

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – UFPE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENERGIA NUCLEAR  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS  
ENERGÉTICAS E NUCLEARES**

**CICLAGEM DE BIOMASSA E NUTRIENTES EM ESTÁDIOS  
SUCESSIONAIS DE CAATINGA**

**PATRÍCIA MAIA DE MOURA**

**RECIFE – PERNAMBUCO – BRASIL  
DEZEMBRO - 2010**

**PATRÍCIA MAIA DE MOURA**

**CICLAGEM DE BIOMASSA E NUTRIENTES EM ESTÁDIOS  
SUCESSIONAIS DE CAATINGA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares – PROTEN. Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco, como parte das exigências para obtenção do título de doutor.

ORIENTADOR: Prof. Dr. RÔMULO SIMÕES CEZAR MENEZES

CO-ORIENTADOR: Prof.Dr. EVERARDO VALADARES DE SÁ BARRETTO SAMPAIO

RECIFE – PERNAMBUCO – BRASIL

DEZEMBRO – 2010

M929c Moura, Patrícia Maia de.  
Ciclagem de biomassa e nutrientes em estádios sucessionais de caatinga  
/ Patrícia Maia de Moura. - Recife: O Autor, 2010.  
99 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes.

Co-Orientador: Prof. Dr. Everardo Valadares de Sá Barreto Sampaio.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.  
Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares,  
2010.

Inclui Referências Bibliográficas.

1. Energia Nuclear. 2. Decomposição de Serapilheira. 3. Retranslocação  
de Nutrientes. 4. Ciclagem Biogeoquímica. 5. Região Semiárida.. I. Título.

UFPE

621.4837 CDD (22. ed.)

BCTG/2011-040

# CICLAGEM DE BIOMASSA E NUTRIENTES EM ESTÁDIOS SUCCESIONAIS DE CAATINGA

Patrícia Maia de Moura

APROVADA EM: 13.12.2010

ORIENTADOR: Prof. Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes

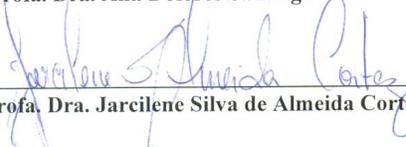
CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. Everardo Valadares de Sá Barreto Sampaio

COMISSÃO EXAMINADORA:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Rômulo Simões Cezar de Menezes – DEN/UFPE

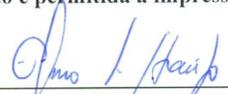
  
\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Izabel Cristina de Luna Galindo – DA/UFPE

  
\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Ana Dolores Santiago de Freitas – DA/UFPE

  
\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Jarcilene Silva de Almeida Cortez – DB/UFPE

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira – DEF/UFPE

Visto e permitida a impressão

  
\_\_\_\_\_  
Coordenador do PROTEN/DEN/UFPE

A DEUS, criador de tudo;  
Agradeço

Ao meu pai **José Rivadávia de Moura,**  
A minha mãe **Maria Inês,**

A minha segunda mãe, vovó **Severina Gurgel**  
e as minhas queridas irmãs **Priscyla, Pollyana ,Vanessa e**  
**Paulinha.**

**Ofereço.**

## **AGRADECIMENTOS**

Misteriosas são as razões que nos levam ao caminho árduo e tortuoso da busca do conhecimento. Mais insondáveis ainda são as razões que levam pessoas ao nosso redor a nos apoiarem e estimularem nesta escolha. Gostaria de agradecer a todos que facilitaram e conspiraram para que essa tese fosse realizada e que neste intento tornaram este caminho mais prazeroso.

De início gostaria de agradecer ao meu estimado orientador Professor Rômulo Menezes por todos os ensinamentos, por manter em si sempre aceso o desejo da descoberta e ser um grande administrador de situações adversas.

Ao estimado Professor Everardo Sampaio, pela paciência constante ao longo do trabalho, pelos conselhos pessoais e profissionais que levarei pelo resto de minha vida e por me ajudar a estudar as plantas de caatinga e ter o prazer de descobrir o quão fascinantes elas são.

A querida Sonia Lopes por ser um grande exemplo de pesquisadora e pelos preciosos conselhos ao longo da minha jornada acadêmica.

Ao Programa de Pós-graduação do Departamento de Energia Nuclear (DEN) da UFPE e ao seu corpo docente, pela oportunidade oferecida durante este período de forte assimilação de conhecimento científico.

A CAPES pela bolsa de doutorado e ao apoio financeiro do projeto Tropi- Dry na viabilização dos experimentos.

A professora Jarcilene Cortez e ao professor Gilberto Rodrigues pelas sugestões construtivas ao longo do trabalho.

Ao proprietário da Fazenda Tamanduá, o Dr. Pierre Landolt por permitir o desenvolvimento da pesquisa em sua propriedade, além de apoio logístico em toda a execução do trabalho.

Aos funcionários da Fazenda Tamanduá, Roberto, Célia, Silvania e, principalmente o Manoel que sempre nos receberam com carinho, viabilizando a execução dos trabalhos;

Aos mais que estagiários e sim grandes amigos de trabalho Leilinha, Renan e Joab. Dividir com eles o prazer dessa grande jornada foi inestimável.

As minhas grandes amigas de república, Clau, Gláucia (xuxu) pelo carinho incondicional e em especial minha irmã de coração Cinthia Marques, por sempre externar a palavra serena na hora que não dá para ser serena.

A todos que fazem parte do laboratório de Fertilidade do Solo/Radioagronomia (DEN/UFPE), aos funcionários: Gilberto, Pedrinho, Claudenice e Magali; aos alunos Priscila, Laerte, Walane, Rafael, Tiago e em especial ao amigo Leonardo Souza, por compartilhar comigo as “infinitas e divertidas” viagens a Patos, com histórias que vão ficar marcadas para sempre em minha memória. A todos os estagiários pelos bons momentos compartilhados.

Por fim, agradeço a todos que ajudaram de forma direta ou indireta na elaboração deste trabalho.

**OBRIGADA.**

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS .....	ii
RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	iv
1.INTRODUÇÃO.....	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1. Ciclagem de nutrientes.....	18
2.2. Ciclagem de nutrientes no sistema solo - planta em florestas.....	19
2.3. Ciclagem de nutriente via deposição de serapilheira em florestas.....	21
2.4. Ciclagem de nutrientes no sistema solo - planta em áreas de caatinga.....	23
2.5. Ciclagem de nutrientes via deposição de serapilheira em áreas de caatinga .....	26
2.6. Retranslocação de nutrientes.....	29
2.7. Decomposição de serapilheira.....	33
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	35
3.1. Área de estudo em comum dos experimentos.....	35
3.2. Flora das áreas de estudo.....	36
3.3. Caracterização de solo comum aos três experimentos .....	38
3.4. Implementação do experimento 1 .....	39
3.5. Implementação do experimento 2.....	41
3.6. Implementação do experimento 3.....	45
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
4.1. Experimento 1.....	46
4.2. Experimento 2.....	55
4.3. Experimento 3.....	61
5. CONCLUSÕES .....	71
5.1. Experimento 1.....	71
5.2. Experimento 2.....	72
5.3. Experimento 3.....	72
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74

## LISTA DE FIGURAS

Nº	Título	
1	Modelo conceitual dos compartimentos e fluxos de entradas, saídas e reciclagem de nutrientes e água em agroecossistemas não-irrigados na região semi-árida do NE do Brasil.	25
2	Precipitação média mensal, em Santa Terezinha, PB, (Dados da Fazenda Tamanduá, 2010).	36
3	Pasto - áreas usadas como pastos para o gado antes do começo do experimento.	39
4	Estádio inicial - áreas usadas para plantio de algodão e depois como pasto para o gado, durante cerca de 10 anos e que foram deixadas em regeneração natural 10 a 15 anos antes do início do experimento.	39
5	Estádio intermediário - áreas usadas originalmente para plantio de algodão e que foram deixadas em regeneração natural 20 a 25 anos antes do início do experimento.	40
6	Estádio final ou vegetação madura, com mais de 50 anos sem corte raso ou perturbações antrópicas de maior porte.	40
7	Precipitação média mensal, de dezembro de 2008 a 2009, na Fazenda Tamanduá, Santa Terezinha, PB.	42
8	Deposição mensal de serapilheira em distintos estádios sucessionais de caatinga, em Santa Terezinha, PB.	48
9	Deposição média mensal da fração folhas em distintos estádios sucessionais de caatinga.	50
10	Deposição média mensal da fração de galhos em distintos estádios sucessionais de caatinga.	51
11	Deposição média mensal da fração de miscelânea em distintos estádios sucessionais de caatinga.	52
12	Concentração média de potássio na fração de miscelânea em distintos estádios sucessionais de caatinga.	54
13	Concentrações de nitrogênio, potássio e fósforo, em folhas verdes expandidas (barras brancas) e folhas senescentes (barras cinza) de 11 espécies arbóreas da caatinga.	56
14	Correlação entre os teores de N e de P em folhas verdes de 11 espécies de caatinga.	57
15	Massa foliar remanescente (%), por um período de 360 dias, em área de caatinga madura.	64
16	Conteúdo de nitrogênio remanescente (%), por um período de 360 dias, em área de caatinga madura.	68
17	Conteúdo de fósforo remanescente (%), por um período de 360 dias, em	69

área de caatinga madura.

- 18 Conteúdo de potássio remanescente (%), por um período de 360 dias, em 70  
área de caatinga madura.

## LISTA DE TABELAS

Nº	Título	
1	Espécies arbustivas e arbóreas representadas, em cada estágio sucessional, por indivíduos com mais de 3 cm de diâmetro de caule a altura do peito (1,3 m), na caatinga, Santa Terezinha, PB.	37
2	Características químicas e físicas do solo do estágio sucessional de caatinga, Patos, PB.	38
3	Descrição das espécies arbóreas de caatinga selecionadas para o estudo de retranslocação de nutrientes, em Santa Terezinha, PB, Brasil.	44
4	Totais anuais e por fração das deposições de serapilheira, em diferentes estádios de caatinga (kg/ha), em Santa Terezinha, PB.	47
5	Proporção da deposição das frações em relação à biomassa total de serapilheira, em diferentes estádios de caatinga, em Santa Terezinha, PB	50
6	Concentração média de nutrientes em frações de serapilheira, em diferentes estádios sucessionais de caatinga, em Santa Terezinha, PB.	53
7	Conteúdo médio de nutrientes nas frações da serapilheira nos diferentes estádios de caatinga no semi-árido da Paraíba.	54
8	Eficiência de retranslocação de nitrogênio, fósforo e potássio em espécies arbóreas da caatinga.	58
9	Eficiência de uso de nitrogênio, fósforo e potássio em espécies arbóreas da caatinga.	60
10	Massa seca decomposta das folhas e conteúdos perdidos de N, P e K, até o final ao longo de um período de 360 dias em áreas de caatinga madura.	62
11	Constante de decomposição foliar estimada para espécies de áreas de caatinga madura no período de um ano.	63
12	Teores de nitrogênio, fósforo e potássio em folhas de espécies de caatinga antes e após 360 dias de decomposição, em campo	65
13	Porcentagem de lignina na massa seca das folhas das espécies estudadas em áreas de caatinga madura.	66

