3,1	3,3	1,3	1,4	1,3	0,66	0,54	0,60 A	6,4	6,4	6,4	93,9	88,4	86,1	75,0	60,0	67,5 A	0,89	0,97	0,93 B
SRA ⁶	6,0	6,1	6,1	3,3	3,6	3,4	1,0	1,6	1,3	0,67	0,49	0,58 A	6,7	6,4	6,5	81,3	88,4	84,9	75,0	60,0	67,5 A	0,90	0,94	0,92 B
BC ⁷	5,9	6,2	6,0	3,0	3,2	3,1	1,2	1,5	1,4	0,49	0,58	0,44 B	5,8	6,2	6,1	80,6	63,0	81,8	65,0	55,0	60,0 B	1,15	1,15	1,15 A
Média	6,0	6,1		3,3	3,3		1,2b	1,5a		0,58a	0,46b		6,2	6,2		81,9	81,4		71,3a	57,5b		0,96	0,98	
	F			F			F			F			F			F			F			F		
E ⁸	3,37 ^{ns}			0,03 ^{ns}			6,65*			28,57**			0,06 ^{ns}			0,01 ^{ns}			51,86**			1,54 ^{ns}		
T	1,19 ^{ns}			0,66 ^{ns}			0,09 ^{ns}			12,76**			0,97 ^{ns}			1,54 ^{ns}			3,86*			40,69**		
E x T	1,56 ^{ns}			1,13 ^{ns}			0,87 ^{ns}			0,83 ^{ns}			0,40 ^{ns}			1,15 ^{ns}			0,43 ^{ns}			1,30 ^{ns}		
CV(%)	1,90			13,20			22,48			12,25			10,97			18,56			8,39			5,69		

¹Tratamentos; Fator 1 = ²Eucalipto (Euc); ³Angico (Ang); Fator 2 = ⁴Controle (CT); ⁵Resíduo de tanque de peixe (RTP); ⁶Sedimento de reservatório artificial (SRA); ⁷Biocarvão (BC); ⁸Espécie. Médias semelhantes seguidas por letras minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem respectivamente pelo teste de F e Tukey a 5% de probabilidade. * e ** significativos a 5 e 1% de probabilidade, ^{ns} não significativo.

Theodoro et al. (2009) realizaram análises de fertilidade nos sedimentos e nos solos do reservatório de Tucuruí-PA e observaram teores de nutrientes de média a boa, sendo a quantidade de matéria orgânica considerável e os elementos que foram encontrados em baixa quantidade ainda eram superiores aos valores encontrados nas amostras de solo, sendo o material viável para produção agrônômica, sem contar no benefício de retirada dos sedimentos para vida útil do reservatório. O mesmo aconteceu no presente estudo, onde os valores encontrados, ainda que em menores quantidades, ainda eram superiores aos presentes no solo.

Além da disponibilidade de nutrientes, o uso de adubação orgânica possibilita redução da densidade aparente do solo, aumentando sua porosidade e consequentemente disponibilidade de água e nutrientes para as plantas.

O C foi encontrado em maior teor foliar nas parcelas que receberam o biocarvão, devido a quantidade de C encontrado nesse material. Apesar de não contribuir diretamente com a fertilidade do solo, o material é importante para retenção de água e nutrientes (TRAZZI et al., 2018).

Por meio da análise da variância entre os fatores espécie e fontes de adubação, foi observado que a espécie que apresentou o maior teor foliar de nutrientes, com exceção do Mg, foi o angico (Tabela 4).

Embora o solo fosse rico em nutrientes, fato observado na análise do solo antes da implantação das culturas (Tabela 1), observou-se que as fontes de adubação e a espécie manejada interferiram nos teores de alguns nutrientes (Tabela 4).

O teor foliar de nutrientes encontrado nos plantios puros obedeceu a seguinte ordem decrescente: N>Ca>K>Mg>P, para o eucalipto e N>Ca>P>K>Mg, no angico (Tabela 4).

Ao analisar o teor de N nas folhas das espécies estudadas foi possível observar que não houve interação significativa entre os fatores espécie e tratamento do solo e o angico apresentou maior teor, entretanto, os tratamentos aplicados no solo nas espécies não apresentaram diferença significativa, quando comparados com a testemunha (Controle) (Tabela 4).

Tabela 4: Teor de nutrientes nas folhas das espécies dos plantios puros de eucalipto e angico-vermelho aos 41 meses após aplicação dos tratamentos no município de Belém de São Francisco

T ¹	N (g kg ⁻¹)			P (g kg ⁻¹)			K (g kg ⁻¹)			Ca (g kg ⁻¹)			Mg (g kg ⁻¹)		
	Euc ²	Ang ³	Média	Euc	Ang	Média	Euc	Ang	Média	Euc	Ang	Média	Euc	Ang	Média
CT ⁴	16,7	23,0	19,9	3,9 bBC	7,1 aB	5,5	6,1 aA	6,2 aA	6,2	15,0	16,6	15,8	4,7	2,5	3,6
RTP ⁵	16,5	22,9	19,7	4,8 bA	10,3 aA	7,5	6,4 aA	6,8 aA	6,6	15,6	15,7	15,7	4,8	2,4	3,5
SRA ⁶	17,4	21,4	19,4	4,6 bAB	6,8 aB	5,7	6,1 bA	6,7 aA	6,4	15,8	16,4	16,1	4,5	2,5	3,5
BC ⁷	19,6	22,9	21,2	3,6 bC	6,4 aB	5,0	5,1 bB	6,4 aA	5,7	14,9	16,2	15,5	4,7	2,4	3,6
Média	17,6b	22,6 ^a		4,2	7,7		5,9	6,53		15,4b	16,3a		4,7a	2,5b	
E ⁸		F			F			F			F			F	
		47,4**			668,8**			23,6**			19,2**			465,3**	
T		1,3 ^{ns}			69,7**			8,2**			1,4 ^{ns}			0,2 ^{ns}	
E x T		1,2 ^{ns}			28,9**			3,9*			2,9 ^{ns}			0,5 ^{ns}	
CV(%)		10,2			6,28			5,7			3,6			8,7	

¹Tratamentos; Fator 1 = ²Eucalipto (Euc); ³Angico (ang); Fator 2 = ⁴Controle (CT); ⁵Resíduo de tanque de peixe (RTP); ⁶Sedimento de reservatório artificial (SRA); ⁷Biocarvão (BC); ⁸Espécie. Médias semelhantes seguidas por letras minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem pelo teste de F e Tukey a 5% de probabilidade. * e ** significativos a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente. ^{ns} não significativo.

O angico apresentou maior teor de N do que o eucalipto, o que pode ser explicado pelo fato da espécie ser uma leguminosa e realizar associação com bactérias capazes de fixar o N₂ atmosférico, o que faz com que, por meio da absorção e incorporação do nutriente em sua biomassa, seja uma planta fixadora natural de N (CANOSA; FARIA; MORAES, 2012).

Os diferentes tratamentos aplicados ao solo não foram suficientes para apresentar diferenças significativas no teor de N das espécies, o que indica que o solo já apresentava teor suficiente do nutriente para suprir as exigências dos indivíduos.

O eucalipto apresentou média de 17,6 g kg⁻¹ de N na fração folha, enquanto o angico 22,6 g kg⁻¹. Guimarães et al. (2015) em estudo realizado em povoamento de *Eucalyptus dunnii*, aos quatro anos, no Pampa gaúcho, encontraram um valor de 17,9 g kg⁻¹, muito semelhante ao do presente trabalho, onde os indivíduos encontravam-se com três anos e meio no ato da coleta, idades próximas e condições de solos semelhantes podem ter influenciado os resultados.

Estudos realizados em ambiente de Caatinga apresentaram valores médios de 6 g kg⁻¹ de N em folhas de angico (HOLANDA, 2015; ALVES et al., 2017), valor que diverge bastante do presente estudo. No entanto, por se tratar de um ambiente natural, não é possível saber a idade das árvores dos estudos realizados por esses autores. Além disso, os indivíduos de angico deste nosso estudo são muito jovens, sem contar que a competição por água e nutrientes é menor, devido ao espaçamento homogêneo e a presença inicial de irrigação.

Santos (2016) encontrou valores médios de 35,03 g kg⁻¹ de N para o angico e 18,93 g kg⁻¹ para o eucalipto, analisando os mesmos indivíduos do presente estudo. No entanto, além da análise ter sido feita nos 18 primeiros meses de plantio, onde as plantas mais jovens apresentam grande potencial de extrair e reciclar nutrientes (CRUSCIOL et al., 2008), a média incluiu indivíduos plantados no espaçamento 4m x 2m, onde a competição é menor que no espaçamento 3m x 2m, como no estudo atual.

Em relação ao teor de P, o angico apresentou maiores valores em todas as fontes de tratamentos aplicados no solo, porém, quando observados os tratamentos dentro de cada espécie, os valores do resíduo de tanque de piscicultura e sedimento de reservatório artificial se sobressaíram no eucalipto e o resíduo de tanque de peixe no angico.

Os valores encontrados foram elevados, o que pode ter ocorrido pela grande quantidade de P encontrada no solo antes da aplicação dos tratamentos (Tabela 1), como também pela grande quantidade de P nos resíduos, principalmente no proveniente do tanque de peixe (Tabela 2).

A análise das fontes de adubação e condicionador do solo mostrou que o resíduo de tanque de piscicultura apresentou maior valor de P, seguido do sedimento de reservatório artificial (Tabela 4), o que explica os resultados encontrados, onde os indivíduos que receberam tais tratamentos apresentaram resultados mais expressivos do nutriente demonstrando maior absorção.

Em estudo realizado no município de Santa Terezinha – PB, em área de Caatinga preservada à 35 anos, o teor de P encontrado nas folhas de angico foi de $1,57 \text{ g kg}^{-1}$ (PEREIRA et al., 2017). Valor muito baixo, quando comparado com o presente estudo. Alguns fatores como a idade dos indivíduos e o P disponível no solo, podem ter contribuído para os valores encontrados, pois a idade dos indivíduos interfere no teor do nutriente presente na biomassa (WADT et al., 1999).

Em análise de cinco espécies de eucalipto foram encontrados valores baixíssimos de P nas folhas ($1,0 \text{ g kg}^{-1}$), atribuindo tal fato a carência do nutriente no solo utilizado para desenvolver o estudo, onde o tratamento que apresentou o maior teor tinha $2,14 \text{ mg dm}^{-3}$, enquanto o controle deste nosso estudo apresentou $62,5 \text{ mg dm}^{-3}$, na camada superficial do solo (0-0,3 m de profundidade) (Tabela 3) (HAAG et al., 1976). O fato pode ser atribuídos a disponibilidade ou quantidade do nutriente presente no solo onde o estudo foi desenvolvido.

Guimarães et al. (2015) em estudo realizado em povoamento de *Eucalyptus dunni* aos quatro anos no município de Alegrete – RS encontraram um valor de $1,0 \text{ g kg}^{-1}$ de P nas folhas, divergindo da presente pesquisa. Apesar dos indivíduos terem idades próximas, a quantidade de nutrientes na análise de solo foi bem divergente. No presente estudo o teor de P na camada superficial, antes de receber os tratamentos, foi de 51 mg dm^{-3} (Tabela 1), enquanto no estudo de Alegrete na camada até 20 cm o teor de P foi de $2,3 \text{ mg dm}^{-3}$.

Quanto ao teor de K foi verificada uma diferença significativa ($p < 0,05$) entre o sedimento de reservatório artificial e biocarvão (Tabela 4), mostrando que a absorção do eucalipto foi semelhante para eles. No entanto, apenas o biocarvão em eucalipto divergiu dos demais. A testemunha já apresentava quantidade satisfatória de K porque o solo já apresentava elevado teor de K^+ (Tabela 1), quando observados os valores de referência apresentados pela EMBRAPA (2015). Com a adição das fontes de adubação os teores de K^+ cresceram ainda mais (Tabela 3). Para o eucalipto no biocarvão, a absorção do nutriente pode ter sido menor, o que pode ter ocorrido pela grande mobilidade do nutriente e capacidade do biocarvão reter os nutrientes (LEHMANN, 2007).

Haag et al. (1976) analisaram cinco espécies de eucalipto com sete anos de idade e encontraram cerca de 5,00 g kg⁻¹. Os valores semelhantes mostram que a disponibilidade do nutriente e eficiência de absorção por parte das plantas foi parecido.

Resultados semelhantes ao desse estudo também foram encontrados por Guimarães et al. (2015), cujos indivíduos com 48 meses de idade apresentaram um valor de K nas folhas de 5,9 g kg⁻¹. Mais uma vez a idades dos indivíduos era semelhantes, favorecendo os teores próximos.

Outro fator que pode ter interferido na absorção de K foi o elevado teor de Ca encontrado nas folhas (Tabela 4), pois, embora a absorção dos nutrientes dependa especialmente da concentração deles na solução do solo, pode haver competição entre cátions pelo mesmo sítio de absorção na superfície das raízes, fazendo com que a absorção de um deles seja inibida pelo outro (BENITES et al., 2010).

O angico também apresentou o maior teor foliar de Ca, quando comparado com o eucalipto (Tabela 4). No entanto, entre as fontes de adubação não houve diferença significativa. Os valores médios de Ca encontrados para as espécies foram de 15,36 g kg⁻¹ para o eucalipto e 16,25 g kg⁻¹ para o angico.

Toledo et al.(2013), estudando indivíduos de eucalipto, encontraram valores de 16,52 g kg⁻¹ de Ca, que apesar de ter sido valores próximos aos deste estudo, os autores recomendaram redução da adubação com Ca. Isto comprova que os elevados teores de Ca podem ter interferido na absorção de K, como discutido anteriormente. Dick et al. (2016), também trabalhando com espécies do gênero *Eucalyptus* encontraram valor de 9,85 g kg⁻¹ de Ca e Viera et al. (2012), em indivíduos com 18 meses de idade, encontraram um teor foliar de Ca de 10,55 g kg⁻¹, resultados inferiores ao do presente estudo, porém superiores à faixa ótima recomendada por Wadt et al. (1998) em indivíduos adultos, que variou entre 4,40 g kg⁻¹ e 5,90 g kg⁻¹. Os autores recomendam que os teores de Ca devem se situar entre 4,40 g kg⁻¹ e 5,90 g kg⁻¹.

Pereira et al. (2017) encontraram valores ainda maiores para o angico, como 19,18 g kg⁻¹ de Ca e Alves et al. (2017) encontraram valor de 4,08 g kg⁻¹, valores bem diferentes. No entanto, o primeiro estudo foi realizado com indivíduos adultos, enquanto o segundo em área de regeneração, enquanto este estudo encontrou valor de 16,25 g kg⁻¹.

O Mg foi o único nutriente que apareceu em maior quantidade no eucalipto (Tabela 4). Em análise realizada por Santos (2016) nos mesmos indivíduos aos 18 meses a proporção foi semelhante, sendo o valor do eucalipto de 2,69g kg⁻¹ e do angico de 1,37g kg⁻¹, apesar de terem sido menores que o do estudo atual.

Guimarães et al. (2015) encontraram valores menores para indivíduos de eucalipto com idades próximas a desse estudo ($2,5 \text{ g kg}^{-1}$), apesar do solo apresentar teores semelhantes aos da testemunha dessa pesquisa. Viera et al. (2012) encontraram teor de $2,66 \text{ g kg}^{-1}$ nas folhas de eucalipto com 18 meses, valor inferior ao do presente estudo. No entanto, o solo do local apresentava baixo teor de Mg, comparado ao dessa pesquisa.

Alves et al. (2017) também encontraram quantidades menores para o angico ($0,50 \text{ g kg}^{-1}$), o que pode ser justificado pela idade dos indivíduos e baixa fertilidade natural do solo.

O angico apresentou maior teor de nutrientes no geral, pois é uma espécie pioneira e por isso aloca maior quantidade de nutrientes para seu crescimento, criando condições adequadas para sucessão ecológica (HOLANDA, 2015).

4. CONCLUSÕES

- Os teores de K^+ e P do solo foram influenciados pelos adubos e o biocarvão elevou o teor de C do solo;
- O Resíduo de tanques de piscicultura apareceu como melhor tratamento para os teores de P, K e Mg, seguido de sedimento de reservatório artificial e do biocarvão
- O cultivo de angico reduziu os teores de K^+ e P do solo e o cultivo de eucalipto os de Mg^{2+} ;
- O resíduo de tanque de peixe foi responsável pela elevação dos teores de P tanto no eucalipto quanto no angico, sendo recomendado para solos naturalmente pobres em P;
- O angico apresentou os maiores teores de N, P, K e Ca, sugerindo elevada demanda dessa espécie por esses nutrientes;
- O eucalipto foi mais exigente em Mg do que o angico, sugerindo que seu cultivo em ambiente semiárido deve ser recomendado em solos ricos em Mg^{2+} .

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p.711-728, 1 dez. 2013.
- ALVES, A. R. et al. Conteúdo de nutrientes da biomassa e eficiência nutricional em espécies da Caatinga. **Ciência Florestal**, Santa Maria. v. 27, p. 377-390, 2017.
- ANDRADE, A.G.; CABALLERO, S.S.U.; FARIA, A.M. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 1999. 22p.
- ASSIS, J. M. O. et al. Mapeamento do uso e ocupação do solo no Município de Belém de São Francisco – PE nos anos de 1985 e 2010. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 7, n. 5, p.859-870, 2014.
- BENITES, V. de M. et al. Potássio, cálcio e magnésio na agricultura brasileira. In: **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. ed: 1. Editora: L. I. PROCHNOW. p.100-130. jan. 2010.
- BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. **Métodos de análises químicas em plantas**. Recife: Imprensa Universitária da UFRPE, 2011. 267p.
- CALDEIRA, D. R. M. et al. Initial assessment and nutritional status of hybrid eucalyptus sp. in the municipality of Colorado do Oeste, Rondônia State - Brazil. **African Journal Agricultural Research**, [s.l.], v. 10, n. 35, p.3548-3553, 27 ago. 2015.
- CANOSA, G. A.; FARIA, S. M. de; MORAES, L. F. D. de. **Leguminosas florestais da Mata Atlântica brasileira fixadoras de nitrogênio atmosférico**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2012. 13 p.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea: Diagnóstico do município de Belém do São Francisco – PE**. LOCAL: CPRM/PRODEEM, 2005. 33p.
- CRUSCIOL, C. A. C. et al. Taxas de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p.481-489, jan. 2008.
- DIAS, J. R. M. et al. Níveis críticos e faixas de suficiência nutricional em laranja-pêra na Amazônia Central obtidas pelo método DRIS. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 43, n. 3, p. 239-246, set. 2013.
- DICK, G. et al. Quantificação da biomassa e nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden estabelecido no Bioma Pampa. **Revista Ecologia e Nutrição Florestal - Enflo**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p.1-9, 2016.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 22p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Guia prático para interpretação de resultados de solo**. Aracaju, 15 p., 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

GONZÁLEZ-GARCÍA, M et al. Nutritional, carbon and energy evaluation of *Eucalyptus nitens* short rotation bioenergy plantations in northwestern Spain. **Iforest - Biogeosciences and Forestry**, [s.l.], v. 9, n. 2, p.303-310, 26 abr. 2016.

GUIMARÃES, C. C. et al. Biomassa e nutrientes em povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden no Pampa Gaúcho. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n. 5, p.873- 882. 2015.

HAAG, H.P et al. Análise foliar em cinco espécies de *Eucalyptus*. **IPEF**, Piracicaba. 13, p. 99-116. 1976.

HOLANDA, A. C. et al. Decomposição da serapilheira foliar e respiração edáfica em um remanescente de caatinga na Paraíba. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n. 2, p.245-254, abr. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

KOLM, L.; POGGIANI, F. Ciclagem de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus grandis* submetidos à prática de desbastes progressivos. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, n. 63, p. 79-93, jun. 2003.

LEHMANN, J.. Bio-energy in the black. **Frontiers In Ecology and the environment**, [s.l.], v. 5, n. 7, p.381-387, set. 2007.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3.ed London: Elsevier, 2012. 643p.

MENEZES, J. B. et al. Índice de vulnerabilidade à erosão para uma bacia na mesorregião do São Francisco Pernambucano, a partir das relações entre morfogênese e pedogênese. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, V. 8, n. 2, p.45-56, 2007.

MÜLLER, C. et al. Nutritional Efficiency of *Eucalyptus* Clones Under Water Stress. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 41, p.1-17, 9 nov. 2017.

PEREIRA, E. de A. A. et al. Composição nutricional de dez espécies arbóreas em um fragmento de Caatinga no semiárido pernambucano. In: CONIDIS, II., 2017. **Anais II CONIDIS...** Campina Grande, 2017. p. 1-12. v. 1.

SANTOS, R. C. dos. **Avaliação nutricional e de crescimento inicial em altura de espécies arbóreas em Sistemas Agroflorestais na região de Itaparica, semiárido Pernambucano**. 2016. 97 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Florestais, Ciência Florestal, UFRPE, Recife, 2016.

SILVA, F. C. da. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 627p.

SILVA, F. O. R. et al. Efeito do resíduo de tanque de piscicultura na produção de mudas de maracujazeiro. **Boletim Industrial Animal**, Nova Odessa, v. 74, n. 1, p. 58-64, jan. 2017.

TEIXEIRA, M. P. et al. Microwave drying of plant tissue for nutritional analysis of *Corymbia citriodora* (hook.) And *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. **Agrociencia**, [s.i.], v. 51, n. 5, p.555-560, ago. 2017.

THEODORO, S. H. et al. **Estudos e Estratégias para a Utilização de sedimentos acumulados nos reservatórios de hidrelétricas de forma a resolver conflitos socioambientais**. In: CITENEL, 2009, Belém. V CITENEL, v. 1., 2009.

TIECHER, Tales (Org.). **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no Sul do Brasil: Práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água**. Porto Alegre: UFRGS, 2016. 186 p.

TOLEDO, F. H. S. F. et al. Influência da qualidade química do substrato no teor de nutrientes em folhas de mudas de eucalipto. **Revista Ecologia e Nutrição Florestal - ENFLO**, [s.l.], v. 1, n. 2, p.89-96, 31 out. 2013.

TRAZZI, P. A. et al. Biocarvão: realidade e potencial de uso no meio florestal. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 2, p.875-887, 29 jun. 2018.

VARGAS, G. R. de. et al. Ciclagem de biomassa e nutrientes em plantios florestais. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava-PR, v.11, n.2, p.111-123, mai., 2018.

VIEIRA, M.; SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Biomassa e exportação de nutrientes pela colheita do eucalipto. In: SCHUMACHER, M. V.; VIEIRA, M. (Org.). **Silvicultura do eucalipto no Brasil**. Santa Maria: UFSM, 2015. p. 245-272.

VIERA, M. et al. Biomassa e nutrientes em povoamento de *Eucalyptus urograndis* na Serra do Sudeste-RS. **Semina: Ciências Agrárias**, Santa Maria, v. 33, n. 1, p.2481-2490, 20 dez. 2012.

WADT, P. G. S. et al. Valores de referência para macronutrientes em eucalipto obtidos pelos métodos DRIS e chance matemática. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 685-692, 1998.

WADT, P. G. S. et al. Variations on the nutritional status of eucalypt as influenced by the genetic material and age of tree. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 10, p.1796-1803, out. 1999.

CAPÍTULO II

Aporte de serapilheira e nutrientes em plantios puros sob diferentes fontes de adubação e biocarvão no município de Belém de São Francisco - PE

ARAÚJO, EMMANOELLA COSTA GUARANÁ. **Aporte de serapilheira e nutrientes em plantios puros sob diferentes fontes de adubação e biocarvão no município de Belém de São Francisco - PE.** 2019. Orientador: José Antônio Aleixo da Silva. Co-orientadores: Fernando José Freire, Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira.

RESUMO

O estabelecimento de plantios puros de angico e de espécies exóticas ao semiárido, como o eucalipto, pode comprometer o aporte de serapilheira e a ciclagem de nutrientes, principalmente quando esses plantios são realizados sob fertilização de adubos e/ou condicionados pelo uso de biocarvão. Dessa forma, é importante conhecer qual a capacidade de aporte de serapilheira e nutrientes desses cultivos em ambiente semiárido, onde a fertilização mineral não é recomendada. O objetivo deste trabalho foi avaliar o aporte de serapilheira e nutrientes de plantios puros florestais de eucalipto (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus tereticornis*) e angico-vermelho (*Anadenanthera colubrina* var. Cebil) sob fertilização de sedimentos de lago, resíduos de tanques de piscicultura e biocarvão, além de avaliar a taxa de decomposição e liberação de nutrientes do material foliar de eucalipto no semiárido pernambucano. A deposição de serapilheira foi quantificada e o teor de N, P, K, Ca e Mg foram determinados aos 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315 e 360 dias, permitindo calcular o aporte desses nutrientes ao longo do tempo. A serapilheira foi fracionada em galho, folha, material reprodutivo, miscelânea e casca. Para avaliar a decomposição da fração foliar de eucalipto foram utilizadas bolsas de náilon e o peso remanescente dessas bolsas, bem como os teores de N, P, K, Ca e Mg foi determinado nos mesmo intervalos de tempo utilizados para avaliação da deposição de serapilheira. Foi estimada a constante de decomposição da serapilheira e a constante de liberação de nutrientes no material foliar do eucalipto, bem como o tempo de meia-vida e tempo para que 95% do material vegetal foliar fosse decomposto e os nutrientes liberados. O aporte de serapilheira do eucalipto foi maior do que o do angico, porém ambos foram influenciados pela precipitação pluviométrica, em que as maiores deposições ocorreram nos períodos secos do ano. A aplicação de biocarvão influenciou negativamente a deposição de serapilheira do eucalipto e não teve efeito no angico. O material aportado do angico foi mais rico nutricionalmente do que o do eucalipto, porém o aporte de nutrientes da fração folha da serapilheira do eucalipto foi maior do que o do angico. A taxa de decomposição da folha de serapilheira do eucalipto foi de $1,5 \text{ mg dia}^{-1}$, sugerindo que o cultivo de eucalipto em sistema de produção de base ecológica, manejado com adubos naturais, a atividade microbiana é intensificada, acelerando a ciclagem de nutrientes. O tempo de liberação de nutrientes da fração folha da serapilheira de eucalipto nesse sistema de produção de base ecológica foi de no máximo 33 dias, sugerindo que as deposições foliares se renovem nesse intervalo de tempo, para que o contínuo ciclo de nutrientes seja preservado.

Palavras-chave: bolsas de náilon, deposição de serapilheira, massa remanescente

ARAUJO, EMMANOELLA COSTA GUARANÁ. **Contribution of litter and nutrients in pure plantations under different sources of fertilization and biochar in the municipality of Belém de São Francisco - PE.** 2019. Advisor: José Antônio Aleixo da Silva. Co-advisors: Fernando José Freire, Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira.