# CICLAGEM DE BIOMASSA E NUTRIENTES EM ESTÁDIOS SUCESSIONAIS DE CAATINGA

**Autor:** Patrícia Maia de Moura

**Orientador:** Prof. Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes

## RESUMO

Estudos sobre a ciclagem de biomassa e nutrientes são importantes para a melhor compreensão do funcionamento dos ecossistemas e, conseqüentemente, para o desenvolvimento de estratégias de preservação dos sistemas naturais. Em uma comunidade vegetal o compartimento formado pela serapilheira e pelo solo é o sítio das principais etapas da ciclagem de nutrientes, mas a dinâmica da ciclagem pode variar fortemente entre as espécies ou entre diferentes estádios sucessionais da vegetação. Espécies capazes de conservar e utilizar mais eficientemente os nutrientes mais limitantes no ecossistema podem ter vantagens competitivas sobre as demais. Entretanto, informações sobre esse tema ainda são escassas na literatura sobre a caatinga. Sendo assim, este trabalho teve como objetivos: (1) quantificar, ao longo de um período de dois anos, a produção anual de serapilheira e o fluxo de nutrientes em quatro diferentes estádios sucessionais de caatinga; (2) estudar os mecanismos de retranslocação e eficiência de uso de nutrientes (N, P, e K) das espécies arbóreas dominantes; e (3) caracterizar a decomposição e a liberação de nutrientes das folhas das principais espécies arbóreas em áreas de caatinga no Sertão paraibano. O estudo foi conduzido na Fazenda Tamanduá, em Santa Terezinha, PB, onde foram selecionadas áreas de caatinga em quatro diferentes estádios sucessionais denominados como: pasto (P), estágio inicial (E), intermediário (I) e final (L). Nestes diferentes estádios foi quantificada a produção de serapilheira e o fluxo de nutrientes via serapilheira ao longo de 2 anos. No estágio final, foi instalado um segundo experimento para estudar a retranslocação de nutrientes de onze espécies arbóreas: *Aspidosperma pyrifolium* (pereiro); *Commiphora leptophloeos* (umburana); *Combretum leprosum* (mofumbo); *Capparis cynophallophora* (feijão bravo); *Erythroxylum pungens* (Ameixa); *Croton sonderianus* (marmeleiro); *Jatropha phyllacanta* (faveleira); *Adenantha colubrina* (angico); *Caesalpinia pyramidalis* (catingueira); *Amburana cearensis* (cumarú); e *Piptadenia stipulacea* (jurema branca). Um terceiro experimento foi instalado para avaliar, com o uso de bolsas de decomposição, as perdas de massa e nutrientes das folhas das principais espécies arbóreas ao longo de um período de 360 dias. A produção de serapilheira total apresentou modelo sazonal, com os maiores valores no período de seca. A deposição anual de serapilheira no pasto foi menor que nas outras áreas, tanto no primeiro ano ( $275 \text{ kg ha}^{-1}$ ) quanto no segundo ( $812 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Os demais estádios sucessionais não diferiram significativamente, tanto no primeiro (inicial,  $1700 \text{ kg ha}^{-1}$ ; intermediário,  $1984 \text{ kg ha}^{-1}$ ; e final,  $1902 \text{ kg ha}^{-1}$ ) ou no segundo ano (inicial,  $3838 \text{ kg ha}^{-1}$ ; intermediário,  $2921 \text{ kg ha}^{-1}$ ; e final,  $2161 \text{ kg ha}^{-1}$ ). A fração foliar predominou em todos os estádios, variando entre 33 e 71% da serapilheira total, seguida da fração miscelânea (15 a 62%) e da fração galhos (3 a 17%).

As maiores concentrações de nitrogênio, fósforo e potássio foram encontradas na miscelânea e as menores nos galhos. Entretanto, os maiores conteúdos de nutrientes foram encontrados nas folhas. As maiores concentrações e conteúdos estavam no estágio inicial e as menores no pasto. Os estágios intermediário e final apresentaram aportes de fósforo e potássio semelhantes. Todas as espécies retranslocaram nitrogênio e fósforo mas *A. colubrina*, *C. pyramidalis*, *J. phyllacanta* e *A. pyriformium* não retranslocaram potássio. De forma geral, a retranslocação de nitrogênio foi, em média, maior do que de potássio e de fósforo para as espécies estudadas. *A. cearensis*, *P. stipulacea* e *C. sonderianus* foram as espécies que mais retranslocaram e *C. pyramidalis* e *J. phyllacanta* as que menos retranslocaram nutrientes. O fósforo foi o nutriente com maior eficiência de uso pelas espécies estudadas, enquanto o nitrogênio apresentou as menores eficiências de uso. No ensaio de decomposição, todas as espécies perderam maiores quantidades de nutrientes nos primeiros 60 dias. De modo geral, ao final de um ano, as folhas de *Mimosa tenuiflora* (jurema preta), *C. pyramidalis*, *A. cearensis* e a mistura de folhas de todas as espécies (mix) tiveram maior decomposição (64 a 73%) que as folhas de *C. leprosum* (46%). As perdas de N foram menores que as dos outros nutrientes, tendo *M. tenuiflora* perdido mais N (71%) que as outras espécies (52 a 60%). Todas as espécies perderam muito K (93 a 98%) e um pouco menos de P (81 a 94%). Portanto, todas as espécies ao final de um ano perderam mais da metade dos seus nutrientes iniciais, refletindo uma rápida ciclagem na caatinga, apesar desse ecossistema semiárido ser fortemente limitado pela disponibilidade hídrica. Os resultados do presente estudo ilustraram o comportamento da ciclagem de biomassa e nutrientes nos diferentes estágios de regeneração de caatinga demonstrando que o estágio inicial de caatinga é mais dinâmico que o estágio final. O fósforo, seguido do nitrogênio, são os elementos mais limitantes nos estágios mais avançados de sucessão. As espécies mais dominantes apresentaram diferentes padrões de retranslocação e eficiência de uso de nutrientes, mas em geral não foram observadas correlações significativas entre esses mecanismos e os atributos funcionais e a dominância das diferentes espécies estudadas.

**Palavras-chave:** decomposição de serapilheira, retranslocação de nutrientes, ciclagem biogeoquímica, região semiárida

## ABSTRACT

Studies on biomass and nutrient cycling are important for better understanding ecosystem functioning and, therefore, to develop strategies for conservation of natural systems. In a plant community, the litter compartment is the site of the main processes regarding nutrient cycling, but the dynamics of these processes may vary greatly between species or between different successional stages of vegetation. Species capable of conserving and using more efficiently those nutrients that limit plant growth in the ecosystem may have competitive advantages over other species. However, information on this topic is still scarce in the literature about Caatinga vegetation. Thus, this study aimed to: (1) quantify, over a period of two years, the annual litter biomass production and nutrient deposition in four different successional stages of Caatinga; (2) study the mechanisms of retranslocation and use efficiency of nutrients (N, P and K) of the dominant tree species; and (3) characterize the decomposition and nutrient release from leaves of the main tree species in the Caatinga in the semi-arid region of the state of Paraíba. The study was conducted at the Tamanduá Farm, in Santa Teresa, Paraíba, where areas of four different successional stages of Caatinga were selected, named: pasture (P), early stage (E), intermediate (I) and late (L). In these stages, we quantified litter production and nutrient deposition through litterfall over a period of two years. At the late stage, we installed a second experiment to study the nutrient retranslocation of eleven tree species: *Aspidosperma pyrifolium* (pereiro); *Commiphora leptophloeos* (umburana); *Combretum leprosum* (mofumbo); *Capparis cynophallophora* (feijão bravo); *Erythroxylum pungens* (ameixa); *Croton sonderianus* (marmeleiro); *Jatropha phyllacanta* (faveleira); *Adenanthera colubrina* (angico), *Caesalpinia pyramidalis* (catingueira); *Amburana cearensis* (cumaru) and *Piptadenia stipulacea* (jurema branca). A third experiment was conducted to evaluate, using litterbags, mass and nutrient losses from the leaves of the main tree species over a period of 360 days. The total litter production showed a seasonal pattern with higher values during the dry period. The annual litter in pasture was lower than in other areas, both in the first year (275 kg ha<sup>-1</sup>) and the second (812 kg ha<sup>-1</sup>). The other successional stages did not differ significantly in both the first (initial 1700 kg ha<sup>-1</sup>, intermediate, 1984 kg ha<sup>-1</sup>, and final, 1902 kg ha<sup>-1</sup>) or second year (initial 3838 kg ha<sup>-1</sup>, intermediate, 2921 kg ha<sup>-1</sup>, and final, 2161 kg ha<sup>-1</sup>). The leaf fraction was predominant in all stages varying between 33 and 71% of the total litter mass, followed by the miscellaneous fraction (15-62%) and the branch fraction (3-17%). The highest concentrations of nitrogen, phosphorus and potassium were found in the miscellaneous and branches, but the the highest contents of nutrients were found in the leaves. The highest concentrations and contents were in the initial stage and the lowest in the pasture. The intermediate and final stages showed similar depositions of phosphorus and potassium through litterfall. All species reabsorbed nitrogen and phosphorus but *A. colubrina*, *C. pyramidalis*, *J. phyllacanta* and *A. pyrifolium* did not reabsorbed potassium. The reabsorption of nitrogen was on average higher than that of potassium and phosphorus for the species studied. *A. cearensis*, *P. stipulacea* and *C. sonderianus* were the species that reabsorbed the most, while *C. pyramidalis* and *J. phyllacanta* reabsorbed the least nutrients. Phosphorus was the nutrient most efficiently used by the species studied, while nitrogen was the nutrient with the smallest use efficiency. All species lost greater amounts of mass and nutrients in the first 60 days of decomposition. In general, at the end of one year, the leaves of *Mimosa tenuiflora* (Jurema preta), *C. pyramidalis*, *A. cearensis* and the mixture of

leaves of all species (mix) presented higher decomposition (64-73%) than the leaves of *C. leprosum* (46%). Nitrogen losses were lower than those of other nutrients, and *M. hostilis* lost more N (71%) than the other species (52 to 60%). All species lost most of the K (93 to 98%) and P (81 to 94%). Therefore, all species, at the end of one year, lost more than half of their original nutrients, reflecting a rapid cycling in the caatinga, despite the fact that this semi-arid ecosystem is strongly limited by water availability. The results of this study illustrated the behavior of biomass and nutrient cycling in different stages of caatinga demonstrating that the initial stage of regeneration is more dynamic than the final stage. Phosphorus, followed by nitrogen, are the most limiting elements for plant growth in the late successional stage. The most dominant species showed different patterns of nutrient retranslocation and use efficiency, but in general there were no significant correlations between these mechanisms and the functional attributes and the dominance of the different species.

**Keywords:** litter decomposition, nutrient reabsorption, biogeochemical cycling, semiarid region.

## 1. INTRODUÇÃO

A demanda crescente pelos recursos naturais tem agravado a degradação das terras em todo o planeta, particularmente no Nordeste Brasileiro (Moreira & Targino, 1997). Estudos mostram que uma área de 300.256 Km<sup>2</sup> da região semiárida brasileira já vem sendo seriamente afetada pelo processo de desertificação, gerando impactos que se refletem por diferentes níveis de degradação dos solos, da vegetação e dos recursos hídricos (Lima et al., 2004).

O entendimento das causas e conseqüências das mudanças no uso da terra e seus impactos ambientais através do tempo são fundamentais para a predição de possíveis impactos negativos nos recursos biológicos. Desta forma, abordagens com a combinação de dados físicos e ecológicos em diferentes escalas espaciais e temporais são fundamentais para o objetivo conservacionista. Assim, com o desafio de criar um arcabouço científico capaz de facilitar a manutenção da “saúde” dos ecossistemas e, simultaneamente, reconhecer e melhorar a qualidade de vida humana, teve origem um amplo projeto da Rede de Pesquisa Colaborativa (Collaborative Research Network-CRN) chamada “TROPI-DRY” (Tropical Dry Forests – Florestas Tropicais Secas). A rede TROPI-DRY incorpora pesquisadores do Canadá, Estados Unidos, México, Cuba, Costa Rica, Venezuela, Panamá e Brasil, que tem trabalhado em ecossistemas florestais tropicais decíduais localizados nestes 6 últimos países. Assim, será realizado um esforço contínuo e sistemático para entender, integrar e comparar informações sobre florestas tropicais secas nas Américas em níveis básicos: (1) no contexto da ecologia e biologia da conservação; (2) no contexto do uso da terra e mudanças na cobertura vegetal ocorrendo nesta rica fronteira agrícola. Dentro deste projeto, que engloba o estudo de florestas secas, surgiu a presente proposta de tese .

As florestas tropicais secas do continente americano foram escolhidas como objeto de investigação devido à marcante carência de estudos nestes ecossistemas e à crescente ameaça de degradação ambiental, devido a mudanças na cobertura vegetal (Sánchez-Azofeifa et al, 2005). A definição de florestas tropicais secas do TROPI-DRY é relativamente ampla, se referindo a vegetações tipicamente decíduas (com pelo menos 50% de deciduidade arbórea na estação seca do ano). É importante destacar que uma das formas mais comuns do uso da terra em regiões tropicais é o desmatamento seguido de queimada, para o estabelecimento de

cultivo. Após alguns anos, quando o solo está desgastado, a área é transformada em pastagem e posteriormente abandonada. Um novo ciclo então se inicia com o desmatamento de outra área (Altieri 1998). Nestas áreas abandonadas, a sucessão ecológica promove a regeneração natural da vegetação, através de um processo direcional e contínuo de colonização e extinção de populações de espécies que pode durar centenas de anos (Begon et al. 1996). À medida que a sucessão se processa, ocorrem mudanças graduais nas condições abióticas e na composição e estrutura vegetal, assim como em seus organismos associados (Begon et al. 1996). Desta forma, as florestas tropicais secas normalmente constituem um mosaico de formações vegetais em diferentes estádios sucessionais (Arroyo-Mora et al. 2005).