ABSTRACT

The establishment of pure plantations of angico and exotic species in Brazilian semi-arid, such as eucalyptus, can compromise the contribution of litter and nutrient cycling, especially when these plantations are carried out under the fertilization of natural fertilizers and/or conditioned by the use of biochar. Thus, it is important to know the litter supply capacity and nutrients of these crops in a semi-arid environment, where mineral fertilization is not recommended. The objective of this work was to evaluate the contribution of litter and nutrients of pure forest plantations of eucalyptus (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus tereticornis*) and angico-vermelho (*Anadenanthera colubrina* var. Cebil) under fertilization of lake sediments, fishery tank residues and biochar, as well as to evaluate the rate of decomposition and nutrient release of the leaf material of eucalyptus in the semi-arid region Pernambuco. The litter deposition was quantified and the contents of N, P, K, Ca and Mg were determined at 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315 and 360 days, allowing to calculate the nutrient supply over time. The litter was fractionated into twig, leaf, reproductive material, miscellany and bark. To evaluate the decomposition of the leaf fraction of eucalyptus were used nylon bags and the remaining weight of these bags, as well as the contents of N, P, K, Ca and Mg was determined in the same time intervals used to evaluate litter deposition. The litter decomposition constant and the nutrient release constant in the eucalypt leaf material were estimated, as well as the half-life and time for 95% of the leaf material to be decomposed and to release the nutrients. The eucalyptus litter contribution was higher than that of the angico, but both were influenced by rainfall, in which the highest depositions occurred in the dry periods of the year. The application of biochar negatively influenced the deposition of eucalyptus litter and had no effect on angico. The material contributed by angico was richer nutritionally than eucalyptus, but the contribution of nutrients of leaf fraction of eucalyptus litter was higher than that of angico. The decomposition rate of eucalyptus leaf litter was 1.5 mg day^{-1} , suggesting that the eucalyptus cultivation in an ecologically based production system, managed with natural fertilizers, the microbial activity is intensified, accelerating the nutrient cycling. The nutrient release time of the leaf fraction of the eucalyptus litter in this ecologically based production system was a maximum of 33 days, suggesting that the foliar deposition being renewed within this time interval, so that the continuous nutrient cycle be preserved.

Keywords: nylon bags, litterfall deposition, remaining mass

1. INTRODUÇÃO

Os vegetais retiram os nutrientes do solo, com o auxílio de suas raízes, e por meio do ciclo bioquímico os redistribuem e incorporam em sua biomassa, onde passam da forma inorgânica para a orgânica (SELLE, 2007). Após o cumprimento do ciclo vital, esses organismos voltam ao solo na forma de matéria orgânica, formando uma camada sobre o solo denominada serapilheira.

A camada orgânica, formada por material de origem animal e vegetal, é a principal responsável pela manutenção do ciclo biogeoquímico, devolvendo ao meio biótico os nutrientes absorvidos pelos organismos na forma inorgânica (SCHUMACHER et al., 2004). O material vegetal constitui a maior parte da serapilheira, e as folhas, por sua vez, a maior fração do material vegetal, sendo consideradas as principais contribuintes para o retorno dos nutrientes ao sistema solo-planta (INKOTTE et al., 2015).

O teor dos nutrientes absorvidos e/ou devolvidos ao solo dependerá de fatores como exigência da espécie, qualidade do sítio, condições climáticas e velocidade de crescimento do indivíduo, sendo a exigência nutricional um fator preponderante, variando entre as espécies, e a mais exigente é aquela que absorve maior quantidade por unidade de biomassa (CORRÊA NETO et al., 2014).

Além de contribuir com a fertilidade do solo, a camada orgânica depositada sobre os solos colabora para redução da evaporação e retenção da umidade, diminuição de erosão do solo e manutenção da biodiversidade dos indivíduos responsáveis pela fragmentação, decomposição e mineralização da matéria orgânica (BARROS, 2013).

Apesar da sua importância, em sistemas de produção de interesse econômico, os resíduos vegetais nem sempre são deixados na pós-colheita, favorecendo a exposição do solo e contribuindo para baixa fertilidade dos sítios (PAES, 2013). A consequência disso é um aumento nos processos de erosão, lixiviação dos nutrientes, redução da biodiversidade, causa de impactos ambientais, e aumento dos custos e devido a necessidade de correção e adubação dos solos (JORDÁN et al., 2010).

O acúmulo da serapilheira em solos florestais, bem como a liberação dos nutrientes, serão regulados pela decomposição (PINTO et al., 2016). O comportamento da decomposição de um material varia de acordo com a espécie, idade do indivíduo, características estruturais e condições ambientais (MENTA, 2012; YANG et al., 2017). Ao final do processo, com a

decomposição da matéria orgânica, os compostos orgânicos retornarão ao solo na forma inorgânica e tornam-se novamente disponíveis para absorção vegetal (TIECHER, 2016).

O processo de decomposição inicia com a fragmentação da matéria orgânica pela macro e mesofauna do solo, seguida da ação decompositora dos micro-organismos (SOUTO, 2013). Conhecer a velocidade deste processo contribui para um manejo adequado do sistema, de modo a favorecer a conservação dos solos e recursos naturais, bem como entender a importância da manutenção dos resíduos florestais sobre a superfície do solo.

A retirada da serapilheira do ambiente florestal vai além da quebra do ciclo dos nutrientes, passando à exposição do solo que progredirá para a redução da biodiversidade edáfica, desacelerando a decomposição da necromassa remanescente (CAPELLESSO et al., 2016; BRÉCHET et al., 2018).

A biomassa senescente participa da ciclagem dos nutrientes, contribuindo para redução no uso de fertilizantes, que podem causar impactos ambientais e amortizando o custo da produção (PRIMO et al., 2018). Outro fator que contribui para a manutenção ou aumento da fertilidade do solo é a escolha das espécies a serem cultivadas (ASHWORTH et al., 2016). Espécies como a *Anadenanthera sp.*, por serem leguminosas, possuem a capacidade de fixação do N₂ do ar atmosférico, por meio da relação de simbiose que estabelecem com bactérias fixadoras de N.

No município de Belém de São Francisco, em Pernambuco, implantou-se um experimento em 2014 de produção madeireira, com o objetivo de desenvolver um plantio sustentável com o uso de adubação natural, além de um condicionador do solo, o biocarvão, por se tratar de um solo arenoso, mas de boa fertilidade natural. Como fertilizantes foram usados resíduos de tanques de piscicultura e sedimentos do reservatório artificial de Itaparica (ou sedimento de lago), e como condicionador do solo, biocarvão, produzido a partir da madeira das algarobas remanescentes.

O estabelecimento de plantios puros de angico e de espécies exóticas ao semiárido, como o eucalipto, pode comprometer o aporte de serapilheira e a ciclagem de nutrientes, principalmente quando esses plantios são realizados sob fertilização de adubos naturais e/ou condicionados pelo uso de biocarvão. Dessa forma, é importante conhecer qual a capacidade de aporte de serapilheira e nutrientes desses cultivos em ambiente semiárido, onde a fertilização mineral não é recomendada. Alternativamente, se recomenda o uso de adubos naturais, como sedimentos de lago ou resíduos da criação e peixes, como fornecedores de nutrientes. Paralelamente, esses cultivos são normalmente realizados em solos de boa fertilidade natural e o uso de biocarvão pode ser um manejo adequado para proporcionar sustentabilidade a esses

cultivos, porque o acréscimo de C ao solo pelo biocarvão pode reter os nutrientes e cedê-los por um período mais longo de tempo de cultivo, principalmente em solos arenosos.

Diante do exposto é preciso conhecer a dinâmica do aporte e decomposição de serapilheira em plantios florestais puros no semiárido, a fim de manejar a vegetação de maneira mais adequada, reduzindo custos e preservando o ambiente. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o aporte de serapilheira e nutrientes de plantios puros florestais de angico e eucalipto sob fertilização de sedimentos de lago, resíduos de tanques de piscicultura e biocarvão, além de avaliar a taxa de decomposição e liberação de nutrientes do material foliar de eucalipto no semiárido pernambucano.

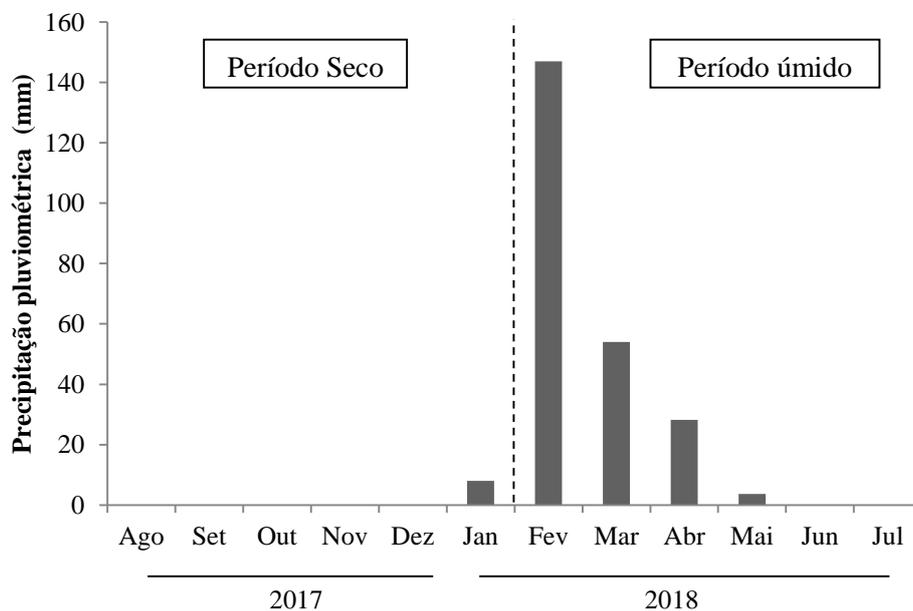
2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O experimento se encontra implantado, desde 2014, na Estação Experimental do Instituto de Pesquisa Agronômica de Pernambuco (IPA), situado no município de Belém de São Francisco, Mesorregião do São Francisco e Microrregião de Itaparica, no Semiárido pernambucano (ASSIS et al., 2014).

O clima da região é o semiárido (BSh') de acordo com a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013), com precipitação média anual de 507 mm e temperatura média de 24,7°C (MENEZES et al., 2007). Suas chuvas, no geral, estendem-se de novembro a abril. Durante o período de avaliação do experimento a precipitação pluviométrica acumulada foi de 245 mm (Figura 1).

Figura 1. Distribuição da precipitação pluviométrica durante o período experimental no município de Belém de São Francisco



Fonte: IPA (2018).

O relevo é predominantemente suave-ondulado (CPRM, 2005). O solo foi classificado como Neossolo Flúvico Eutrófico (EMBRAPA, 2013) e caracterizado quimicamente até 90 cm de profundidade (Tabela 1). A vegetação é composta basicamente por Savana Estépica, ou Caatinga do Sertão árido nordestino (IBGE, 2012).

Tabela 1. Caracterização química do solo da área experimental no semiárido pernambucano

Profundidade (m)	pH (H ₂ O)	Ca	Mg	K	Na	Al	(H+Al)	S	CTC	V	m	P
		(cmol _c dm ⁻³)								(%)		(mgdm ⁻³)
0,00-0,30	5,8	4,0	0,9	0,5	0,1	0,1	1,5	5,6	7,1	75,4	1,5	51,0
0,30-0,60	6,0	4,3	0,9	0,2	0,1	0,0	0,9	4,8	5,7	75,5	0,8	37,7
0,60-0,90	6,3	4,8	1,1	0,2	0,2	0,0	0,8	5,4	6,2	79,5	0,3	37,4

Fonte: Santos (2016).

Historicamente, a área foi usada para cultivo agrícola, em especial com a produção de cebola, recebendo grande quantidade de fertilizantes. Após vários anos de exploração foi abandonada, com ocorrência de um grande número de indivíduos de algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw) DC) (SANTOS, 2016).

2.2. Instalação do experimento

O experimento foi instalado em março de 2014 (Figura 2) e conta com quatro cultivos arbóreos, sendo: angico (*Anadenanthera colubrina* var. Cebil), aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão), e dois clones de eucalipto, obtidos por polinização controlada de *E. urophylla* x *E. tereticornis*, uma cultura agrícola, o feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), e uma espécie forrageira, capim tanzânia (*Panicum maximum* Jacq).

Figura 2. Desenvolvimento das plantas de eucalipto à esquerda e de angico à direita 41 meses após o plantio no semiárido pernambucano



Os plantios foram cultivados em dois espaçamentos, sendo: 4 m x 2 m para as espécies arbóreas consorciadas e 3 m x 2 m nos plantios puros isolados. Em todos os arranjos foram estabelecidos quatro tratamentos: duas fontes de nutrientes e um condicionador de solo, sendo:

sedimentos do reservatório artificial de Itaparica, resíduo dos tanques de piscicultura e biocarvão, produzido a partir da algaroba remanescente na área de estudo, e o controle (sem adubação). Todos os adubos e o condicionador de solo foram aplicados na quantidade de 1 kg por planta, sendo 500 g no plantio e 500 g seis meses após o plantio. O experimento conta com quatro repetições, sendo a parcela representada por vinte e oito árvores, distribuídas em delineamento inteiramente casualizado.

Esse estudo avaliou as parcelas isoladas do angico e do clone de eucalipto MA 2001, ambas no espaçamento 3m x 2m. A coleta das folhas das espécies e do solo foi realizada em agosto de 2017, quando o plantio estava com 41 meses. Assim, foram avaliadas trinta e duas parcelas, sendo dezesseis de eucalipto e dezesseis de angico, cada uma com vinte e oito indivíduos, onde foram avaliados apenas os dez indivíduos centrais, considerando o efeito de borda.

2.3. Tratamentos

A caracterização química das fontes de adubação e do condicionador do solo está representada na Tabela 2.

Tabela 2. Análise química das fontes de adubação e do biocarvão utilizados no experimento no semiárido pernambucano

T ¹	pH (H ₂ O)	Ca	Mg	K	Na	SB (H+Al)	CTC	V	m	N	C	C/N	P	
		(cmol _c kg ⁻¹)							(%)				(mg kg ⁻¹)	
RTP ²	6,2	7,9	3,1	0,3	0,7	11,8	1,0	12,8	92	0,0	1,0	18,3	18,3	373
SRA ³	5,5	14,8	4,4	0,2	1,6	21,1	3,8	24,9	85	0,5	2,8	36,7	13,2	25
BC ⁴	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4	56,2	140,5	0

¹Tratamento; ²Resíduo de tanque de peixe (RTP); ³Sedimento de reservatório artificial (SRA); ⁴Biocarvão (BC).
Fonte: Santos (2016).

Essa caracterização servirá de parâmetro para avaliar o efeito dos tratamentos aplicados após 41 meses do plantio, nas propriedades químicas do solo, tomando como testemunha o tratamento que não recebeu adubação (controle).

2.4. Aporte de serapilheira e nutrientes

Para coleta da serapilheira foram utilizados coletores de 1 m², confeccionados em madeira com fundo de tela de náilon com malha de 1 mm² distantes 0,5 m do solo e devidamente identificados. Os coletores foram instalados no centro das parcelas e cada parcela recebeu um

coletor. Como os tratamentos contavam com quatro repetições (parcelas), cada tratamento contou com quatro coletores. As coletas foram realizadas aos 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315 e 360 dias após a instalação do experimento.

O material coletado foi acondicionado em saco de papel e identificado conforme a data e numeração do coletor, em seguida colocado em estufa de aeração forçada à $65\pm 5^\circ\text{C}$ até peso constante e passou por triagem para separação das frações: galho, folha, material reprodutivo, casca e miscelânea (material não identificado).

Cada amostra de serapilheira foi pesada e moída para análise do teor nutricional. A massa seca foi determinada em balança de precisão de 0,0001 g e os dados foram extrapolados para kg ha^{-1} , permitindo estimar a massa seca produzida ao longo do tempo. O aporte de serapilheira total em $\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ foi calculado pelo somatório do aporte em cada tempo de coleta.

Foram analisados os teores de N, P, K, Ca e Mg em cada tempo de coleta da serapilheira apenas na fração folha, de acordo com a metodologia preconizada pela EMBRAPA (2009). O aporte desses nutrientes em $\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ foi calculado pelo somatório do aporte do nutriente em cada tempo de coleta.

2.5. Decomposição e liberação de nutrientes da fração folha da serapilheira de eucalipto

Para avaliação da taxa de decomposição e liberação de nutrientes da fração folha do eucalipto foram coletadas folhas do terço médio das dez árvores da área útil e feita uma amostra composta. O material foi seco em estufa de aeração forçada de $65\pm 5^\circ\text{C}$, pesado 10 g e colocado em bolsas de náilon (0,20 m x 0,20 m), com malha de 1,0 mm² na parte inferior e 5,0 mm² na parte superior para facilitar o acesso da macrofauna edáfica.

Dez bolsas de náilon, devidamente identificadas, foram distribuídas no entorno do coletor, no centro da parcela, com quatro repetições, totalizando 40 bolsas. As coletas ocorreram aos 15, 30, 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315 e 360 dias após colocação na área.

A decomposição do material foliar foi avaliada mediante a perda de peso do material coletado, depois de limpo e seco em estufa à $65\pm 5^\circ\text{C}$ até peso constante, para determinação do percentual de massa remanescente. A determinação da massa seca remanescente foi obtida em balança analítica com precisão de 0,0001 grama. Nesse mesmo material foram analisados os teores de N, P, K, Ca e Mg em cada tempo de coleta das bolsas, de acordo com a metodologia preconizada pela EMBRAPA (2009).

Não foi possível avaliar a taxa de decomposição e liberação de nutrientes na fração folha do angico, porque os folíolos eram menores que a malha da tela de confecção das bolsas de náilon.

A massa remanescente, em porcentagem, foi obtida por meio da Equação 1:

$$\text{Biomassa Remanescente (\%)} = \frac{\text{Massa final (g)}}{\text{Massa inicial (g)}} \times 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

A partir da massa seca foi calculada a taxa de decomposição (k), utilizando-se o modelo exponencial – Equação 2 (OLSON, 1963):

$$X_i = X_0 e^{-kt_i} \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que,

X_i : Massa remanescente da i-ésima amostra ($i = 1, 2, \dots, 10$);

X_0 : Massa inicial (10g);

t_j : Tempo da coleta (dias) ($j = 15, 30, 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315, 360$);

k: A constante de decomposição

O tempo de meia vida do material, referente ao tempo necessário para que 50% do material seja decomposto, foi calculado a partir da constante de decomposição, por meio da Equação 3 (SHANKS; OLSON, 1961):

$$t_{0,5} = \frac{0,6931}{k} \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que,

$t_{10,5}$: Tempo de meia-vida (dias);

k: a constante de decomposição

O tempo necessário para decomposição de 95% do material ($t_{0,95}$) foi determinado utilizando a Equação 4 (SHANKS; OLSON, 1961):

$$t_{0,95} = \frac{3}{k} \quad (\text{Eq. 4})$$

Em que,

$t_{10,95}$: Tempo para decomposição de 95% do material (dias);

k: a constante de decomposição.

Para avaliar a taxa de liberação dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg do material foliar de eucalipto utilizou-se os mesmos procedimentos adotados para determinação da constante de decomposição (OLSON, 1963), bem como para os tempos de meia vida e liberação de 95% do nutriente contido no material foliar (SHANKS; OLSON, 1961).

2.6. Análise dos nutrientes

Para a comparação dos aportes de serapilheira e nutrientes das duas espécies foi adotado um delineamento inteiramente casualizado fatorial, composto de dois fatores, sendo dois cultivos arbóreos: angico e eucalipto; duas fontes de adubação, um condicionador de solo e um controle. Foram analisados os teores de N, P, K, Ca e Mg de acordo com a metodologia da EMBRAPA (2009).

As digestões das amostras de folhas foram realizadas no Centro de Apoio à Pesquisa (CENAPESQ) da UFRPE, por meio do biodigestor MarsXpress, com aquecimento por micro-ondas e controle de temperatura, via pressurização, por tubo.

Após resfriamento, o material amostral foi levado à capela para diluição em balão de 25 ml, com água destilada. Após diluição, foi armazenado em potes plásticos e conservados sob refrigeração para as futuras análises.

A determinação do teor de N total foi realizada por meio do método de arraste de vapor (Kjeldahl) descrito por EMBRAPA (2009).

O teor de P foi determinado a partir do método colorimétrico do molibdo-vanadato, onde procedeu-se com a leitura da absorbância em espectrofotômetro com comprimento de onda de 470nm. O K foi quantificado por fotometria de chamas. Para determinação de Ca e Mg foram realizadas leituras no Espectrofotômetro de Absorção Atômica.

2.7. Análise estatística

Os dados foram submetidos ao teste de esfericidade de Mauchly, com a finalidade de verificar se esses infringiam ou não a condição de variâncias iguais e correlações nulas, para decidir se a análise estatística seria a análise multivariada de medidas repetidas ou em parcelas subdivididas no tempo.

As hipóteses testadas foram submetidas aos testes de significância de Lambda de Wilks, Traço de Pillai e Traço de Lawley-Hotelling e Maior Raiz de Roy. Quando verificadas diferenças significativas entre as interações Tempo x Espécie x Tratamento do solo, as médias

foram comparadas por meio do teste de Tukey ao nível de 5% de significância (KHATTREE; NAIK, 1999). Análises foram realizadas no programa SAS.

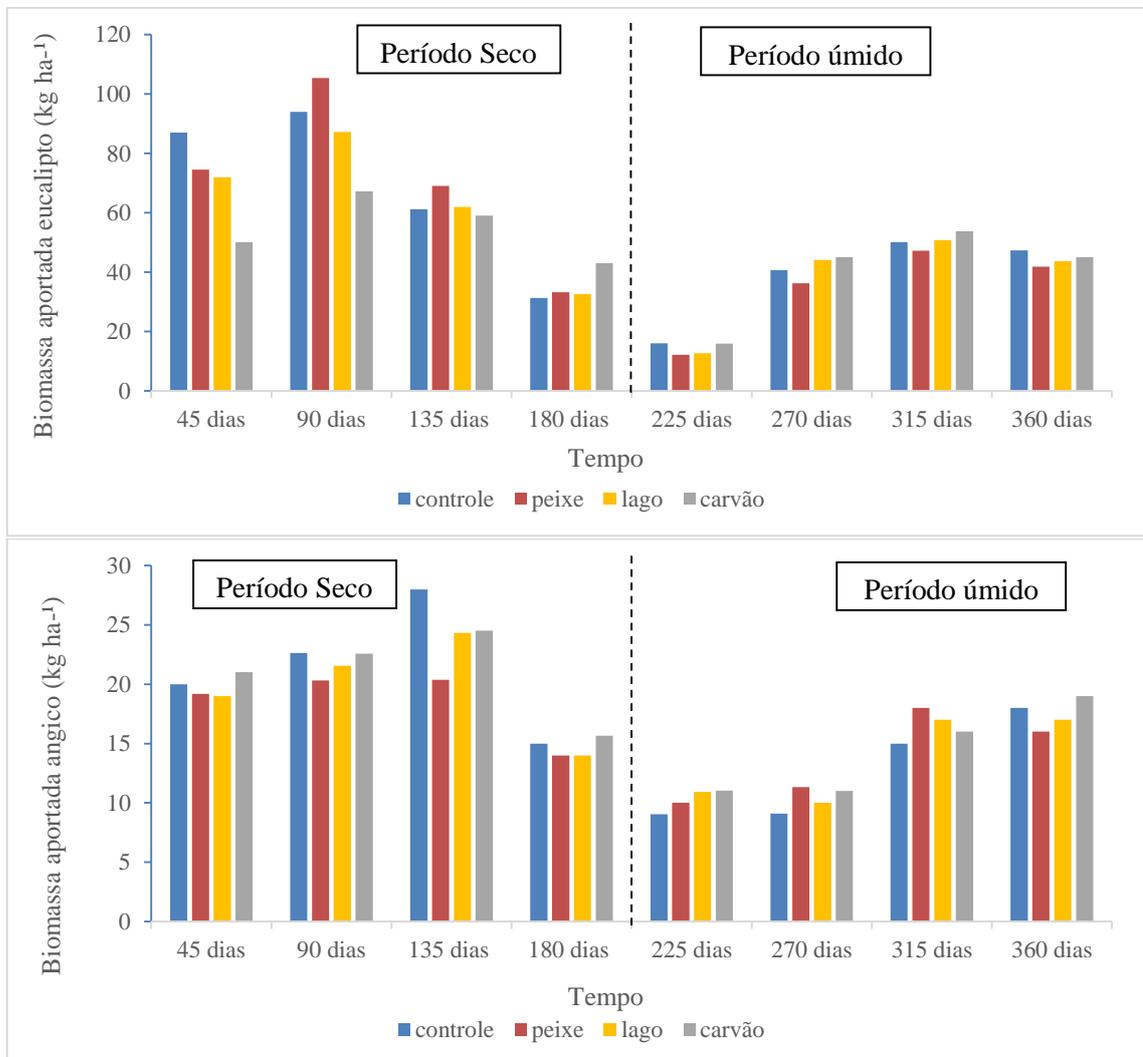
Tanto com o material foliar remanescente das bolsas de decomposição, como com os teores dos nutrientes em função do tempo de coleta, foram realizadas regressões e ajustadas equações exponenciais para obtenção da constante de decomposição e taxa de liberação dos nutrientes.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Aporte de serapilheira

As coletas foram realizadas a cada 45 dias e o aporte de serapilheira variou durante esse período, além de ter sido influenciado pelos tratamentos aplicados no solo e pelas diferentes espécies utilizadas nos plantios puros (Figura 3).

Figura 3. Distribuição do aporte de serapilheira de eucalipto e angico ao longo do tempo (2017/2018) em função dos tratamentos aplicados no solo. CT – Controle (Testemunha); RTP – Resíduo de tanque de peixe; SRA – Sedimento de reservatório artificial; BC – Biocarvão.



O período de precipitação na região ocorreu de janeiro à maio (Figura 1), coincidindo com o menor aporte de material vegetal para as duas espécies (quando observados intervalos de 45 dias). Tal fato ocorre porque a escassez de água é fator limitante para absorção de

nutrientes e em momentos de estresse a planta tende a perder folhas e outros componentes da parte aérea, que já não desempenham seu papel fisiológico com eficiência, para reduzir seu gasto de energia. O período de maior precipitação influenciou mais o aporte de serapilheira no eucalipto do que no angico.