É importante conhecer melhor a dinâmica do funcionamento das florestas tropicais secas no que diz respeito à ciclagem dos nutrientes, para que se possa não apenas preservar as florestas, como também aplicar técnicas de manejo visando à recomposição de áreas degradadas que, por motivos como o empobrecimento do solo, levaria este sistema a uma recuperação muito lenta e possivelmente à perda de muitas espécies originalmente presentes.

O termo ciclagem de nutrientes é definido como sendo a absorção de elementos do solo e da atmosfera por organismos vivos, envolvendo biossíntese na formação de novos compostos, e o retorno de elementos para o solo e para a atmosfera, com a queda da serapilheira ou com a morte de organismos do ambiente (Bazilevich, 1967 citado por Golley, 1996). Os estudos da produção de serapilheira e do fluxo de nutrientes minerais associados são de fundamental importância para a compreensão da dinâmica dos ecossistemas (Proctor, 1983). São ferramentas indicadoras do grau de fragilidade e do nível de perturbação dos ecossistemas florestais, em face da crescente ocupação destes ambientes naturais pelo homem. Vários fatores bióticos e abióticos afetam a produção de serapilheira, como, latitude, altitude, precipitação, temperatura, características do solo, tipo de vegetação e estágio sucessionais (Lowman, 1988; Figueiredo Filho et al., 2003).

Poucos estudos têm abordado a produção de serapilheira em áreas de caatinga, apesar da sua grande diversidade econômica e ambiental (Dantas, 2003; Santana, 2005; Souto, 2006; Ferreira et al., 2007, Amorim, 2009) e nenhum deles analisou a deposição de serapilheira em diferentes estádios de regeneração. Esta análise é importante porque a caatinga hoje corresponde a um grande mosaico de

vegetação em diferentes estádios, como resultado de seu uso para produção de lenha, como pasto nativo e como parte da agricultura itinerante.

A quantidade de serapilheira e seu conteúdo de nutrientes que são aportados ao solo pelo povoamento irão refletir na sua capacidade produtiva e no seu potencial de recuperação ambiental, tendo em vista as modificações que irão ocorrer nas características físicas do solo e, conseqüentemente, na cadeia alimentar resultante do material orgânico adicionado ao solo (Konig et al., 2002; Schumacher et al., 2004). Portanto, a geração de informações sobre a deposição de serapilheira e análise do seu conteúdo são importantes ferramentas para a compreensão e conservação de florestas, bem como suas inter-relações com o meio. Selle (2007) relatou que, com a remoção das florestas, essas inter-relações são quebradas, acarretando perda da biodiversidade e da fertilidade dos solos.

Vitousek (1984), estudando a serapilheira, ciclagem de nutrientes e as limitações dos nutrientes em florestas tropicais, descreveu que a retranslocação de nutrientes de folhas e tecidos senescentes para outros órgãos em crescimento ou de armazenamento são importantes estratégias na redução da perda de nutrientes, elevando a eficiência no uso do mesmo na planta, no entanto em áreas de caatinga não existem estudos de retranslocação de nutrientes das espécies arbóreas decíduas que compõem a vegetação da caatinga.

Os solos da região semi-árida do Nordeste do Brasil são, em geral, limitados quanto à disponibilidade de nitrogênio e fósforo (Sampaio et al., 1994), é possível que as espécies arbóreas predominantes sejam capazes de utilizar esses elementos de forma mais eficiente como estratégia de sobrevivência. De forma análoga, essas espécies não devem necessariamente ter mecanismos de reaproveitamento de outros elementos mais abundantes nos solos da região, como o potássio, por exemplo. Porém, também não há ainda informações disponíveis sobre os mecanismos de conservação de nutrientes que limitam o crescimento e desenvolvimento das espécies arbóreas da caatinga.

Um dos processos mais importantes da ciclagem de nutrientes em ecossistemas terrestres é o processo de decomposição (Montagnini & Jordan, 2002), definido como a desintegração gradual de organismos mortos até que sua estrutura não possa mais ser reconhecida e moléculas orgânicas complexas sejam fragmentadas em dióxido de carbono, água e componentes minerais (Mason, 1980). Além de regular a disponibilidade de nutrientes para as plantas, a decomposição

avançada da serapilheira forma o húmus, matéria orgânica escurecida, homogênea e rica em nitrogênio e polifenóis. Sendo assim, a decomposição representa um processo chave na manutenção da fertilidade do solo (Silver & Miya, 2001) e um dos fatores limitantes no estabelecimento e desenvolvimento de ecossistemas florestais (Vitousek & Sanford, 1986).

Sampaio & Silva (1996), comentando a falta de conhecimentos sobre a caatinga, afirmaram que existem informações de biomassas da vegetação, da produtividade de herbáceas e de relação entre solo e vegetação, mas, por outro lado, inexistem dados de queda de serapilheira, decomposição, circulação e retranslocação de nutrientes em diversos estádios sucessionais de caatinga. Estudos para gerar essas informações podem melhorar o entendimento sobre a dinâmica dos nutrientes em áreas de caatinga. Essas informações podem ser de particular importância em áreas de regeneração da vegetação, onde pode haver limitação de nutrientes e outros recursos o que, por sua vez, pode limitar a assimilação de nutrientes e recuperação da vegetação.

Assim, o presente trabalho é composto das seguintes hipóteses:

Hipótese 1): no começo da regeneração a densidade das arbóreas e a produção de biomassa e serapilheira são baixas e vão aumentando com o tempo até atingir um ápice. Depois, as densidades caem, mas a biomassa se estabiliza e a produção de serapilheira reduz, permanecendo relativamente estável na vegetação madura; Hipóteses 2 e 3): espera-se que plantas decíduas tenham diferentes retranslocações e decomposições de massa foliar, como também tenham diferentes perdas de nitrogênio, fósforo e potássio; e Hipótese (4): a eficiência de retranslocação de nitrogênio e fósforo das folhas senescentes pode aumentar a vantagem competitiva e a dominância das espécies no ecossistema.

Diante das hipóteses descritas, os objetivos do presente estudo foram: 1) quantificar, ao longo de um período de dois anos, a produção anual e o fluxo de nutrientes na serapilheira em quatro diferentes estádios sucessionais de caatinga; 2) medir a retranslocação e a eficiência de uso de N, P e K de espécies arbóreas em uma área de caatinga madura; 3) caracterizar a decomposição e a liberação de nutrientes das folhas de espécies da caatinga.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Ciclagem de nutrientes**

A ciclagem de nutrientes engloba as trocas de elementos minerais entre os seres vivos e o ambiente que os envolve. Os modelos conceituais que descrevem esses processos de troca de nutrientes são complexos e, invariavelmente, envolvem três sistemas fundamentais de movimentação de nutrientes: planta, animal e solo. Os compartimentos e/ou sistemas inorgânico e ou orgânico são interligados nesses processos de movimentação.

Os organismos fotossintetizantes sintetizam a biomassa a partir de nutrientes inorgânicos dissolvidos, de dióxido de carbono e da captação de energia solar. Esta matéria orgânica é consumida pelos animais formando a base de uma cadeia alimentar. A matéria orgânica morta de origem vegetal e animal é decomposta pela macrofauna, mesofauna, microfauna e por microrganismos, tanto no solo como na água e nos sedimentos, e os nutrientes mineralizados tornam-se novamente disponíveis no ambiente, passíveis, portanto, de serem utilizados novamente na reação de fotossíntese. O tempo de permanência dos elementos em cada compartimento é bastante variável (Clevelário Jr., 1996). Dan (1999), estudando a ciclagem de nutrientes relatou que estes às vezes reciclam rapidamente através do ecossistema, entrando e saindo das plantas em poucas horas ou dias e que as substâncias podem também ser recicladas em ciclos de longa duração, que levam milhões de anos antes de um átomo em um organismo entrar no corpo de outro. Portanto, dependendo de suas propriedades e seu papel no organismo vivo, cada elemento tem diferentes tempos de reciclagem no sistema.

Switzer & Nelson (1972) reconhecem a existência de três ciclos de nutrientes que circulam no sistema florestal: o geoquímico, que envolve os processos de entrada e saída de nutrientes no ecossistema; o biogeoquímico, que consiste dos processos de transferência de nutrientes dentro do sistema solo-planta; e o bioquímico que se refere a retranslocação de nutrientes dentro da planta. De acordo com Pritchett (1979), o geoquímico é um ciclo externo (aberto) e os ciclos biogeoquímicos e bioquímicos são internos (fechados); o referido autor agrupa os ciclos biogeoquímicos e bioquímicos em um único ciclo, o qual chama de biológico.

No ciclo geoquímico as principais entradas de nutrientes ocorrem via intemperismo, adições atmosféricas (chuva, poeira e partículas), fixação biológica de nitrogênio e fertilização (orgânica e mineral). A saída de nutrientes ocorre via lixiviação, fixação pela fase mineral do solo, escoamento superficial, erosão, desnitrificação, volatilização (por queima de resíduos) e colheita (produtos ou serapilheira acumulada). O ciclo biogeoquímico inicia-se com o processo de absorção e acúmulo do nutriente na biomassa, sua alocação nos diferentes componentes da planta, transferência do elemento para o solo via produção de serapilheira, lixiviação de partes da planta e renovação de raízes, incorporação do mesmo no solo mediante a decomposição e lixiviação da serapilheira acumulada e termina com a reabsorção do nutriente pela planta. O ciclo bioquímico envolve a translocação de nutrientes de tecidos velhos para tecidos novos da planta. Ele é, por conseguinte, importante para nutrientes de maior mobilidade dentro da planta como o nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio e de menor significado para cálcio, enxofre e os micronutrientes de modo geral, que têm retranslocação bem menor (Reis & Barros, 1990).

Para Neves (1999), o ciclo bioquímico inclui a recuperação dos nutrientes dos órgãos senescentes, especialmente das folhas, antes de sofrerem abscisão. Ou seja, refere-se ao mecanismo de ciclagem e redistribuição dos nutrientes dentro das plantas. A intensidade do ciclo bioquímico aumenta quando a demanda de nutrientes para a produção de biomassa é maior do que a capacidade de suprimento do solo.

É importante relatar que taxa de ciclagem de nutrientes depende de vários fatores, como da origem química do elemento, ou seja, se o elemento está no solo ou atmosfera; da eficiência do processo biológico e do meio, com relação à disponibilidade de água; velocidade da atividade biológica, estrutura e população das comunidades dos diversos organismos. Através do estudo da ciclagem pode-se obter informações sobre a distribuição de elementos no sistema e inferir sobre os fluxos entre os compartimentos (Jordan, 1985; Golley, 1996; Jara et al, 2009).

## **2.2. Ciclagem de nutrientes no sistema solo - planta em florestas**

A ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais, plantados ou naturais, tem sido amplamente estudada com o intuito de se obter maior conhecimento da dinâmica dos nutrientes nestes ambientes, não só para o entendimento do

funcionamento dos ecossistemas, mas também buscando informações para o estabelecimento de práticas de manejo florestal para recuperação de áreas degradadas e manutenção da produtividade de sítios degradados em recuperação (Souza & Davide, 2001). O conhecimento das taxas de entrada, saída e translocação no ecossistema florestal de cada elemento químico é necessário para o suprimento adequado de nutrientes via adubação (Haag, 1985).

As florestas, em grande parte, estão estabelecidas em solos pobres em nutrientes minerais, o que torna sua manutenção dependente dos ciclos geoquímico, bioquímico e biogeoquímico. Jordan (1982), estudando as entradas de nutrientes para o ecossistema da floresta amazônica, observou que estas são bem limitadas. A quantidade liberada do solo é quase zero, em virtude desses solos terem sido lixiviados por longos períodos e também porque sua própria formação sedimentar fornece material originário quimicamente muito pobre, do qual elementos nutritivos não podem ser liberados através do intemperismo.

Os elementos estão permanentemente circulando entre os compartimentos bióticos e abióticos nos ecossistemas. Os nutrientes no processo de ciclagem passam do meio biótico para o abiótico e vice-versa, sendo esse processo denominado de equilíbrio dinâmico. Com a remoção da floresta esse ciclo é quebrado, alterando a qualidade e a quantidade de matéria orgânica do solo. Com isso ocorre uma diminuição da atividade da biomassa microbiana, principal responsável pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia dentro do solo, e que exerce influência tanto na transformação da matéria orgânica como na estocagem do carbono e minerais, ou seja, na liberação e na imobilização de nutrientes (Selle, 2007).

Uma grande atenção tem sido dada às propriedades químicas das camadas de húmus e horizontes minerais-orgânicos de solos florestais, onde a matéria orgânica acumulada é mineralizada e humificada. A capacidade tampão desses horizontes determina, muitas vezes, a ciclagem de nutrientes de todo o ecossistema. O movimento de água, a maior atividade da macrofouna, mesofouna, microrganismos e a ampla distribuição de raízes no solo entre os horizontes superiores, húmus e serapilheira faz com que esses se tornem compartimentos importantes para a ciclagem, na qual os nutrientes se encontram em fluxos mais intensos que em outros compartimentos (Brey Meyer et al., 1997).

O estudo dos processos que regulam as atividades do solo em ecossistemas naturais pode fornecer importantes informações sobre opções de manejo que mantenham a sua fertilidade em áreas de plantio. Sabe-se que as plantações florestais de rápido crescimento translocam intensamente os nutrientes contidos no solo para a fitomassa arbórea e para a serapilheira (Vieira, 1998).

### **2.3. Ciclagem de nutrientes via deposição de serapilheira em florestas**

Os termos "littera" e "serapilheira" são sinônimos e significam de acordo com Dantas (1986), a deposição de folhas, flores, frutos e ramos finos sobre o solo. A camada de serapilheira ainda pode conter restos de animais. A queda de serapilheira tem sido estudada por muitos pesquisadores com o objetivo de estimar a produtividade primária bruta de um ecossistema, de avaliar o funcionamento de um ecossistema através do fluxo de energia e da ciclagem de nutrientes, bem como de caracterizar um ecossistema de acordo com a fenologia da comunidade vegetal ou sua fisiologia (Dantas,1986). É importante relatar que a maior parte dos nutrientes absorvidos pelas árvores retorna ao solo pela queda da serapilheira e lavagem foliar. Sobre a serapilheira atua uma cadeia trófica detritívora de fungos, bactérias e animais, cuja ação vai causar a liberação dos elementos minerais. A porcentagem de restituição varia com espécie, local e idade.

A serapilheira representa um dos vários compartimentos pelos quais os nutrientes passam, através do processo de ciclagem de nutrientes. À medida que as folhas, galhos e raízes vão sendo incorporados à serapilheira e sofrem o processo de decomposição, ocorre liberação desses nutrientes ao solo e, conseqüentemente, disponibilização para as plantas. Dessa forma, a quantificação dos nutrientes da biomassa, bem como o padrão de sua ciclagem, permitem avaliar a magnitude dos reflexos causados pela intervenção antrópica ou por fenômenos naturais ocorridos no ecossistema, tornando possível, por meio de estudos de ciclagem de nutrientes, a quantificação das saídas ou perdas de nutrientes (Oki, 2002).

As serapilheiras amostradas em diferentes florestas do mundo, em geral, são compostas de 60 a 80% por folhas, de 1 a 15% por frutos, de 12 a 15% por ramos e de 1 a 25% por cascas de árvores (Bray & Gorham, 1964). Resultados semelhantes em fragmento de mata atlântica na floresta nacional de Nísia Floresta- RN, foram obtidos por Santana et al (2009), que observou na composição da serapilheira

acumulada que a fração folha foi a de maior contribuição em todas as tipologias, destacando-se no povoamento de *Caesalpinia ferrea* (73%) e de *Mimosa caesalpiniiifolia* (69%). O maior percentual da fração galho mais casca (32%) foi observado no povoamento de *Parkia pendula*.

O compartimento formado pela serapilheira e pelo solo é o sítio de todas as etapas da decomposição da matéria orgânica e da ciclagem de nutrientes. A vegetação é a principal responsável pela variabilidade horizontal da serapilheira, ou seja, quanto mais diversa for a comunidade vegetal, mais heterogênea será a serapilheira (Correia & Andrade, 1999). Ainda neste contexto a serapilheira é a porção mais dinâmica desse conjunto e, possivelmente, a mais variável não só entre ecossistemas, mas também dentro de um mesmo ecossistema (Correia & Andrade, 1999).

Vários fatores afetam a quantidade de resíduos que irão formar a serapilheira, entre eles destacam-se: o clima, o solo, as características genéticas das plantas, a idade e a densidade de plantas. Em escala mais ampla, a produtividade vegetal é determinada pela distribuição de chuvas, que exerce forte influência sobre a disponibilidade de água no solo e, por conseguinte, sobre a disponibilidade de nutrientes (Correia & Andrade, 1999). Com relação a quantidade de nutrientes na serapilheira, a mesma depende da espécie, do tamanho e tipo das folhas em relação aos demais componentes, da capacidade de translocação do nutriente antes da senescência, bem como do tipo de solo (Schumacher, 1992).

Sua importância aumenta quando estudada em ecossistemas florestais tropicais na região amazônica, devido ser responsável por grande parte da liberação de nutrientes para as plantas. Parece haver maior concentração de nutrientes na liteira da capoeira do que na floresta primária, apesar daquela apresentar conteúdo de nutrientes considerado baixo (Dantas, 1986). No entanto, parece haver uma certa superioridade no conteúdo e concentração de nutrientes contidos na liteira dos SAFs – Sistemas Agroflorestais, em relação à liteira da capoeira (Luizão et al., 2000). Após análise dos trabalhos citados anteriormente pode-se observar uma concentração maior de nutrientes (principalmente macronutrientes) na liteira dos SAFs em relação às liteiras da capoeira e floresta primária. A adubação que ocorre nos SAFs em função das exigências das espécies que o compõem, certamente é um dos motivos que contribui para a maior riqueza de nutrientes na liteira destes. A tendência de concentração de nutrientes na serapilheira de sistemas florestais

naturais é bastante similar ao de florestas implantadas, ou seja, o nitrogênio é o nutriente em maior concentração, seguido pelo cálcio, potássio, magnésio e fósforo (Haag, 1985).

De acordo Luizão & Schubart (1986), a principal rota de ciclagem dos nutrientes da floresta amazônica se dá através da decomposição da liteira, cuja velocidade depende principalmente da época do ano. Na estação seca a decomposição é mais lenta, e ocorre acúmulo de matéria orgânica, enquanto que na estação chuvosa a decomposição é mais rápida. Outros fatores que influenciam na velocidade da decomposição são: natureza da matéria orgânica, pH do solo, natureza da fração mineral, umidade, e acessibilidade dos decompositores.

Zhao et al (2009) estudando as variações sazonais nas frações de fósforo em solos do semi-árido da China sob diferentes tipos de vegetação observaram que a decomposição de serapilheira contribuiu como principal fator na disponibilidade de nutrientes no solo, principalmente de P, evidenciando assim a importância que o compartimento serapilheira exerce na reciclagem de nutrientes no solo.

#### **2.4. Ciclagem de nutrientes no sistema solo - planta em áreas de caatinga**

De acordo com Sampaio et al. (1996) as informações sobre ciclagem de nutrientes nas diversas formações vegetais nordestinas são poucas e mal distribuídas, sendo quase todas concentradas principalmente em matas. As poucas pesquisas específicas sobre ciclagem foram dirigidas pela Universidade Federal Rural de Pernambuco, em colaboração com o Mestrado em Botânica da Universidade Federal Rural de Pernambuco FRPE.

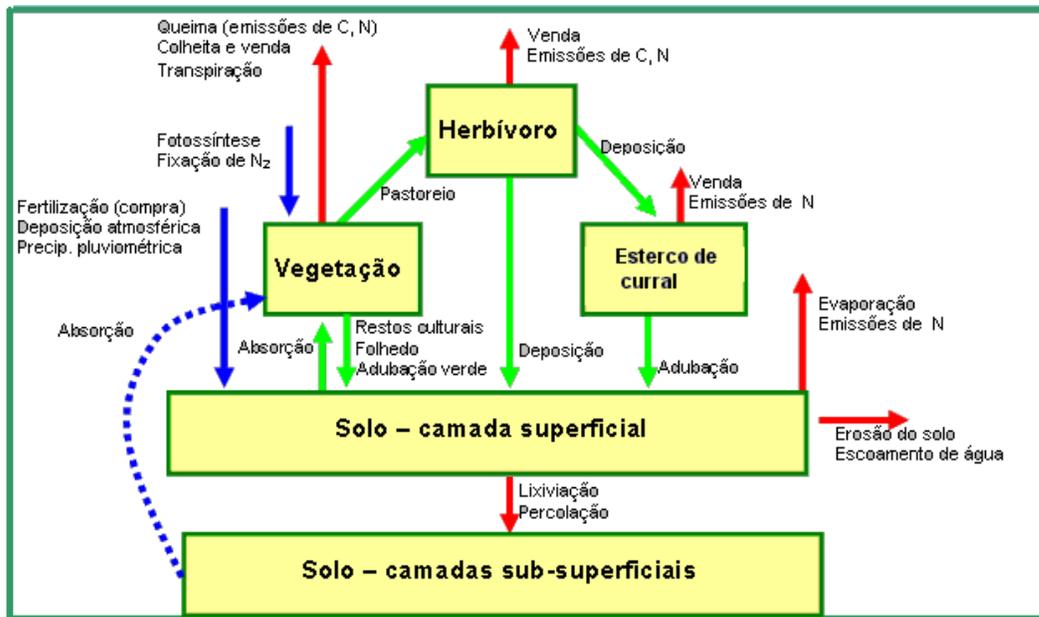
Trabalhos desenvolvidos nos últimos cinco anos (Santana, 2005; Souto, 2006, Souza, 2010), começam a avançar mais profundamente nas questões da ciclagem de nutrientes em áreas de caatinga. No entanto, ainda é necessário mais estudos que tenham como meta repassar para agricultura processos de adaptação das plantas nativas à baixa disponibilidade de nutrientes, bem como a utilização sustentável da vegetação nativa em sistemas produtivos (pastagens nativas, produção de madeira e lenha) e a possibilidade de cultivo de plantas nativas pouco exploradas (medicinais e forrageiras).

Menezes et al. (2005), com o intuito de caracterizar os níveis e a variação natural nos teores de nutrientes para os solos da região semi-árida, utilizaram um

modelo conceitual para descrever os principais compartimentos e processos envolvidos no manejo da fertilidade dos solos em agroecossistemas nessa região (Figura 1). O modelo foi usado para estruturar a discussão sobre o tema, com base nos fluxos de nutrientes e água em agroecossistemas sob distintos usos da terra e práticas de manejo. A abordagem foi dividida de acordo com as três principais estratégias identificadas para viabilizar a manutenção sustentável da fertilidade do solo no semi-árido: 1) redução das perdas de recursos (nutrientes e água) dos agroecossistemas; 2) aumento das entradas de recursos; e 3) uso eficiente dos recursos disponíveis.

Como pode-se observar na Figura 1, as entradas no ecossistema são devidas aos nutrientes oriundos do ar, às precipitações, à intemperização das rochas, à fixação biológica do nitrogênio e também à fertilização artificial, enquanto que as saídas são representadas pelas perdas por erosão, lavagens, volatilização e pela remoção de nutrientes pela colheita florestal. A vegetação devolve nutrientes ao solo por meio da circulação de matéria, que é representada pela deposição de serapilheira, galhos grossos e troncos e pela morte de raízes, principalmente as finas (Vogt et al., 1986). Outro modo de transferência de nutrientes da vegetação para o solo é pelas águas de precipitação interna da floresta e de escoamento pelos troncos (Arcova & Cicco, 1987).

Os compartimentos e/ou sistemas inorgânico e ou orgânico são interligados nesses processos de movimentação. Os organismos fotossintetizantes sintetizam a biomassa a partir de nutrientes inorgânicos dissolvidos, de dióxido de carbono e da captação de energia solar. Esta matéria orgânica é consumida pelos animais formando a base de uma cadeia alimentar.



**Figura 1-** Modelo conceitual dos compartimentos e fluxos de entradas, saídas e reciclagem de nutrientes e água em agroecossistemas não-irrigados na região semi-árida do NE do Brasil. Adaptado de Menezes et al., 2005.

Legenda de fluxos:

- Proporcionam entradas de recursos no sistema.
- Provocam saídas de recursos no sistema.
- Proporcionam a reciclagem de recursos nos agroecossistemas e devem ser manejados com o intuito de aumentar a produtividade do sistema de forma sustentável.
- Absorção de água corresponde à hipótese de que apenas os sistemas que incluem espécies arbóreas ou herbáceas e arbustivas perenes de sistema radicular profundo, são capazes de utilizar esses recursos.