Em estudo realizado Silva, Silva e Medina (2018), no município de São Sebastião da Vagem Alegre – MG, com eucalipto e *Anadenanthera colubrina*, foi observado que o plantio de eucalipto produziu maior quantidade de serapilheira que o angico, e o maior aporte de serapilheira foi observado no período seco, corroborando com esse estudo, a maior produção ocorreu no período seco, devido ao estresse sofrido pela vegetação. Este mesmo comportamento foi observado nos plantios de Belém do São Francisco, onde o período de escassez de chuva foi extenso e a precipitação concentrada.

No período de maior aporte de serapilheira, as plantas de eucalipto tratadas com resíduo de tanque de peixe aportaram mais material vegetal. No entanto, para as plantas de angico os tratamentos aplicados ao solo não influenciaram o aporte de serapilheira (Figura 3).

O aporte total de eucalipto foi $4.077,55 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e o de angico de $1.185,39 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Viera et al. (2014) observaram que a deposição da serapilheira aumentou com a idade dos indivíduos e que um plantio de eucalipto com cinco anos e meio apresentou um aporte de $6.870,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e um de nove anos $8.500,3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, além do aporte ter também variado em função da precipitação.

Costa et al. (2010) estimaram o aporte médio de serapilheira da caatinga variando entre $1.500 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ a $3.500 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e a diferença de valores foi atribuída às características morfológicas e fisiológicas das espécies. Holanda et al. (2017) encontraram em área de caatinga aporte de serapilheira de $3.785,67 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

As duas espécies apresentaram valores fora das faixas citadas na literatura, o que pode ser atribuído às questões morfológicas, uma vez que o crescimento do eucalipto é muito maior quando comparado com espécies da caatinga, além do fato de o angico possuir folíolos muito pequenos.

Com relação às frações aportadas, as folhas representaram o maior aporte para as duas espécies, sendo 65,07% para o eucalipto e 55,56% para o angico. Em relação ao eucalipto, o biocarvão representou o menor aporte dentre a combinação de fatores, o que pode ser explicado pela pesquisa de Moreira (2018), que observou que os indivíduos de eucalipto submetidos a este tratamento apresentaram o menor crescimento.

A senescência do material reprodutivo se intensificou após 270 dias da implantação do experimento e coincidiu com o período do final das chuvas para o eucalipto. Para o angico o

maior aporte ocorreu no período de 135 a 180 dias da instalação do experimento, antecedendo o período das chuvas.

A deposição das estruturas reprodutivas do angico, no trabalho de Holanda et al. (2017) ocorreu em maior número nos meses de setembro e outubro, o que divergiu do presente estudo, mas também coincidiu com o período que antecedeu a maior época de precipitação. Henriques et al. (2016) avaliando o aporte da vegetação da caatinga em unidade de conservação, observaram que o material reprodutivo do angico foi o mais expressivo dentre todas as espécies, ou seja, o angico foi a espécie que apresentou maior quantidade de material reprodutivo aportado.

A quantidade de miscelânea foi constante durante todo ano e o aporte de galhos intensificado no período de escassez pluviométrica, sendo este último fator regular para o eucalipto e irregular para o angico, fato justificado pela facilidade de desrama natural do eucalipto. O maior aporte das cascas ocorreu na coleta 90 dias, sendo observado apenas no eucalipto, pois tal espécie apresenta desprendimento natural da casca do fuste e galhos .

Em estudo realizado no Rio Grande do Sul, a serapilheira aportada em um plantio de eucalipto aos seis anos foi de $6.900 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ e aos nove anos $8.500,3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, sendo a fração folha correspondente a 66,9%, seguida pelos galhos finos e miscelânea (VIERA, 2014). Tal aporte foi proporcionalmente semelhante ao do presente estudo, uma vez que o eucalipto, aos quatro anos, apresentou um material senescente médio de $4.077,55 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e as folhas representaram, em média, 65,07% do total da serapilheira aportada.

Villa et al. (2016) em estudo realizado no Rio de Janeiro, com diferentes espaçamentos de restauração florestal, observaram que quanto menor o espaçamento maior o aporte, pois a competição por luz, água e nutrientes faz com que as frações que menos contribuem para a vida do vegetal sejam eliminadas para evitar consumo de energia desnecessário, já nesta pesquisa os espaçamentos foram constantes de 3 m x 2 m.

Henriques et al. (2016) estudando área de caatinga em unidade de conservação, observaram um aporte de serapilheira de $4.207,84 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, onde as folhas representaram 63,99% do total. No presente estudo o angico apresentou um aporte menor, $1.195,39 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$, atribuído sobretudo ao tamanho dos folíolos, porque as folhas apresentaram maior fração do material senescente, sem contar que em área de caatinga são encontradas diversas espécies com morfologias foliares distintas.

A contribuição de cada fração obedeceu a seguinte ordem decrescente: folha > material reprodutivo > galho > miscelânea para o total de serapilheira aportada pela espécie angico e, folha > galho > casca > material reprodutivo > miscelânea, quando para o eucalipto.

3.2. Teor de nutrientes na fração folha

O plantio puro de angico apresentou os maiores teores de N, P, K e Ca e o plantio de eucalipto pelo maior teor de Mg (Tabela 3), este comportamento ocorreu tanto no período seco quanto no período úmido. Tal fato é justificado pelo angico ser uma espécie nativa e pioneira, que apresenta desenvolvimento satisfatório para criar condições de sobrevivência para outras espécies e o eucalipto apresentar alta eficiência nutricional, produzindo serapilheira de baixa qualidade (GAMA-RODRIGUES; BARROS; 2002; FREITAS et al., 2010).

Tabela 3. Teor de nutrientes na fração folha da serapilheira dos plantios puros de eucalipto e angico em função dos tratamentos aplicados no solo no semiárido pernambucano

	N (g kg ⁻¹)		P (g kg ⁻¹)		K (g kg ⁻¹)		Ca (g kg ⁻¹)		Mg (g kg ⁻¹)	
	T1 ¹	T2 ²	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
Euc ³	11,85 B	14,29 B	2,23 B	3,45 B	3,83 B	5,11 B	9,53 B	11,60 B	2,55 A	3,74 A
Ang ⁴	17,12 A	23,11 A	4,93 A	5,51 A	5,31 A	6,81A	10,60 A	12,69 A	1,12 B	1,76 B
CT ⁵	14,20 B	18,65 AB	3,53 B	4,28 B	4,63 A	5,99 B	10,08 A	12,05 B	1,86 A	2,73 A
RTP ⁶	15,37 A	17,84 B	3,82 A	4,77 A	4,76 A	5,92 B	10,10 A	12,11 AB	1,81 A	2,78 A
SRA ⁷	14,34 B	19,39 A	3,66 AB	4,76 A	4,74 A	6,20 A	10,14 A	12,14AB	1,83 A	2,78 A
BC ⁸	14,02 B	18,92 A	3,32 C	4,10 B	4,15 B	5,74 C	9,95 A	12,26 A	1,84 A	2,71 A
		F		F		F		F		F
E ⁹	833,03 **	1380,05 **	4099,05 **	1603,18 **	1499,28 **	6013,59 **	411,54 **	389,37 **	5019,11 **	6454,29 **
T ¹⁰	11,03 **	7,43 **	24,97 **	45,02 **	57,73 **	71,93**	2,40 **	2,71 ^{ns}	1,01 ^{ns}	2,31 ^{ns}
E x T	9,00 **	6,2 **	27,59**	8,53 **	20,98 **	90,66 **	7,16**	6,27 **	9,44 **	3,12 ^{ns}
CV (%)	3,57	3,59	3,32	3,24	2,35	1,04	1,48	1,28	3,11	2,53

¹T1: tempo seco; ²T2: tempo úmido; ³Eucalipto; ⁴Angico; ⁵Controle; ⁶Resíduo de tanque de peixe; ⁷Sedimento de reservatório artificial; ⁸Biocarvão; ⁹Espécie; ¹⁰T: Tratamentos do solo. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância. ** significativo a 1% de probabilidade. ^{ns} não significativo.

Ao analisar o teor de N, observou-se que para o período seco o material analisado proveniente dos tratamentos de solo com resíduo de tanques de piscicultura apresentaram os maiores teores, já no período úmido este tratamento apresentou desempenho inferior aos demais.

Vieira et al. (2014) em um plantio de eucalipto com 5,5 anos, observaram que o teor médio de N na fração folha foi de $7,20 \text{ g kg}^{-1}$ em quatro anos de estudo. Como observado para região de Itaparica, os teores encontrados pelos autores foram menores tanto no tempo seco quanto no úmido, o que pode ser atribuído ao material genético e propriedades edafoclimáticas.

Holanda et al. (2017) analisando a fração folha de espécies da caatinga, encontraram um teor médio de N de $11,98 \text{ g kg}^{-1}$. Esse valor foi bem divergente ao deste estudo, que pode se justificar pelo fato de ter sido avaliada a serapilheira aportada de várias espécies. Souto et al. (2009) em estudo realizado no município de Santa Terezinha – PB, encontraram valores de N que variaram de $10,57 \text{ g kg}^{-1}$ a $17,43 \text{ g kg}^{-1}$, também em caatinga preservada com diversas espécies.

Na análise do P, também foi verificado que no período seco o desempenho do resíduo de tanque de piscicultura foi melhor, já no período úmido tanto o resíduo de tanques de piscicultura quanto os sedimentos de reservatório artificial se destacaram. Como os materiais eram ricos em fósforo, a presença de água contribuiu para maior liberação e absorção pelas plantas, o que justifica maior teor no material senescente.

O biocarvão apresentou baixo desempenho junto ao controle, no período úmido. O biocarvão pode ter retido o P do solo e influenciado em sua disponibilidade para as plantas, reduzindo sua absorção e tornando sua serapilheira pobre em P, uma vez que sua natureza particulada e porosidade influenciam na retenção de água e nutrientes (CLOUGH et al., 2013).

Para o K no período seco o solo com tratamento de biocarvão apresentou menor desempenho, caso que pode ser explicado pela retenção do nutriente pelo biocarvão, já no período úmido o melhor tratamento foi o sedimento de reservatório artificial, seguido pelo resíduo de tanque de piscicultura e o controle.

Na análise de Ca não houve diferença significativa no período seco, já no úmido o biocarvão apresentou melhor desempenho.

Já o Mg não apresentou diferença entre os tratamentos ao longo do tempo.

Para melhor avaliação dos dados foram realizados testes de hipóteses observando o comportamento dos efeitos entre as variáveis e dentro das variáveis (Tabela 4)

Tabela 4: Análise da variância para o teor de nutrientes na fração folha da serapilheira dos plantios puros de eucalipto e angico em função dos tratamentos aplicados no solo no semiárido pernambucano

Teste de hipóteses para avaliação dos efeitos entre as variáveis					
Variável	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Espécie	1	345,26	345,26	2550,22	<0,0001
Tratamento do solo	3	4,25	1,42	10,47	0,0001
Espécie x Tratamento do solo	3	0,63	0,21	1,54	0,2290
Resíduo	24	3,25	0,14		
Total	31	353,13			
Teste univariados para efeitos dentro das variáveis					
Variável	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Tempo	9	9317,14	1035,24	13539,1	<0,0001
Tempo x Espécie	9	698,69	77,63	1015,30	<0,0001
Tempo x Tratamento do solo	27	21,79	0,81	10,55	<0,0001
Tempo x Espécie x Tratamento do solo	27	20,11	0,74	9,74	<0,0001
Resíduo	216	16,52	0,08		
Total	288	10074,25			

As análises mostram que apenas houve diferença significativa para a interação espécie x tratamento do solo não sendo observada diferença entre as demais interações aceitando-se a hipótese de nulidade ao longo do tempo.

Os testes de hipótese para o efeito tempo e para as interações tempo x espécie, tempo x tratamento do solo, tempo x espécie x tratamento do solo são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Testes de hipóteses para o teor de nutrientes na fração folha da serapilheira dos plantios puros de eucalipto e angico em função dos tratamentos aplicados no solo no semiárido pernambucano

Efeito tempo			
Estatística	Valor	F	Pr > F
Lambda de Wilks	0,0001	28572,8	<0,0001
Traço de Pillai	0,9999	28572,8	<0,0001
Traço de Hotelling – Lawley	16072,2280	28572,8	<0,0001
Maior Raiz de Roy	16072,2280	28572,8	<0,0001
Efeito tempo x espécie			
Estatística	Valor	F	Pr > F
Lambda de Wilks	0,0006	2886,91	<0,0001
Traço de Pillai	0,9994	2886,91	<0,0001
Traço de Hotelling – Lawley	1623,8892	2886,91	<0,0001
Maior Raiz de Roy	1623,8892	2886,91	<0,0001
Efeito tempo x tratamento do solo			
Estatística	Valor	F	Pr > F
Lambda de Wilks	0,0035	10,41	<0,0001
Traço de Pillai	2,4125	8,21	<0,0001
Traço de Hotelling – Lawley	22,8377	12,73	<0,0001
Maior Raiz de Roy	15,9156	31,83	<0,0001
Efeito tempo x espécie x tratamento do solo			
Estatística	Valor	F	Pr > F
Lambda de Wilks	0,0033	10,64	<0,0001
Traço de Pillai	2,4824	9,59	<0,0001
Traço de Hotelling – Lawley	19,6594	10,96	<0,0001
Maior Raiz de Roy	9,6239	19,25	<0,0001

De acordo com os testes Lambda de Wilks, Traço de Pillai, Traço de Hotelling-Lawley e Maior Raiz de Roy as hipóteses de nulidade para o efeito tempo e para as interações tempo x espécie, tempo x tratamento do solo e tempo x espécie x tratamento do solo, devem ser rejeitadas ($p < 0,01$) indicando que a avaliação dos teores de nutrientes ao longo do tempo devem ser avaliadas de forma isolada para cada período.