O estudo desses ciclos se torna cada vez mais importante, como, por exemplo, para avaliar as entradas e saídas de nutrientes em florestas, com tais estudos pode-se adquirir conhecimento adequado de como manejar as florestas de forma a garantir a sustentabilidade do ambiente e dos seres vivos que dependem direta ou indiretamente desse meio para garantir a sua sobrevivência.

Entre as várias razões para que estudos de ciclagem de nutrientes com plantas nativas da caatinga recebam mais atenção, pode-se destacar a necessidade de melhor compreensão dos efeitos ecológicos globais influenciados pelas formações vegetais.

## 2.5. Ciclagem de nutrientes via deposição de serapilheira em áreas de caatinga

Seja qual for o tipo de floresta, a produção de serapilheira representa o primeiro estágio de transferência de nutrientes e energia da vegetação para o solo, pois a maior parte dos nutrientes absorvidos pelas plantas retorna ao piso florestal através da queda de serapilheira ou lavagem foliar.

Apesar da sua grande diversidade e relevância social, econômica e ambiental, a vegetação da Caatinga é ainda muito pouco estudada, com grande parte do esforço científico concentrado em poucos pontos (Leal, 2005). Por exemplo, dados sobre a deposição e composição da serapilheira ainda são extremamente escassos na literatura (Sampaio & Silva, 1996). Dentre os poucos estudos realizados nesse tema em áreas de caatinga, podemos citar alguns trabalhos (Dantas, 2003, Santana, 2005; Souto, 2006).

Costa et al (2007) avaliando a produção e o conteúdo da serapilheira em área de caatinga, obtiveram 2.984,5 kg.ha.ano<sup>-1</sup>. Santana (2005) obteve 2.068,5 kg.ha.ano<sup>-1</sup> de serapilheira, sendo as espécies *Caesalpinia pyramidalis*, (Caesalpinaceae), *Aspidosperma pyriformium* (Apocynaceae) e *Cróton sonderianus* (Euphorbiaceae), as predominantes entre o folheto produzido em uma área da Estação Ecológica (ESEC) na região do Seridó, Rio Grande do Norte. Souto (2006), estudando a serapilheira durante dois anos em uma área de caatinga preservada densa no semi-árido do estado da Paraíba, obteve uma deposição de serapilheira de 1.291 e 1.948 kg.ha<sup>-1</sup>, no primeiro e segundo anos, respectivamente. O autor considerou a baixa produção de serapilheira no primeiro ano devido à baixa pluviosidade registrada na área; no segundo ano, os valores obtidos se equiparam com os dados de Santana (2005) e Costa et al (2007).

As deposições de serapilheira medidas em áreas de caatinga localizadas em ambientes onde as condições de solo e clima são mais limitantes à produção de biomassa mostram-se muito similares entre os poucos trabalhos realizados. Em média as produções de serapilheira nessas áreas mais áridas da vegetação caatinga se mantêm em torno de 1.500 a 3.000 kg.ha.ano<sup>-1</sup>. No entanto, em áreas de caatinga onde as condições de solo e clima são menos limitantes, as deposições de serapilheira podem atingir valores superiores, como os resultados encontrados por Dantas (2003), que utilizando coletores de terra nua obteve uma produção média de serapilheira de 5.490 kg.ha.ano<sup>-1</sup>. A serapilheira produzida na vegetação caatinga

mostra-se inferior quando comparada com a produção em outras florestas tropicais úmidas do Brasil.

As quantidades de serapilheira produzidas são determinadas pelas características morfológicas e fisiológicas comuns das plantas da caatinga: plantas de médio porte, com características arbóreo-arbustivas, folhas pequenas, muitas modificadas em espinhos, adaptadas às condições climáticas do semi-árido. Além disso, há acentuada caducifolia onde as plantas perdem suas folhas durante os longos meses de estiagem anual, com exceção de algumas plantas perenifólias presentes no interior da mata que matem suas folhagens em pleno verão.

A maioria do material formador da serapilheira em áreas de caatinga é composta pela fração folhas, mas independente do tipo de floresta estudada, a fração folha normalmente constitui a maior proporção dos resíduos orgânicos que caem ao solo, seguida das frações casca e galhos (material lenhoso) e, por último, a fração miscelânea (fragmentos de folhas, flores, frutos, sementes e outros materiais vegetais de difícil identificação, além de insetos ou partes destes e fezes) (Souto, 2006).

Costa et al (2007) observaram que a produção da fração folhas correspondeu a 65% do total da serapilheira produzida (1940 kg/ha/ano), seguido da fração ramos com 21% (622,25 kg/ha/ano), órgãos reprodutivos 10 % (300,5 kg/ha/ano) e 4,07% (121,5 kg/ha/ano). Santana (2005) obteve que a fração foliar representou 79,90% da deposição de serapilheira, enquanto Souto (2006) obteve 64% de folhas. Tais dados reafirmam que as folhas são o principal material formador da serapilheira. As folhas são fundamentais nos processos de fotossíntese e transpiração vegetal, processos que demandam grande quantidade de água, dessa forma, no período da estiagem na caatinga, as plantas perdem suas folhas como um mecanismo adaptativo ao estresse hídrico a que estão submetidas.

Há uma nítida relação entre a precipitação e o ciclo mensal de deposição da serapilheira. O padrão de deposição da serapilheira é diretamente influenciado pelas mudanças temporais ocorridas no bioma caatinga (Santana, 2005; Souto, 2006; Costa et al, 2007). Assim, os trabalhos realizados em áreas de caatinga vêm demonstrando que os períodos de maior deposição de serapilheira ocorrem logo após o final do período chuvoso (“inverno na denominação regional”) e início da estiagem. A maior produção de serapilheira na estação seca não é característica apenas da Caatinga, mas, de acordo com Vital et al. (2004), outros ecossistemas

como cerrado, matas ciliares e florestas estacionais semidecíduas apresentam também esse comportamento.

É importante relatar que existem diferenças entre os termos deposição de serapilheira e estoque de serapilheira, o primeiro leva em consideração a deposição de serapilheira em coletores geralmente confeccionados de tubo de PVC e revestidos com tela fina de nylon, com um tamanho pré-estabelecido e suspenso a certa altura do solo, assim o material senescente não entra em contato com o solo e geralmente é coletado mensalmente. No entanto para medir o estoque de serapilheira utiliza-se um quadrado com delimitações conhecidas, de forma que o mesmo é arremessado a massa de serapilheira que encontra-se acumulada no solo em diversos estágios de decomposição.

Com relação ao estoque de serapilheira em áreas de caatinga os trabalhos são escassos, mas podemos destacar o trabalho de Martins et al (2008) que estudando o fracionamento físico da serapilheira presente em áreas em processo de degradação no semi-árido pernambucano, obtiveram um estoque de massa seca em áreas conservadas de caatinga variando de 6.500 a 20.100 kg ha<sup>-1</sup>. Os mesmos autores obtiveram em áreas moderadamente degradadas uma produção de massa seca variando entre 1.900 e 7.200 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto nas áreas intensamente degradadas o estoque de serapilheira variou de 140 a 1.016 kg ha<sup>-1</sup>.

Amorim (2009), caracterizando a serapilheira em caatinga preservada obteve um estoque médio de 7.037 kg ha<sup>-1</sup>. Souto (2006), estimando a serapilheira acumulada na superfície do solo em áreas de caatinga preservada em dois diferentes períodos obteve, respectivamente, quantidades médias de 1185 e 1368 kg ha<sup>-1</sup>.

Os escassos trabalhos que abordam os estoques de serapilheira em áreas de caatinga demonstram uma grande variação dos resultados. O acúmulo de serapilheira varia em função da procedência, da espécie, da cobertura florestal, do estágio sucessional, da idade, da época da coleta, do tipo de floresta e do local. Além desses fatores, outros como: condições edafoclimáticas e regime hídrico, sítio, manejo silvicultural, proporção de copa, bem como taxa de decomposição e distúrbios naturais como fogo e ataque de insetos ou artificiais como remoção da

serapilheira e cultivos, ocorridos na floresta ou no povoamento, também influenciam no acúmulo de serapilheira.

## **2.6. Retranslocação de nutrientes**

A utilização de nutrientes está intimamente relacionada com a ciclagem de nutrientes, através do movimento de nutrientes dentro da planta (ciclagem interna) e desta com o solo por meio da queda de tecido foliar (Silva et al., 1998). Assim, relativa quantidade de nutrientes retorna ao solo por meio da decomposição dos tecidos senescentes, ou é retranslocada para outros tecidos das plantas pelo ciclo bioquímico, o que explica a manutenção da fertilidade do solo sob floresta, principalmente as tropicais por longos períodos (Menezes Júnior et al., 2008). É importante relatar que a dinâmica de nutrientes nas árvores varia em função da espécie, da idade, condições edafoclimáticas do sítio e práticas de manejo adotadas e que a concentração de alguns elementos nas folhas aumenta, enquanto as de outros decresce (Viera & Schumacher, 2009). Todos esses aspectos apenas evidenciam a relevância da ciclagem interna dos nutrientes para a manutenção do balanço nutricional das plantas.

O ciclo bioquímico envolve a retranslocação de um determinado elemento de um local de residência (órgão) para outro, como por exemplo, de uma folha senescente para uma nova (Malavolta et al. 1997), ou seja, refere-se à transferência de nutrientes no próprio interior da planta. Assim, reabsorção ou retranslocação de nutrientes é a redistribuição de nutrientes das folhas senescentes para outras partes da planta, antes da abscisão foliar. A retranslocação de nutriente é um processo fisiológico importante para a retenção dos nutrientes na planta para suas possíveis necessidades (Aerts, 1996).

A retranslocação de nutrientes que ocorre através do ciclo bioquímico nas plantas, é de suma importância para se evitar gastos de energia na absorção dos mesmos pelas raízes, e de certa forma, torna-se uma estratégia, para impedir o desbalanço nutricional, fazendo com que parte dos nutrientes que seriam perdidos pela planta devido à caducifolia e senescência, sejam retranslocados para outros órgãos do vegetal. Portanto, a retranslocação de minerais é uma forma de diminuir a perda de nutrientes pelas plantas e permitir a manutenção das atividades

metabólicas, principalmente em períodos sujeitos ao estresse nutricional (Leitão & Silva, 2004).

Em geral, os fluxos de nutrientes são controlados por mecanismos de conservação de nutrientes, visto que a maioria das florestas ocorre em solos de baixa fertilidade (Silva et al., 1998). Dentre os parâmetros de conservação de N, encontram-se a eficiência de reaproveitamento de N (ERN) (van Heerwaarden et al 2003), a proficiência de reaproveitamento (PRN) (Aerts, 1996; Killingbeck, 1996; Aerts & Chapin, 2000) e a eficiência do uso de N (EUN) (Vitousek, 1982). Tais parâmetros podem ser medidos para outros nutrientes na planta.

A proficiência de reaproveitamento de nutriente é definida como a concentração mínima de nutrientes restante nas folhas senescentes, imediatamente antes da abscisão (Killinbeck, 1996). Assim, quanto menor a concentração de um nutriente nas folhas senescentes, maior é a proficiência de reaproveitamento. É tida como uma medida mais objetiva da ação da seleção natural, a fim de diminuir a perda de nutrientes em ambientes pouco férteis. A eficiência de reaproveitamento de nutriente avalia a concentração relativa de nutrientes entre folhas senescentes e verde-maduras. A eficiência de reaproveitamento mostra o grau de conservação de nutrientes nas folhas pelos indivíduos vegetais, de forma a minimizar a necessidade de absorções subseqüentes dos mesmos (Lima, 2005). Esse parâmetro relaciona o conteúdo de nutrientes nas folhas verdes a seu reaproveitamento (Killingbeck, 1996). Com relação a eficiência do uso de nutriente (EUN), é definida como sendo a quantidade em termos de massa, de molécula orgânicas que conseguem ser produzidas na fotossíntese por unidade de nutriente absorvido pela planta.