Observando os teores de nutrientes encontrados é possível perceber que, no geral o resíduo de tanques de piscicultura apresentaram maiores valores para o período seco, sendo indicada sua utilização. Para o período úmido os melhores valores foram encontrados nos tratamentos que receberam sedimentos de reservatórios artificiais, seguidos pelos resíduos de tanques de piscicultura, o que sugere que ambos são indicados para fertilização de plantios florestais.

3.3. Aporte de nutrientes na fração folha

O plantio puro de eucalipto apresentou os maiores aporte de todos os nutrientes avaliados, este comportamento ocorreu tanto no período seco quanto no período úmido e é justificado pelo maior aporte de biomassa foliar (Tabela 6).

Tabela 6. Aporte de nutrientes na fração folha da serapilheira dos plantios puros de eucalipto e angico em função dos tratamentos aplicados no solo no semiárido pernambucano

	N (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)		P (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)		K (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)		Ca (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)		Mg (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	
	T1 ¹	T2 ²	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
Euc ³	17,90 A	15,63 A	3,37 A	3,70 A	5,77 A	5,67 A	14,42 A	12,91 A	3,72 A	4,04 A
Ang ⁴	5,99 B	6,20 B	1,74 B	1,49 B	1,86 B	1,84 B	3,83 B	3,41 B	0,34 B	0,47 B
CT ⁵	13,70 A	10,62 BC	3,10 A	2,48 C	4,39 A	3,68 B	10,73 A	8,09 B	2,41 A	2,21 B
RTP ⁶	12,90 A	10,99 B	2,73 B	2,80 B	4,14 B	3,92 B	9,63 B	8,61 AB	2,19 B	2,41 A
SRA ⁷	12,97 A	12,47 A	2,64 B	3,06 A	4,17 B	4,32 A	9,63 B	8,89 A	2,06 C	2,54 A
BC ⁸	8,20 B	9,59 C	1,75 C	2,05 D	2,57 C	3,11 C	6,52 C	7,04 C	1,46 D	1,86 C
		F		F		F		F		F
E ⁹	1666,11 **	805,40 **	1197,91 **	1388,49 **	7026,79 **	3273,50 **	874,56 **	2983,61 **	19207,3 **	8998,70 **
T ¹⁰	74,75 **	12,79 **	148,75 **	54,18 **	324,46 **	57,15 **	236,53 **	21,96 **	278,22 **	62,46 **
E x T	37,90 **	7,19 **	29,97 **	19,04 **	122,34 **	29,73 **	124,38 **	17,11 **	199,04 **	53,95 **
CV (%)	6,91	8,61	5,20	6,46	3,46	5,04	3,65	6,03	3,40	4,73

¹T1: tempo seco; ²T2: tempo úmido; ³Eucalipto; ⁴Angico; ⁵Controle; ⁶Resíduo de tanque de peixe; ⁷Sedimento de reservatório artificial; ⁸Biocarvão; ⁹Espécie; ¹⁰T: Tratamentos do solo. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância. ** significativo a 1% de probabilidade. ^{ns} não significativo.

O biocarvão apresentou menor contribuição de N para os dois tempos, o que se justifica pelo menor crescimento dos eucaliptos neste tratamento (MOREIRA, 2018), no entanto no período o tratamento de maior relevância foi o sedimento de reservatório artificial.

Vieira et al. (2014) em um plantio de eucalipto com 5,5 anos, observaram, em quatro anos de estudo, o aporte médio de N na fração folha de $32 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. A produção de biomassa que retornou para o solo foi maior que a do presente estudo, fato explicado pela idade/tamanho dos indivíduos, onde a fração folha representou $4.593,90 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, enquanto a deste estudo foi de $2.636,86 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Para os elementos P, K e Ca o tratamento que apresentou maior aporte do nutriente foi o controle, para o período seco, já para o úmido o tratamento que mais contribuiu foi o sedimento de reservatório artificial.

Quanto ao Mg no período seco o melhor tratamento foi o controle, enquanto no úmido foram o sedimento de reservatório artificial e o resíduo de tanques de piscicultura.

O tratamento biocarvão apresentou os menores aportes para todos os elementos nos dois períodos avaliados.

Para melhor avaliação dos dados foram realizados testes de hipóteses observando o comportamento dos efeitos entre as variáveis e dentro das variáveis (Tabela 7).

Tabela 7: Análise da variância para o aporte de nutrientes na fração folha da serapilheira dos plantios puros de eucalipto e angico em função dos tratamentos aplicados no solo no semiárido pernambucano

Teste de hipóteses para avaliação dos efeitos entre as variáveis					
Variável	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Espécie	1	2877,17	2877,17	5403,74	<0,0001
Tratamento do solo	3	183,00	61,00	114,57	<0,0001
Espécie x Tratamento do solo	3	96,97	32,32	60,71	<0,0001
Resíduo	24	12,78	0,53		
Total	31	3169,92			

Teste univariados para efeitos dentro das variáveis					
Variável	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Tempo	9	4359,32	484,37	2903,87	<0,0001
Tempo x Espécie	9	1083,21	120,36	721,56	<0,0001
Tempo x Tratamento do solo	27	140,19	5,19	31,13	<0,0001
Tempo x Espécie x Tratamento do solo	27	70,90	2,63	15,74	<0,0001
Resíduo	216	36,03	0,17		
Total	288	5688,91			

As análises mostram que não foram observadas diferenças significativas entre as variáveis tempo, espécie e tratamento do solo e as interações tempo x espécie, tempo x tratamento do solo e tempo x espécie x tratamento do solo

Os testes de hipótese para o efeito tempo e para as interações tempo x espécie, tempo x tratamento do solo, tempo x espécie x tratamento do solo são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8: Testes de hipóteses para o aporte de nutrientes na fração folha da serapilheira dos plantios puros de eucalipto e angico em função dos tratamentos aplicados no solo no semiárido pernambucano

Efeito tempo			
Estatística	Valor	F	Pr > F
Lambda de Wilks	0,0008	2358,41	<0,0001
Traço de Pillai	0,9992	2358,41	<0,0001
Traço de Hotelling – Lawley	1326,6079	2358,41	<0,0001
Maior Raiz de Roy	1326,6079	2358,41	<0,0001
Efeito tempo x espécie			
Estatística	Valor	F	Pr > F
Lambda de Wilks	0,0008	2210,67	<0,0001
Traço de Pillai	0,9992	2210,67	<0,0001
Traço de Hotelling – Lawley	1243,5017	2210,67	<0,0001
Maior Raiz de Roy	1243,5014	2210,67	<0,0001
Efeito tempo x tratamento do solo			
Estatística	Valor	F	Pr > F
Lambda de Wilks	0,0006	20,28	<0,0001
Traço de Pillai	2,5261	10,66	<0,0001
Traço de Hotelling – Lawley	53,5536	29,85	<0,0001
Maior Raiz de Roy	35,9735	71,95	<0,0001
Efeito tempo x espécie x tratamento do solo			
Estatística	Valor	F	Pr > F
Lambda de Wilks	0,0004	23,08	<0,0001
Traço de Pillai	2,7082	18,56	<0,0001
Traço de Hotelling – Lawley	47,5755	26,51	<0,0001
Maior Raiz de Roy	30,7267	61,45	<0,0001

De acordo com os testes Lambda de Wilks, Traço de Pillai, Traço de Hotelling-Lawley e Maior Raiz de Roy as hipóteses de nulidade para o efeito tempo e para as interações tempo x espécie, tempo x tratamento do solo e tempo x espécie x tratamento do solo, devem ser rejeitadas ($p < 0,01$) indicando que a avaliação dos teores de nutrientes ao longo do tempo devem ser avaliadas de forma isolada para cada período.

Estudos de aporte de N ressaltam a importância da escolha da espécie a ser cultivada para contribuir com a incorporação do N aos solos, uma vez que este é um dos elementos que mais necessita complementação na fertilização artificial.

Trabalhando com três espécies de eucalipto com idades variando de 9 a 12 anos, Schumacher e Poggiani (1993), encontraram um teor de P de $2,01 \text{ g kg}^{-1}$, sendo o *Eucalyptus*

camaldulensis a espécie que apresentou maior eficiência para P, K e Mg. Corrêa, Schumacher e Momolli (2013) encontraram valores bem inferiores, trabalhando com eucalipto implantado em área degradada, correspondendo a um teor de $0,46 \text{ g kg}^{-1}$ de P na fração folha, o que pode ter ocorrido pela baixa quantidade de P nos solos.

Estudando a produção de serapilheira e o aporte de nutrientes numa área de caatinga, Jaramillo-Botero et al. (2008), verificaram que o teor de P foi de $1,25 \text{ g kg}^{-1}$, valor abaixo do presente estudo para o angico, o que pode ser atribuído ao fato de que o solo de Belém de São Francisco, mesmo antes de receber os tratamentos, apresentava alto teor do nutriente, conforme disposto na tabela 1 do primeiro capítulo, fazendo com que mesmo sendo um nutriente de difícil disponibilidade para as plantas ainda aparecesse em abundância.

Urbano et al. (2018), avaliando povoamentos de eucalipto com 3 anos, encontraram um teor de K de $2,63 \text{ g kg}^{-1}$. Viera et al. (2014) encontraram teor de K de $2,67 \text{ g kg}^{-1}$ e aporte de $12,0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, em eucaliptos com 5,5 anos. O teor foi um pouco menor do que o encontrado nesse estudo, mas o aporte foi maior, o que se explica pela deposição de serapilheira que foi quase 80% a mais do que o presente estudo.

Não existem muitos estudos sobre a *Anadenanthera colubrina* na literatura tratando da análise bioquímica da serapilheira aportada, o que dificulta a discussão exata dos dados e ressalta a importância do presente estudo.

Alves et al. (2017) avaliando duas áreas de Caatinga, uma em regeneração e outra em preservação, encontraram teores de Ca de $12,0 \text{ g kg}^{-1}$ e $13,05 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente. O valor diferiu do presente trabalho, mais uma vez explicado pelo fato da literatura utilizar a serapilheira aportada por diversas espécies, o que altera as características do material, sem contar que indivíduos mais velhos tendem a apresentar maior quantidade total de nutrientes (VIEIRA; SCHUMACHER; CALDEIRA, 2015).

Em povoamento de eucalipto com seis anos na região Norte fluminense, Zaia e Gamarródriques (2004) encontraram teor de Ca de $11,7 \text{ g kg}^{-1}$ e Ludvichak et al. (2016) encontraram $12,52 \text{ g kg}^{-1}$ de Ca na serapilheira foliar. Apesar do valor ser maior que o do presente estudo, os indivíduos eram adultos e a formação estrutural tende a ter maiores teores de Ca em indivíduos mais velhos.

Em área de reflorestamento com eucalipto e acácia foi encontrado um teor de Mg de $1,12 \text{ g kg}^{-1}$ na serapilheira acumulada (FREITAS et al., 2013). O teor de Mg desse trabalho pode ter sido menor do que o desse estudo pelo fato de a serapilheira estar em contato com o solo contendo material em vários estágios de decomposição e liberação de nutrientes (CALDEIRA et al. 2013).

Corrêa, Schumacher e Momolli (2013) encontraram um teor de Mg de 2,8 g kg⁻¹ em eucaliptos dos 16,5 meses aos 28,5 meses, portanto com resultados semelhantes ao do presente estudo. Embora os autores tenham avaliado uma área que recebeu adubação natural, o local de implantação deste estudo apresentava bom teor de Mg antes da aplicação dos tratamentos do solo.

Alves et al. (2017) encontraram um teor de 3,1 g kg⁻¹ de Mg para área de regeneração de caatinga e 3,3 g kg⁻¹ em área de preservação, valores que são bem superiores aos encontrados em Belém de São Francisco para o angico nesse estudo. Como a serapilheira das áreas de regeneração e preservação foi composta por muitas espécies e a desse estudo é apenas de angico em plantio puro, isso pode ter influenciado a qualidade da serapilheira em relação ao Mg.

Não foram encontrados trabalhos que avaliem o aporte isolado da serapilheira e retorno de nutrientes do angico, muitas vezes relatadas as dificuldades de coletar pequenos folíolos, o que dificultou a discussão dos resultados.

O aporte de nutrientes na fração folha da serapilheira seguiu a seguinte ordem decrescente: N > Ca > K > Mg > P para o eucalipto e N > Ca > K > P > Mg para o angico (Tabela 3). Resultados semelhantes foram encontrados por Gama-Rodrigue e Barros (2002), onde a ordem decrescente de aporte dos nutrientes em plantios de eucalipto no Sudoeste da Bahia também foi de N > Ca > K > Mg > P. Urbano et al. (2018) em plantio de eucalipto aos três anos de idade no planalto catarinense encontraram a seguinte ordem decrescente: Ca > K > Mg > P. Nesse caso, o N não foi quantificado.

Para espécies da caatinga, a sequência do aporte encontrado por Holanda et al. (2017) para os nutrientes na serapilheira seguiram a seguinte ordem decrescente: Ca > N > K > Mg > P. Divergente do presente estudo, o que pode ser justificado pelo fato de ser um plantio puro de uma leguminosa e do teor de P ser mais elevado e estar mais disponível para a planta do que no ambiente de floresta natural seca de caatinga.