Lima et al (2006), verificando se os mecanismos de conservação de nutrientes de diferentes espécies de leguminosas arbóreas são afetados pela longevidade foliar e pela disponibilidade de N, tanto mineral como proveniente de fixação simbiótica de N (FSN), observaram que a espécie semidecídua (*H. courbaril*), que não fixa nitrogênio e possui maior longevidade foliar, apresentou a maior eficiência de reaproveitamento de N (ERN), proficiência de reaproveitamento de N (PRN) e eficiência de utilização de N (EUN), entretanto espécies que tiveram o acréscimo de N no solo e eram fixadoras de nitrogênio apresentaram decréscimos na ERN, PRN e EUN. Os resultados obtidos por Lima et al, (2006) sugere que existe uma relação inversa entre os parâmetros de ERN, PRN, EUN e presença de FSN e fertilidade do solo.

Alguns autores acreditam que a alta eficiência de reaproveitamento de nutrientes, ou baixa perda de nutrientes foliares, auxilia a adaptação de certas espécies de plantas a ecossistemas pouco férteis (May & Killingbeck, 1992; Pugnare & Chapin III, 1993). Silva et al (1998) consideraram que a retranslocação era mais eficiente em solos pobres, como um dos mecanismos de economia de nutrientes. Entretanto, os estudos de Fife e Nambiar (1982), mostram que a eficiência da retranslocação não é determinada pela disponibilidade de nutrientes no solo e concluíram que a taxa de crescimento das árvores é o principal fator que controla a retranslocação em espécies de Pinus. Killingbeck (1996), analisando as concentrações de N em folhas senescentes de oitenta e nove espécies perenifólias e caducifólias, concluiu que as plantas com FSN apresentam menor ERN e menor PRN do que as não fixadoras.

Com relação a longevidade foliar, há indicações de que plantas com ciclo de vida foliar longo são capazes de produzir mais matéria orgânica por unidade de nutriente mineral do que aquelas que possuem ciclo de vida foliar mais curto (Aerts, 1995; Aerts et al., 1999). Assim, nas plantas perenifólias há uma maior eficiência do uso de nutrientes (EUN). O tempo de retenção do nutriente nas folhas é um importante componente da eficiência do uso de nutrientes, o qual depende da longevidade foliar e quantidade de nutriente reaproveitado antes da abscisão (Aerts, 1990).

Alto reaproveitamento de nutriente e baixa concentração de nutriente na serapilheira contribui para alta eficiência do uso de nutrientes (Aerts et al., 1999; Covelo & Gallardo, 2002). Folhas mais longevas retêm os nutrientes por mais tempo (Westoby *et al.*, 2000) e isto leva a uma melhor eficiência do uso desses elementos (Berendese & Aerts, 1987). A eficiência do uso de nutrientes (EUN) é considerada uma adaptação importante a ambientes pouco férteis (Covelo & Gallardo, 2002). Do mesmo modo que a eficiência de reaproveitamento de nutrientes e proficiência de reaproveitamento de nutrientes, a eficiência do uso de nutrientes também aumenta com o decréscimo de nutrientes no solo (Distel et al., 2003). Porém, Eamus & Prichard (1998) comparando duas espécies perenifólias a duas espécies decíduas de savana australiana, verificaram que a EUN não foi influenciada pelo acréscimo do nutriente ao solo.

A duração do ciclo de vida foliar relaciona-se com características químicas das folhas. Quando se compara folhas adultas de espécies perenifólias com as das

caducifólias verifica-se que as espécies que possuem longo ciclo de vida foliar são quimicamente mais protegidas (Bryant et al., 1983). Existe relação entre longevidade foliar e características morfológicas das folhas. As espécies que possuem maior longevidade foliar geralmente apresentam menor área foliar específica (AFE) (Reich et al., 1991; Eamus & Prichard, 1998), ou maior massa foliar específica (MFE), devido a uma camada grossa de epiderme e uma camada de esclerênquima sobre os vasos principais (Chabot & Hicks, 1982), o que aumenta a razão massa/área, permitindo a estas folhas resistir a condições adversas por mais tempo (Peeters, 2002).

Araújo e Haridasan (2007), estudando a relação entre deciduidade e concentrações foliares de nutrientes em espécies lenhosas do cerrado, observaram que a concentração de N, P, K, Ca e Mg, variação sazonal e a área foliar específica média das espécies sempre-verdes foram menores do que nas decíduas. Assim, confirmando as hipóteses que espécies sempre verdes apresentariam menores concentrações de nutrientes foliares, menor área foliar específica e menor variação sazonal que espécies decíduas porque suas folhas persistem por mais de um ciclo anual de estações seca e chuvosa.

Viera e Schumacher (2009), avaliando a retranslocação de nutrientes em acículas de *Pinus taeda* L, observaram que a magnitude de retranslocação foi de:  $K > P > N > Mg = S$ , sendo essa sequência igual à estimada por Albaugh et al. (2008). A taxa de retranslocação das acículas senescentes para as acículas novas foi superior a 50% para a maioria dos nutrientes analisados (Viera e Schumacher, 2009). As elevadas taxas de retranslocação de nutrientes móveis indicam a importância desse recurso para o crescimento e sobrevivência das plantas de *Pinus taeda* (Albaugh et al., 2008).

Nardoto et al. (2006), verificando a eficiência da utilização dos nutrientes de espécies em áreas de cerrado do Brasil central e os impactos do fogo, relataram que dez espécies arbóreas de cerrado, representando diferentes padrões fenológicos (sempre-verdes e decíduas), apresentaram uma retranslocação média de N de 30% enquanto que para P, a retranslocação foi superior a 50 %.

Reich et al. (1995) determinaram as taxas de retranslocação para 13 espécies lenhosas, incluindo espécies cultivadas e nativas de florestas de terra-firme do Alto Rio Negro (Venezuela), observaram uma retranslocação mais alta para P (60%) que

para N (40%). Assim, verifica-se que a eficiência da utilização de nutrientes varia muito com relação a espécie como também ao tipo de floresta estudada.

## **2.7. Decomposição de serapilheira**

A exploração racional de qualquer ecossistema só pode ser planejada a partir do conhecimento de suas dinâmicas biológicas. No que se refere ao componente vegetação, torna-se imperativo conhecer, por exemplo, como se dão os processos de decomposição das espécies que compõem uma determinada vegetação, podendo as mesmas serem utilizadas como adubação verde, que consiste na utilização de plantas em rotação, sucessão ou consorciação de culturas, incorporando-as ao solo ou deixando-as na superfície. A cobertura do solo impede o processo erosivo, combate invasoras, diminui as perdas por evaporação e diminui a temperatura da superfície do solo favorecendo sua vida microbiana e a sua fauna (Lopes, 1994).

Os estudos de decomposição do material vegetal indicam como ocorre a liberação dos nutrientes da serapilheira para o solo (Kolm & Poggiani, 2003). A decomposição da matéria orgânica, proveniente principalmente das folhas, permite o retorno ao solo dos nutrientes absorvidos pela planta e que não sofreram lixiviação, mantendo a funcionalidade do ecossistema (Gama-Rodrigues et al, 2003).

Conforme Swift et al. (1979), citados por Anderson & Swift (1983), os processos de decomposição são regulados por três grupos de variáveis: a natureza da comunidade decompositora (animais e microorganismos), características da matéria orgânica, a qual determina a sua degradabilidade (qualidade da fonte), e o ambiente físico-químico, o qual opera nas escalas edáfica, micro e macroclimática. A velocidade de decomposição é expressa em termos da Constante de Decomposição, comumente designada de "K". A constante de decomposição para determinada espécie em dado local é relativamente fácil de medir pela técnica das bolsas de decomposição, ou "litterbags" (Anderson & Ingram, 1993).

Mayer (2008) estudando a decomposição de diferentes materiais vegetais (mistura de biomassa herbácea proveniente de florestas maduras, folhas senescentes de carvalho e raspa de madeira) em três diferentes estádios de floresta (inicial, intermediária e madura), encontrou em todos os tipos de ecossistema a seguinte ordem de perda de massa : mistura de biomassa herbáceas > folhas

senescentes de carvalho > raspa de madeira. O referido autor ainda observou que a floresta madura obteve maior decomposição, maior acumulação de nitrogênio e menor relação C:N quanto comparada com as de estágio de floresta inicial e intermediária. A maior decomposição em florestas maduras pode ter sido influenciada pelo microclima mais favorável (mais fresco e chuvoso), e possivelmente a uma melhor adaptação da comunidade decompositora em degradar a massa de serapilheira.

Ayres et al. (2009) observaram que a decomposição da serapilheira é mais rápida quando a mesma encontra-se na mesma área das espécies que foram originadas do que quando a serapilheira é proveniente de outras áreas. O termo para designar tal efeito é denominado de “vantagens do lugar de origem”( home-field advantage). A maior decomposição das espécies em seus lugares de origem é devido, à especialização da biota do solo em decompor a serapilheira. É importante relatar que os processos de decomposição e mineralização são influenciados não apenas pela qualidade individual do substrato, mas também pela qualidade do microambiente (interação entre fatores físicoquímicos e a biota decompositora) de determinado sistema de plantio (Gama-Rodrigues et al, 2003).

De acordo com Souto (2006) a decomposição da serapilheira é maior nos primeiros seis meses de exposição na superfície do solo, no início da estação chuvosa, refletindo atividade intensa dos microrganismos. O processo de decomposição da serapilheira é influenciado pela interação entre pluviosidade e temperatura, que regulam a velocidade de decomposição ao longo do tempo e proporcionam maior atividade microbiana à noite. Os fatores limitantes para a atividade microbiana são principalmente os baixos conteúdos de água e elevadas temperaturas do solo.

Mariano et al (2007) estudando a decomposição e liberação de nutrientes de uma espécie típica das restingas da costa litorânea do Brasil para o solo, obtiveram que a maior liberação de nutrientes nos quatros primeiros meses de estudo foi do fósforo (48%), seguido pelo potássio (40%). Tais nutrientes apresentaram também a maior porcentagem de liberação no final do estudo, sendo de 80,6% e 60%, respectivamente. A liberação de nutrientes apresentou o padrão P>K>N>Ca>Mg>S. O enxofre foi o elemento que apresentou menor porcentagem de liberação das folhas para o solo (9,73%). A retenção do enxofre pode estar associada à sua

imobilização no protoplasma dos organismos decompositores (Landberg & Gower, 1997).

As liberações de nutrientes do folheto para o solo variam de espécie para espécie e são controladas por vários fatores, como por exemplo, pelo microambiente. De acordo com Gama-Rodrigues et al (2003), as maiores liberações de N ocorrem em plantio misto quando comparados a plantios puros. Assim, o plantio misto proporciona maior capacidade em reciclar matéria orgânica e nutriente, o que indica serem os processos de decomposição e mineralização influenciados não apenas pela qualidade do substrato, mas também pela qualidade do microambiente.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS GERAL**

Para atingir os objetivos da presente tese foram implementados três experimentos.

**Experimento 1.** Produção de serapilheira e fluxo de nutrientes em estádios sucessionais de caatinga no semiárido paraibano.;

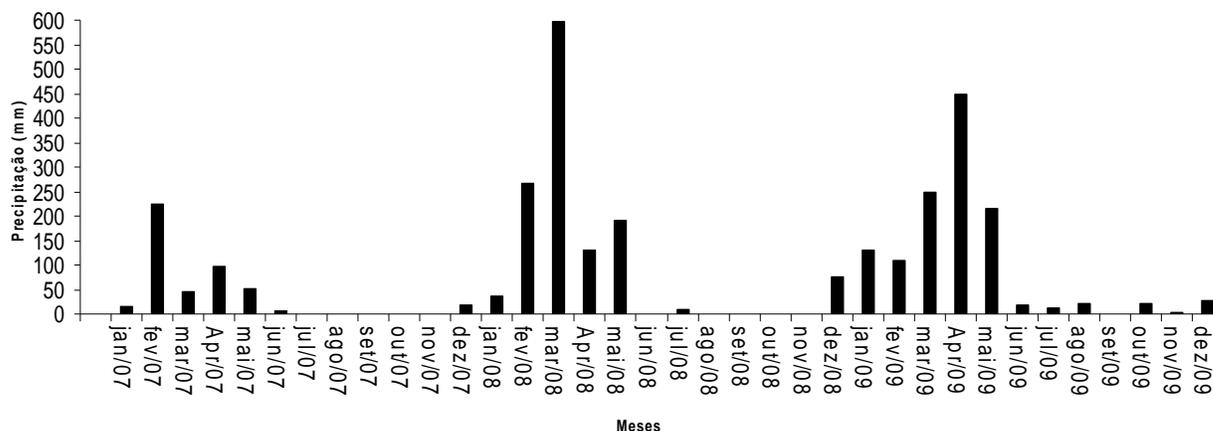
**Experimento 2.** Retranslocação e eficiência de uso de nutrientes por espécies arbóreas da caatinga

**Experimento 3.** Decomposição foliar de espécies predominantes de caatinga

#### **3.1. Área de estudo comum dos experimentos**

A área de estudo localiza-se na Fazenda Tamanduá, município de Santa Terezinha, Paraíba, entre 6°59'13" e 7°0'14" de latitude sul, 37°18'08" e 37°20'38" de longitude oeste e cerca de 270 m de altitude média em relação ao nível do mar. O clima da região é do tipo Bsh, semi-árido quente e com estação seca bem definida, de acordo com a classificação de Köppen. A temperatura média anual varia entre 20,8 e 32,8 °C e a pluviosidade média anual é de cerca de 600 mm ano<sup>-1</sup>, com chuvas irregulares, mas, em geral, concentradas de fevereiro a maio. Foram registradas as precipitações pluviométricas mensais na área, de janeiro de 2007 a

dezembro de 2009 (Figura 2). O tipo de solo predominante na área de estudo é o Neossolo Litólico, segundo a classificação brasileira (Embrapa 1999).