Assim, como na avaliação dos teores foliares o tratamento que apresentou melhor desempenho no aporte no período úmido foi o sedimento de reservatórios artificiais seguido pelos resíduos de tanques de piscicultura. No entanto no período seco o melhor tratamento foi o controle, o que pode ser justificado pelo crescimento semelhante dos indivíduos nos três tratamentos e um menor crescimento no biocarvão, como observado por Moreira (2018).

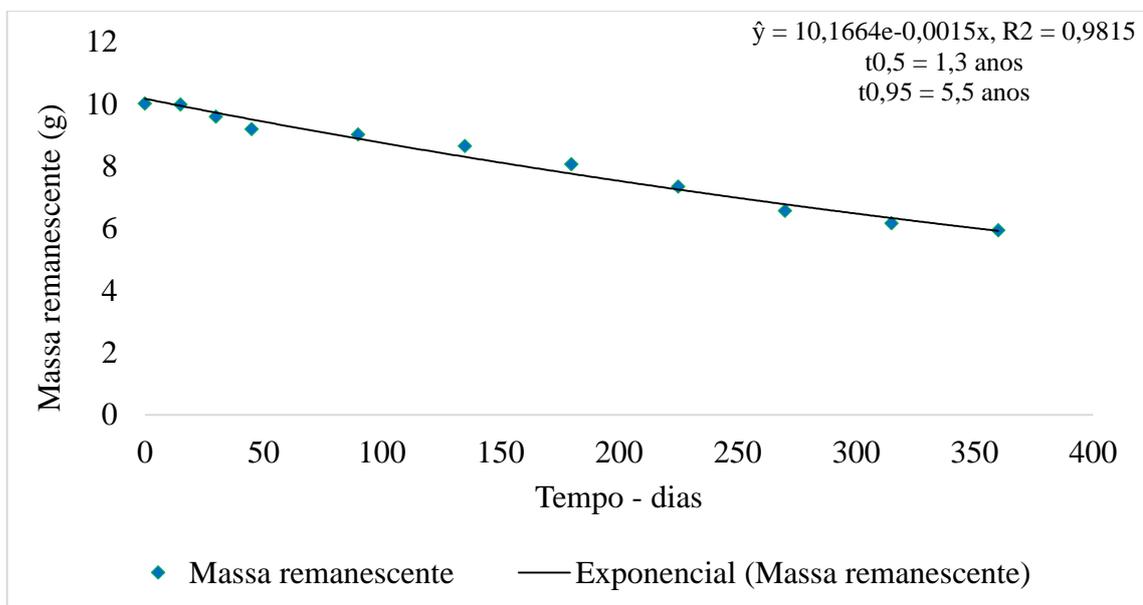
Sendo assim, em solos que necessitam de complementação na fertilidade, os adubos utilizados neste estudo são recomendados com alternativas de baixo impacto e custo. Já o biocarvão deve ser testado em consórcio com fontes de liberação rápida e devem apresentar

resultados satisfatórios para prolongar os teores de nutrientes no solo, evitando perdas por lixiviação e evaporação, por exemplo.

3.4. Decomposição foliar do eucalipto

O presente estudo foi avaliado por 12 meses e apresentou uma decomposição de 18,68% da biomassa foliar nos seis primeiros meses e 59,34% no período de um ano (Figura 4). Momolli et al. (2018) avaliaram um povoamento de *Eucalyptus dunnii* a partir dos 18 meses de idade por três anos, sendo que nos 12 primeiros meses a perda de biomassa foliar foi de 55,06%.

Figura 4. Taxa de decomposição de folhas de eucalipto, tempo de meia-vida e tempo para que 95% das folhas sejam decompostas no semiárido pernambucano



A decomposição nos primeiros meses é mais rápida, devido à elevada presença de materiais lábeis nas folhas. Posteriormente a fração recalcitrante toma uma proporção maior, reduzindo a velocidade de decomposição (SILVA et al., 2011). No entanto, o fechamento das copas pode criar condições adequadas para os indivíduos da fauna de solo responsáveis pela fragmentação inicial do material (GUO; SIMS, 2001).

Pinto et al. (2016), em estudo realizado com eucaliptos com seis e sete anos de idade, em Vitória da Conquista – BA, encontraram perda de biomassa de 26,4% nos seis primeiros meses. Esse valor superior ao presente estudo, provavelmente relacionado ao diferente regime de chuvas da região, que foi superior ao de Belém de São Francisco.

Em estudo realizado na Nova Zelândia, com três espécies de eucalipto com três anos, por Guo e Sims (2001) foi encontrada uma perda de peso seco média de 58,50% em 12 meses, resultado semelhante ao do presente estudo. Apesar das condições de temperatura e umidade serem mais favoráveis, os autores sugeriram que um aumento de nutrientes no sistema, favoreceria a velocidade de decomposição.

A taxa de decomposição (k) do material vegetal foi de $0,0015 \text{ g dia}^{-1}$ ou $1,5 \text{ mg dia}^{-1}$. O tempo de meia vida foi de aproximadamente 1 ano e 3 meses e o tempo de desaparecimento de 95% do material foi de aproximadamente 5,5 anos.

Pinto et al. (2016) encontraram a mesma taxa de decomposição e tempo de meia vida que este estudo, no entanto a decomposição ao longo dos meses apresentou comportamento diferente, fato atribuído ao regime de precipitação.

Em estudo realizado em Mirai-MG, em área de recuperação pós-mineração, plantios de eucalipto apresentaram uma taxa de decomposição média das folhas de 0,32 (SILVA; SILVA; MEDINA, 2018). Momolli et al. (2018) avaliando um plantio de 18 meses de idade, por um período de 36 meses, encontraram uma taxa de decomposição de 0,37, com tempo de meia vida de 1,55 anos.

Viera, Schumacher e Araújo (2014) em um plantio de 5,5 anos, encontraram uma taxa de decomposição de 0,44, com tempo necessário para decomposição de 50% e 95% de 1,56 e 6,75 anos, respectivamente.

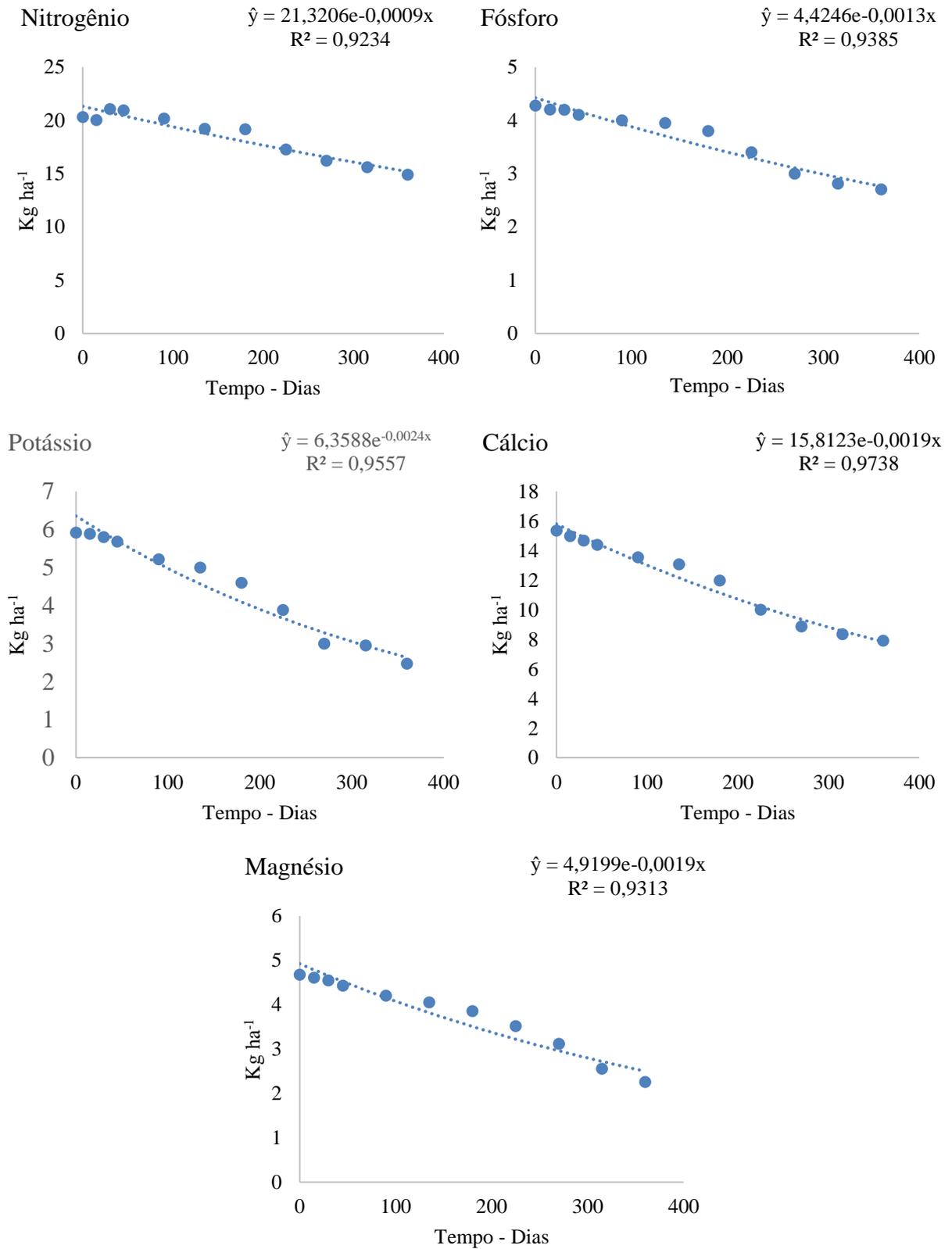
A variação entre as taxas de decomposição encontradas na literatura é elevada e depende de fatores internos como teores de nutrientes e lignina, que podem variar entre espécies e a depender da idade dos indivíduos, além de fatores climáticos como temperatura e umidade (GUO; SIMS, 1999; DUTTA; AGRAWAL, 2001).

O teor médio de C encontrado no material colocado nas bolsas foi de 397 g kg^{-1} e o de N de $17,57 \text{ g kg}^{-1}$, resultando numa relação C/N de 22,59. Momolli et al. (2018) relatam que uma relação C/N entre 20 e 30 é considerada ideal para atividades microbianas, sendo que abaixo deste valor há uma disponibilidade acelerada dos nutrientes.

Por se tratar de um sistema de produção de base ecológico, com adubos naturais e plantios consorciados no entorno, a atividade da fauna de solo é intensa no local, o que pode ter contribuído para alta taxa de decomposição e liberação de nutrientes.

Também foi avaliada a liberação dos nutrientes ao longo do tempo (Figura 5) para compreender o comportamento da espécie ao longo do tempo, uma vez que não se tem estudos desta natureza com eucalipto na região semiárida.

Figura 5. Liberação de nutrientes na decomposição de folhas de eucalipto em plantios puros no semiárido pernambucano



Nas primeiras coletas foi observado uma manutenção no teor de N do material, fato que ocorreu nos primeiros 45 dias. A partir dos 90 dias a liberação começou a ocorrer de forma lenta, e com o início das chuvas aos 180 dias (Figura 1), a liberação foi intensificada (Figura 6). Quanto ao P ocorreu uma baixa liberação inicial, sendo observado um aumento a partir dos 180 dias. O K, apesar de não apresentar dificuldades de liberação, também teve sua perda acentuada com o início das chuvas. O Ca apresentou resistência na perda inicial, porém com a precipitação, a liberação do nutriente aumentou consideravelmente. O Mg apresentou perda constante, que foi elevada com o início das chuvas (Figura 5).

O início das chuvas cria um ambiente favorável aos indivíduos da fauna de solo, o que contribui para fragmentação e mineralização do material, acelerando a liberação dos nutrientes. Comportamentos semelhantes ao do presente estudo foram observados por Gama-Rodrigues e Félix (2002) e Costa, Gama-Rodrigues e Cunha (2005).

Foi estudada também a taxa de liberação de nutrientes, tempo de meia vida e tempo para a quase completa liberação dos nutrientes (Tabela 9).

Tabela 9. Taxa de liberação de nutrientes, tempo de meia vida e tempo para que 95% do nutriente contido no material foliar de eucalipto seja liberado no semiárido pernambucano

Indicadores/liberação	Nutriente				
	N	P	K	Ca	Mg
Taxa de liberação (mg dia ⁻¹)	90	104	161	129	125
Tempo de meia/vida (dia)	7,7	6,7	4,3	5,4	5,5
Tempo 95% (dia)	33	29	19	23	24

Verificou-se que a maior taxa de liberação foi a de K e a menor foi a de N. Os microrganismos apresentam uma elevada demanda de N no início do processo de decomposição do material vegetal, dificultando sua liberação inicial (Figura 5).

Para os demais nutrientes, essa demanda é menor, e a taxa de liberação torna-se maior. Outra constatação importante desse estudo é que a cada 33 dias, a deposição de folhas como serapilheira, precisa ser renovada para que os nutrientes sejam continuamente liberados, proporcionando uma ciclagem mais equilibrada e contínua.