**Figura 2-** Precipitação média mensal, em Santa Terezinha, PB, (Dados da Fazenda Tamanduá, 2010).

### 3.2. Flora das áreas de estudo

As espécies arbustivas e arbóreas representadas, em cada estágio sucessional, por indivíduos com mais de 3 cm de diâmetro de caule a altura do peito (1,3 m do solo) são listadas na Tabela 1. Além delas, há espécies subarbustivas e herbáceas que não foram determinadas e que, em alguns casos, tinham indivíduos com altura superior à dos coletores de serapilheira (40 cm do solo).

**Tabela 1.** Espécies arbustivas e arbóreas representadas, em cada estágio sucessional, por indivíduos com mais de 3 cm de diâmetro de caule a altura do peito (1,3 m), na caatinga, Santa Terezinha, PB.

Família /Espécie	Nome popular	Áreas <sup>1</sup>			
		P	E	I	L
Apocynaceae / <i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart.	Pereiro	-	-	X	-
Bignoniaceae / <i>Tabebuia impetiginosa</i> (Mart. ex DC.) Standl.	Pau d'arco	-	-	X	X
Bombacaceae / <i>Pseudobombax marginatum</i> (A. St.-Hil., Juss.&Cambess.) A. Robyns	Embiratanha	-	-	-	X
Burseraceae / <i>Commiphora leptophloeos</i> (Mart.) J.B.Gillett	Imburana	-	-	-	X
Cactaceae / <i>Cereus jamacaru</i>	Mandacaru	-	X	X	X
Capparaceae / <i>Capparis cynophallophora</i> L.	Feijão bravo	-	-	X	X
Combretaceae / <i>Cobretum leprosum</i> Mart.	Mofumbo	-	-	X	X
Euphorbiaceae / <i>Jatropha phyllacanta</i> Müll. Arg.	Faveleira	-	-	-	X
Euphorbiaceae / <i>Jatropha mollissima</i> (Pohl) Baill.	Pinhão bravo	-	-	X	X
Euphorbiaceae./ <i>Croton sonderianus</i> Muell. Arg	Marmeleiro	-	X	X	X
Erythroxylaceae / <i>Erythroxylum pungens</i> . O. E. Schulz	Ameixa	-	-	X	X
Leguminosae / <i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.)	Jurema preta	-	X	X	X
Leguminosae / <i>Caesalpinia pyramidalis</i> Tul.	Catingueira	-	X	X	X
Leguminosae / <i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan var. <i>cebil</i> (Griseb.) Altshul	Angico	-	-	X	X
Leguminosae / <i>Piptadenia stipulacea</i> (Benth.) Ducke	Jurema branca	-	-	X	X
Leguminosae / <i>Bauhinia cheilantha</i> Bong.	Mororó	-	-	X	X
Leguminosae / <i>Amburana cearensis</i> (Allem.) A.C.Smith	Cumarú	-	-	-	X
<b>Total de espécies</b>		-	4	13	16

(P) = Pasto; (E) = Estádio inicial; (I) = Estádio intermediário e (L) = Estádio tardio.

(-) = Ausente e (X) = Presente

### 3.3. Caracterização de solo comum aos três experimentos

O tipo de solo predominante nas áreas de estudo é o Neossolo Litólico, de acordo com a classificação da Embrapa (1999). Ao lado de cada coletor de serapilheira foi coletada uma amostra de solo na camada de 0 a 10 cm, de modo que em cada parcela foram retiradas oito subamostras de solo formando uma amostra composta por parcela. A caracterização química e física das amostras foi feita de acordo com metodologias propostas pela Embrapa (1999), (Tabela 2). Seguindo os procedimentos: pH em H<sub>2</sub>O (solo: 2,5 água, v/v); Ca<sup>+2</sup> e Mg<sup>+2</sup>, extraídos com KCl e determinados por absorção atômica; P, K<sup>+</sup> e Na, extraídos com Mehlich I e determinados por fotometria de chama (K<sup>+</sup> e Na) e por colorimetria (P); C orgânico, determinado por oxidação úmida com dicromato de potássio; e granulométrica pelo método do densímetro.

**Tabela 2.** Características químicas e físicas do solo em cada estágio sucessional de caatinga, em Santa Terezinha, PB.

Áreas <sup>1</sup>	pH	P	K	Na	Ca	Mg	C.O	Análise textural (%)		
	H <sub>2</sub> O	mg kg <sup>-1</sup>	.....cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> .....	g kg <sup>-1</sup>	areia	argila	silte			
P	5,85	3,47	0,24	0,12	4,11	1,27	11,00	64	26,9	9,30
E	5,79	1,83	0,31	0,10	4,50	1,51	10,92	64	23,9	11,7
I	5,72	1,94	0,31	0,12	3,95	1,36	13,49	67	23,9	9,30
L	6,59	2,53	0,28	0,10	5,33	1,42	12,12	65	22,9	12,3

<sup>1</sup> (P) = Pasto; (E) = Estádio inicial; (I) = Estádio intermediário e (L) = Estádio final

### 3.4. Implementação do experimento 1

O experimento 1 seguiu o delineamento inteiramente casualizado, com quatro estádios sucessionais e três repetições (Figuras 3, 4, 5 e 6). Foram selecionadas três áreas para cada um dos quatro estádios sucessionais:



**Figura 3-** Pasto - áreas usadas como pastos para o gado antes do começo do experimento.



**Figura 4-** Estádio inicial - áreas usadas para plantio de algodão e depois como pasto para o gado, durante cerca de 10 anos e que foram deixadas em regeneração natural 10 a 15 anos antes do início do experimento.



**Figura 5-** Estádio intermediário - áreas usadas originalmente para plantio de algodão e que foram deixadas em regeneração natural 20 a 25 anos antes do início do experimento.



**Figura 6-** Estádio final ou vegetação madura, com mais de 50 anos sem corte raso ou perturbações antrópicas de maior porte.

Em cada área foi cercada uma parcela de 30 x 60 m, com bordadura de 10 m, no início do experimento, para evitar a entrada dos bovinos da propriedade. A vegetação arbustiva e arbórea das áreas, exceto a de pasto, foi descrita por Souza (2010). A área de pasto tinha apenas herbáceas, subarbustivas e indivíduos jovens

das arbustivas e arbóreas que não atendiam ao critério de inclusão do trabalho (diâmetro do caule a 1,3 m do solo maior que 3 cm). Em cada parcela, foram colocados oito coletores de serapilheira, distanciados pelo menos 15 metros um do outro. Cada coletor consistia de uma armação de 1 × 0,5 m, confeccionada com tubos de PVC de ½ polegada, conectada a pés feitos com os mesmos tubos, e de uma tela de nylon de malha de 1,0 mm, com área ligeiramente maior, de forma a ficar pendida no centro da armação, para segurar melhor o material caído. A armação ficava a 40 cm de altura do solo.

A serapilheira em cada armadilha foi coletada mensalmente, durante dois anos, de junho de 2007 a maio de 2008 e de junho de 2008 a maio de 2009. O material foi separado manualmente em: folhas (folhas inteiras, folíolos e raques), ramos e miscelânea (flores, frutos, sementes, remanescentes de insetos e outros materiais de origem vegetal ou animal não identificados). Depois de separado, todo o material foi seco em estufa a 65 °C, moído e analisado quanto às concentrações de N, P e K. Para análise, o material das coletas de dois meses foi misturado e sub-amostras de 0,25 g de matéria seca foram digeridas com mistura de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> / H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Thomas et al., 1967) e o extrato analisado por fotometria de chama, para determinação de K (Embrapa, 1999), por colorimetria para determinação de P (Murphy & Ryley, 1962) e pelo método de Kjeldahl, por destilação com arraste de vapor, para determinação de N (Bremner & Mulvaney, 1982). Para obter o conteúdo de nutrientes, multiplicou-se a biomassa de serapilheira depositada nos dois meses pela concentração de cada nutriente.

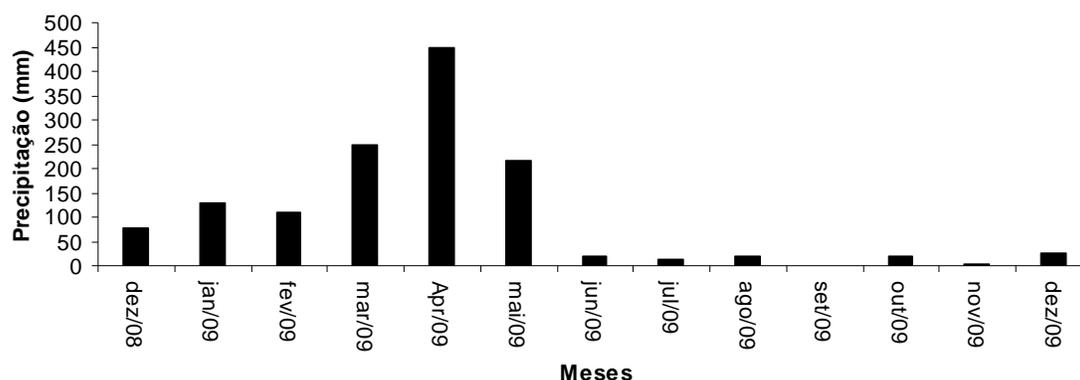
Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos quatro estádios sucessionais foram comparadas pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade, considerando como variáveis as biomassas totais e as frações de cada estádio, bem como as proporções das frações (folhas, galhos e miscelânea) em relação à biomassa total de cada estádio de caatinga.

### **3.5. Implementação do experimento 2**

O experimento foi instalado em uma área de 80 ha de caatinga preservada que não sofreu corte raso ou perturbações antrópicas significativas por pelo menos 50 anos. Nessa área, foram delimitadas três parcelas de 20 x 50 m e dentro de cada uma, foram selecionadas duas árvores de cada uma das 11 espécies predominantes

(Tabela 3), determinadas por Souza (2010). Foram selecionados apenas indivíduos com diâmetros dos caules maiores que 3 cm de diâmetro e a 1,30 m do solo.

As coletas de folhas expandidas foram realizadas durante a estação chuvosa do ano de 2009, enquanto que a coleta de folhas senescentes foi no final do período chuvoso e início do período seco, do mesmo ano. Os totais mensais de precipitação pluviométrica na área de estudo durante o ano de 2009 são apresentados na Figura 7.



**Figura 7-** Precipitação média mensal, de dezembro de 2008 a 2009, na Fazenda Tamanduá, Santa Terezinha, PB (Dados disponibilizados no site da Fazenda Tamanduá, 2010).

Na estação chuvosa foram coletadas cem folhas expandidas de cada espécie, e após passar o período de expansão foliar, foi executada a coleta de cem folhas senescentes das espécies. Nos dois períodos de coletas as folhas foram retiradas de ramos localizados em pontos ortogonais da parte intermediária das copas. As folhas foram secas a 65 °C em estufa de circulação forçada, moídas e armazenadas. Sub-amostras de 0,25 g de matéria seca de cada amostra foram digeridas com uma mistura de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Thomas et al., 1967) e o extrato analisado por fotometria de chama, para determinação de K (Embrapa, 1999), por colorimetria para determinação de P (Murphy & Ryley, 1962) e pelo método de Kjeldahl, por destilação com arraste de vapor, para determinação de N (Bremner & Mulvaney, 1982).