4. CONCLUSÃO

- O aporte de serapilheira do eucalipto foi maior do que o do angico, porém ambos foram influenciados pela precipitação pluviométrica, em que as maiores deposições ocorreram nos períodos secos do ano;
- A aplicação de biocarvão influenciou reduziu a deposição de serapilheira do eucalipto e não teve efeito no angico;
- O tratamento biocarvão apresentou os menores aportes para todos os elementos nos dois períodos avaliados;
- No que diz respeito ao teor de nutrientes o tratamento que mais contribuiu no período seco foi o resíduo de tanques de piscicultura e no úmido o sedimento de reservatórios artificiais;
- No aporte o tratamento que mais contribuiu no período úmido foi o sedimentos de reservatórios artificiais, enquanto no seco foi o controle;
- O material aportado do angico foi mais rico nutricionalmente do que o do eucalipto, porém o aporte de nutrientes da fração folha da serapilheira do eucalipto foi maior do que o do angico;
- A taxa de decomposição da folha de serapilheira do eucalipto foi de 1,5 mg dia⁻¹, sugerindo que o cultivo de eucalipto em sistema de produção de base ecológica, manejado com adubos naturais, a atividade microbiana é intensificada, acelerando a ciclagem de nutrientes;
- O tempo de liberação de nutrientes da fração folha da serapilheira de eucalipto nesse sistema de produção de base ecológica foi de no máximo 33 dias, sugerindo que as deposições foliares se renovem nesse intervalo de tempo, para que o contínuo ciclo de nutrientes seja preservado.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [s.l.], v. 22, n. 6, p.711-728, 1 dez. 2013.
- ALVES, A. R. et al. Nutrientes na biomassa aérea e na serapilheira em áreas de caatinga em Floresta, PE. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 37, n. 92, p.413-420, 29 dez. 2017.
- ARAUJO, E. C. G. et al. Determinação de carbono em amostra vegetal pelo método volumétrico com diferentes volumes de ácido sulfúrico. In: X Simpósio Brasileiro de Pós-Graduação em Ciências Florestais, 13 a 15 de junho de 2018, Natal/PE. **Anais... Natal: X Simpós**, 2018.
- ASHWORTH, A. J. et al. Displacing Inorganic Nitrogen in Ligno cellulosic Feedstock I
- ASSIS, J. M. O. et al. Mapeamento do uso e ocupação do solo no Município de Belém de São Francisco – PE nos anos de 1985 e 2010. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 7, n. 5, p.859-870, dez. 2014.
- BARROS, J. D. S. Contribuições da matéria orgânica do solo para mitigar as emissões agrícolas de gases de efeito estufa. **Polêmica**, v. 12, n. 2, p. 341-351, 2013.
- BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. **Métodos de análises químicas em plantas**. Recife: Imprensa Universitária da UFRPE, 2011. 267p.
- BRÉCHET, L. M. et al. Distinct responses of soil respiration to experimental litter manipulation in temperate woodland and tropical forest. **Ecology and Evolution**, [s.l.], v. 8, n. 7, p.3787-3796, 13 mar. 2018.
- CALDEIRA, M. V. W. et al. Biomassa e nutrientes da serapilheira em diferentes coberturas florestais. **Comunicata Scientiae**, [s.l.], v. 4, n. 2, p.111-119,2013.
- CAPELLESSO, E. S. et al. Effects of forest structure on litter production, soil chemical composition and litter-soil interactions. **Acta Botanica Brasilica**, Viçosa, v. 30, n. 3, p.329-335, 4 jul. 2016.
- CLOUGH, T. et al. A Review of Biochar and Soil Nitrogen Dynamics. **Agronomy**, [s.l.], v. 3, n. 2, p.275-293, 16 abr. 2013.
- CORRÊA NETO, T. A. et al. Aporte de serapilheira em plantios de eucalipto em função da qualidade do sítio. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 34, n. 80, p. 399-406, 2014.
- CORRÊA, R. S.; SCHUMACHER, M. V.; MOMOLLI, D. R. Deposição de serapilheira e macronutrientes em povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden sobre pastagem natural degradada no Bioma Pampa. **Scientia Florestalis**., Piracicaba, v. 41, n. 97, p. 65-74, mar. 2013.
- COSTA, C. C. A. Análise comparativa da produção de serapilheira em fragmentos arbóreos e arbustivos em área de Caatinga na flona de Açu-RN. **Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 2, p.259-265, jun. 2010.

COSTA, G. S.; GAMA-RODRIGUES, A. C. da; CUNHA, G. de M. Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira foliar em povoamentos de *Eucalyptus grandis* no norte fluminense. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 4, p.563-570, ago. 2005.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea: Diagnóstico do município de Belém do São Francisco – PE**. CPRM/PRODEEM, 2005. 33p.

DUTTA, R. K.; AGRAWAL, M. Litterfall, litter decomposition and nutrient release in five exotic plant species planted on coal mine spoils. **Pedobiologia**, [s.l.], v. 45, n. 4, p.298-312, jan. 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

FREITAS, A. D. S. et al. Biological nitrogen fixation in tree legumes of the Brazilian semi-arid caatinga. **Journal of Arid Environments**, [s.l.], v. 74, n. 3, p.344-349, mar. 2010.

FREITAS, E. C. S. et al. Deposição de serapilheira e de nutrientes no solo em sistema agrossilvipastoril com eucalipto e acácia. **Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 3, p. 409-417, jan. 2013.

GAMA-RODRIGUES, A. C. da; BARROS, N. F. de. Ciclagem de nutrientes em floresta natural e em plantios de eucalipto e de dandá no sudeste da Bahia, Brasil. **Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 193-207, jan. 2002.

GUO, L. B.; SIMS, R. E. H. Litter decomposition and nutrient release via litter decomposition in New Zealand eucalypt short rotation forests. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [s.l.], v. 75, n. 1-2, p.133-140, ago. 1999.

GUO, L. B.; SIMS, R. E. H. Eucalypt litter decomposition and nutrient release under a short rotation forest regime and effluent irrigation treatments in New Zealand. **Soil Biology And Biochemistry**, [s.l.], v. 33, n. 10, p.1381-1388, ago. 2001.

HENRIQUES, Í. G. N. et al. Acúmulo, deposição e decomposição de serrapilheira sob a dinâmica vegetacional da Caatinga em Unidade de Conservação. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 11, n. 1, p.84-89, 31 out. 2016.

HOLANDA, A. C. de et al. Aporte de serapilheira e nutrientes em uma área de Caatinga. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 621-633, jun. 2017.

INKOTTE J. et al. Deposição de serapilheira em reflorestamentos de eucalipto e florestas nativas nas regiões Planalto e Oeste do Estado de Santa Catarina. **ScientiaForestalis**. v. 43, n.106, 2015 p.261-270.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Manual técnico da vegetação brasileira. Rio de Janeiro: **IBGE**, 2012.

JARAMILLO-BOTERO, C. et al. Produção de serapilheira e aporte de nutrientes de três espécies arbóreas nativas em um sistema agroflorestal na zona da mata de Minas Gerais. **Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 869-877, jan. 2008.

JORDÁN, A. et al. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. **Catena**, [s.l.], v. 81, n. 1, p.77-85, abr. 2010.

KHATTREE, R.; NAIR, D. N. **Applied multivariate statistics with SAS software**. 2 ed. Cary, NC: SAS Institute, 1999. 340 p.

LUDVICHAK, Aline Aparecida et al. Nutrient return through litterfall in a *Eucalyptus dunnii* Maiden stand in sandy soil. **Revista Árvore**, [s.l.], v. 40, n. 6, p.1041-1048, dez. 2016.

MENEZES, J. B. et al. Índice de vulnerabilidade à erosão para uma bacia na mesorregião do São Francisco Pernambucano, a partir das relações entre morfogênese e pedogênese. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, V. 8, n. 2, p.45-56, 2007.

MENTA C. **Soil fauna diversity: function, soil degradation, biological indices, soil restoration**. In: Lameed GA, editor. Biodiversity conservation and utilization in a diverse world. Rijeka: In Tech; p.59-94.2012.

MOMOLLI, D. R. et al. Decomposição da serapilheira foliar e liberação de nutrientes em *Eucalyptus dunnii* no Bioma Pampa. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 46, n. 118, p.199-208, 1 jun. 2018.

MOREIRA, F. T. de A. **Avaliação de um sistema agroflorestal na região de Itaparica, semiárido pernambucano**. 2018. 100 p. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Florestais, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2018.

OLSON, J. S. Energy Storage and the Balance of Producers and Decomposers in Ecological Systems. **Ecology**, [s.l.], v. 44, n. 2, p.322-331, abr. 1963.

PAES, F. A. S. V. et al. Impacto do manejo dos resíduos da colheita, do preparo do solo e da adubação na produtividade de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p.1081-1090, jan. 2013.

PINTO, H. C. A. et al. Decomposição da serapilheira foliar de floresta nativa e plantios de *Pterogyne nitens* e *Eucalyptus urophylla* no sudoeste da Bahia. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 4, p.1141-1153, out/dez. 2016.

PRIMO, A. A. et al. Potencial fertilizante da serapilheira de espécies lenhosas da Caatinga na recuperação de um solo degradado. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 65, n. 1, p.74-84, fev. 2018.

SANTOS, R. C. dos. **Avaliação nutricional e de crescimento inicial em altura de espécies arbóreas em Sistemas Agroflorestais na região de Itaparica, semiárido Pernambucano**. 2016. 97 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Florestais, Ciência Florestal, UFRPE, Recife, 2016.

- SCHUMACHER, M. V. et al. Produção de serapilheira em uma floresta de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze no município de Pinhal Grande-RS. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 1, 2004, p. 29-37.
- SCHUMACHER, M. V.; POGGIANI, F. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus storelliana* F. Muell, plantados em Anhembi - SP. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 3, n. 1, p. 21-34, 1993.
- SELLE, G. L. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. **Bioscience Journal**; v. 23, n.4: p. 29-39.2007.
- SHANKS, R. E.; OLSON, J. S.. First-Year Breakdown of Leaf Litter in Southern Appalachian Forests. **Science**, [s.l.], v. 134, n. 3473, p.194-195, 21 jul. 1961.
- SILVA, B. E. C.; SILVA, M. R. J.; MEDINA, E. F. Aporte e decomposição de serapilheira em área pós-mineração em processo de recuperação com espécies florestais. **Revista Agroambiental**, Pouso Alegre, v. 10, n. 2, p. 35-45, abr./jun 2018.
- SILVA, E. F. da et al. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p.1321-1331, out. 2011.
- SILVA, F. C. da. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 627p.
- SOUTO, P. C. et al. Características químicas da serapilheira depositada em área de caatinga. **Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 1, p. 264-272, jan. 2009.
- SOUTO, P. C. et al. Taxa de decomposição da serapilheira e atividade microbiana em área de caatinga. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 4, p.559-565, out/Nov 2013.
- TIECHER, Tales (Org.). **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no Sul do Brasil: Práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água**. Porto Alegre: UFRGS, 2016. 186 p.
- URBANO, C. N. et al. Aporte de serapilheira e nutrientes ao solo em povoamentos jovens de *Eucalyptus* no planalto catarinense. **Ecologia e Nutrição Florestal**, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 33-44, maio. 2018.
- VIEIRA, M.; SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Biomassa e exportação de nutrientes pela colheita do eucalipto. In: SCHUMACHER, M. V.; VIEIRA, M. (Org.). **Silvicultura do eucalipto no Brasil**. Santa Maria: UFSM, 2015. p. 245-272.
- VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; ARAÚJO, E. F.. Disponibilização de nutrientes via decomposição da serapilheira foliar em um plantio de *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus globulus*. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 3, p.307-315, 1 ago. 2014.
- VIERA, M. et al. Deposição de serapilheira e nutrientes em plantio de *Eucalyptus urophylla* × *E. globulus*. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 3, p.327-338, 29 jul. 2014.

VILLA, E. B. et al. Aporte de Serapilheira e Nutrientes em Área de Restauração Florestal com Diferentes Espaçamentos de Plantio. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 1, p.90-99, 19 fev. 2016.

ZAIA, F. C.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Ciclagem e balanço de nutrientes em Povoamentos de eucalipto na região Norte fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 5, p.843-852, 2004.

CONCLUSÕES GERAIS

Na avaliação do aporte e decomposição de serapilheira de plantios florestais puros, na região de Itaparica, Pernambuco, foi possível verificar que os teores de K^+ e P do solo foram influenciados pelos adubos e o biocarvão elevou o teor de C do solo, onde o resíduo de tanques de piscicultura apareceu como melhor tratamento para os teores de P, K e Mg, seguido de sedimento de reservatório artificial e do biocarvão. Os adubos se mostraram eficientes na elevação da fertilidade do solo, sendo indicados como fonte de nutrientes de baixo custo.

O aporte de serapilheira do eucalipto foi maior do que o do angico, porém ambos foram influenciados pela precipitação pluviométrica, em que as maiores deposições ocorreram nos períodos secos do ano. A aplicação de biocarvão reduziu a deposição de serapilheira do eucalipto e não teve efeito no angico e este tratamento apresentou os menores aportes para todos os elementos nos dois períodos avaliados.

No que diz respeito ao teor de nutrientes do material senescente, o tratamento que mais contribuiu no período seco foi o resíduo de tanques de piscicultura e no úmido o sedimento de reservatórios artificiais. Para o aporte tratamento que mais contribuiu no período úmido foi o sedimentos de reservatórios artificiais, enquanto no seco foi o controle.

A taxa de decomposição da folha de serapilheira do eucalipto foi de 1,5 mg dia⁻¹, sugerindo que o cultivo de eucalipto em sistema de produção de base ecológica, manejado com adubos, a atividade microbiana é intensificada, acelerando a ciclagem de nutrientes. O tempo de liberação de nutrientes da fração folha da serapilheira de eucalipto nesse sistema de produção de base ecológica foi de no máximo 33 dias, sugerindo que as deposições foliares se renovem nesse intervalo de tempo, para que o contínuo ciclo de nutrientes seja preservado.