Dentre os parâmetros de conservação de nutrientes foram estimados: a retranslocação absoluta (RA), a eficiência de retranslocação (ER) de nutrientes, e a

eficiência do uso (EU) de nutrientes (Vitousek, 1982; Aerts, 1997; Knops *et al.*, 1997).

A RA foi calculada pela fórmula:

$$RA = (Nfe - Nfs)$$

onde: Nfe e Nfs correspondem às concentrações do nutriente nas folhas expandidas e senescentes, respectivamente (Reich *et al.* 1995).

A eficiência de retranslocação de nutrientes (ER) mostra o grau de conservação de nutrientes nas folhas pelos indivíduos vegetais, de forma a minimizar a necessidade de absorções subseqüentes dos mesmos (Lima, 2005). Esse parâmetro relaciona o conteúdo de nutrientes nas folhas expandidas (verdes) a seu reaproveitamento (Killingbeck, 1996).

A ER foi calculada com o uso da fórmula:

$$ER (\%) = (Nfe - Nfs)/Nfe \times 100$$

Com relação à eficiência do uso de nutrientes (EU), é definida como sendo a biomassa produzida por unidade de nutriente absorvido pela planta (Reich *et al.* 1995).

A EU, foi calculada utilizando-se a fórmula:

$$EU = \text{matéria seca da folha (g)/conteúdo do nutriente na folha (g)}$$

Os dados foram submetidos à análise de variância, num delineamento inteiramente casualizado, considerando as 11 espécies como variáveis independentes, com seis repetições e considerando os parâmetros de conservação de nutrientes como variáveis dependentes. As médias foram comparadas pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

**Tabela 3.** Descrição das espécies arbóreas de caatinga selecionadas para o estudo de retranslocação de nutrientes, em Santa Terezinha, PB, Brasil.

Família	Espécie	Nome vulgar	Densidade <sup>1</sup>	Área basal <sup>1</sup>	Biomassa <sup>1</sup>	Atributos funcionais		
						Fenologia foliar	Dens. da madeira <sup>2</sup>	FBN <sup>3</sup>
			Ind./ha	m <sup>2</sup> /ha	t ha <sup>-1</sup>			
Apocynaceae	<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart.	Pereiro	50	0,2	0,76	Decídua	Alta	Não-fixadora
Burseraceae	<i>Commiphora leptophloeos</i> (Mart.) J.B.Gillett	Umburana	307	3,07	16,1	Decídua	Baixa	Não-fixadora
Combretaceae	<i>Cobretum leprosum</i> Mart.	Mofumbo	53	0,28	1,3	Decídua	Alta	Não-fixadora
Capparaceae	<i>Capparis cynophallophora</i> L.	Feijão bravo	3	0,003	0,001	Perenifólia	Alta	Não-fixadora
Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum pungens</i> (O. E. Schulz)	Ameixa	37	0,13	0,09	Decídua	Alta	Não-fixadora
Euphorbiaceae	<i>Croton sonderianus</i> Muell. Arg.	Marmeleiro	3	0,004	0,005	Decídua	Alta	Não-fixadora
Euphorbiaceae	<i>Jatropha phyllacanta</i> Müll. Arg.	Faveleira	33	0,95	5,2	Decídua	Baixa	Não-fixadora
Leguminosae	<i>Adenantha colubrina</i> (Vell.) Brenan var. <i>cebil</i> (Griseb.)	Angico	43	0,25	1,6	Decídua	Alta	Fixadora
Leguminosae	<i>Caesalpinia pyramidalis</i> Tul.	Catingueira	440	4,28	21,4	Decídua	Alta	Não-fixadora
Leguminosae	<i>Amburana cearensis</i> (Allem.) A.C.Smith	Cumarú	3	0,55	0,08	Decídua	Baixa	Não-fixadora
Leguminosae	<i>Piptadenia stipulacea</i> (Benth.) Ducke	Jurema branca	77	0,31	2,8	Decídua	Alta	Fixadora

<sup>1</sup> Fonte: Souza (2010); <sup>2</sup> Densidade da madeira (Fonte: Lima, 2009); <sup>3</sup> Capacidade de fixação de N atmosférico.

### 3.6. Implementação do experimento 3

O experimento 3 também foi instalado em uma área de caatinga com mais de 50 anos sem corte raso ou perturbações antrópicas de maior porte. De acordo com o estudo fitossociológico de Souza (2010), foram escolhidas as espécies, para acompanhamento da decomposição de suas folhas: caatingueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tul.), cumaru (*Amburana cearensis* (Allem) A.C.Smith), jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir), marmeleiro (*Croton sonderianus* Muell. Arg.) e mofumbo (*Combretum leprosum* Mart.).

As folhas foram recolhidas em coletores de 1 m<sup>2</sup>, suspensos 40 cm do solo e distribuídos aleatoriamente na caatinga. Em laboratório, foram separadas por espécie, secas em estufa a 60 °C e porções de 10g colocadas em bolsas decompositoras de malha (1 mm) de náilon, com 16,0 cm x 15,0 cm.

Além das bolsas de cada espécie foram preparadas bolsas com uma mistura de folhas das 12 espécies da área, de acordo com suas proporções na folhagem da área, segundo o trabalho de Souza (2010): *Caesalpinia pyramidalis* - 20%; *Amburana cearensis* - 16,8%; *Mimosa tenuiflora* - 49%; *Croton sonderianus* - 2,3%; *Combretum leprosum* - 2,7%; *Erythroxylum punges* - 1,5%; *Adenantha colubrina* - 2,1%; *Jatropha phyllacanta* - 2,3%, *Capparis cynophallophora* - 0,9%, *Bauhinia cheilantha* - 0,7; e *Aspidosperma pyriforme* - 1,7.

As bolsas foram distribuídas de forma aleatória, em três parcelas, cada uma com 1000 m<sup>2</sup> (20 x 50m), e foram recolhidas mensalmente até seis meses após sua colocação e cada dois meses até os 360 dias. No período de um ano foram retiradas 54 bolsas de decomposição, ou seja (2 bolsas x 9 datas de coletas x 3 parcelas = 54 bolsas por espécie estudada).

O material foi transferido para sacos de papel, seco em estufa e pesado. A massa orgânica residual foi corrigida calcinando-se subamostras de 1 grama. Subamostras de 0,25 g foram digeridas com mistura de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> / H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Thomas et al., 1967) e analisadas por fotometria de chama, para determinação de K (Embrapa, 1999), por colorimetria para determinação de P (Murphy & Ryley, 1962) e pelo método de Kjeldahl, por destilação com arraste de vapor, para determinação de N (Bremner & Mulvaney, 1982).

A decomposição dos resíduos e a liberação de nutrientes foram ajustados ao modelo exponencial simples, utilizado por Rezende et al. (1999):

$$X = X_0 e^{-kt}$$

em que X é a quantidade de matéria seca ou nutriente remanescente após um período de tempo t, em dias;  $X_0$  é a quantidade de matéria seca ou nutriente inicial; e k é a constante de decomposição em dias. Reorganizando os termos dessa equação, é possível calcular a constante de decomposição, ou valor k:

$$k = \ln (X / X_0) / t$$

A partir dos valores da constante de liberação de massa e nutrientes, calculou-se o tempo de meia-vida ( $t_{1/2} = 0,693/k$ ), conforme Paul & Clark (1996). O  $t_{1/2}$  é o tempo necessário para que 50% da massa ou dos nutrientes iniciais sejam liberados.

Os dados de decomposição foliar das espécies no estágio de caatinga madura foram submetidos à análise de variância e a comparação das médias foram feitas pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa Statistica versão 7.0.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. EXPERIMENTO 1**

Nos dois anos de estudo, as menores deposições de serapilheira (Tabela 4) ocorreram no pasto (275 e 812 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>). No primeiro ano, as deposições nos outros estádios não diferiram significativamente (1670 a 1984 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>). No segundo ano, foram maiores no estágio inicial (3838 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), seguido do intermediário (2921 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) e do estágio final ou caatinga madura (2161 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>).

**Tabela 4** - Totais anuais e por fração das deposições de serapilheira, em diferentes estádios de caatinga (kg/ha), em Santa Terezinha, PB.

<b>Estádio</b>	<b>Ano 1</b>	<b>Ano 2</b>
	<b>Folhas</b>	
Pasto	139 Ab	378 Ad
Inicial	1338 Ba	3113 Aa
Intermediário	1596 Ba	2282 Ab
Final	1333 Aa	1587 Ac
	<b>Galhos</b>	
Pasto	6 Ac	14 Ac
Inicial	232 Aa	223 Aa
Intermediário	136 Ab	130 Ab
Final	114 Ab	109 Ab
	<b>Miscelânea*</b>	
Pasto	112,22 Bc	492 Aa
Inicial	151,36 Bc	501 Aa
Intermediário	252,86 Bb	509 Aa
Final	449,86 Aa	466 Aa
	<b>Deposição Total</b>	
Pasto	275 Bb	812 Ad
Inicial	1700 Ba	3838 Aa
Intermediário	1984 Ba	2921 Ab
Final	1902 Aa	2161 Ac

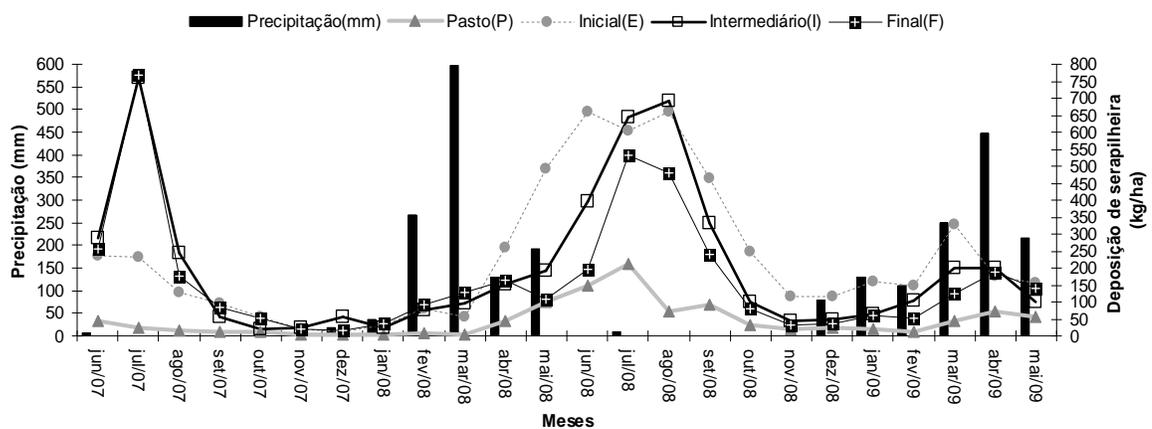
Letras maiúsculas nas colunas comparam o efeito dos anos e letras minúsculas nas linhas comparam o efeito dos estádios. Valores seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.\*inclui estruturas reprodutivas e resíduos não identificados.

Na caatinga madura, as produções dos dois anos foram semelhantes. Parte deste aumento pode ser atribuída ao crescimento da vegetação embora seja pouco provável aumento tão grande nos estádios sucessionais mais avançados. Outra causa pode ter sido a limitação na produção vegetal em resposta à baixa precipitação registrada no período de chuva anterior ao início das coletas (Figura 2). A caatinga madura, com maior diversidade de espécies e tipos funcionais, poderia estar mais tamponada contra mudanças. Os dados de folhas e miscelânea, discutidos mais adiante, parecem reforçar esta suposição.

Na caatinga madura, a produção média de serapilheira dos dois anos ( $2063 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) foi semelhante à encontrada por Santana (2005), durante um ano, em caatinga do Seridó no Rio Grande do Norte ( $2069 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) e por Souto (2006) em caatinga da mesma propriedade, em Santa Terezinha, em um dos anos de seu estudo ( $1948 \text{ kg ha}^{-1}$ ) mas não no outro ( $1291 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Em

áreas de caatinga onde as condições de solo e clima são menos limitantes que as de Santa Terezinha, as deposições podem atingir valores superiores, como as encontradas por Dantas (2003), em Remígio, PB, que atingiram 5490 kg ha ano<sup>-1</sup>. Em ambientes de clima mais seco, como no deserto norte-ocidental do México ( Maya & Arriaga 1996), as produções podem ser menores (1200 kg ha ano<sup>-1</sup>), enquanto em florestas tropicais úmidas podem ser ainda maiores, com médias para a América do Sul alcançando 8.600 kg ha ano<sup>-1</sup> (Chaves et al. 2010).

Em todos os estádios e nos dois anos, a produção tendeu a ser maior na época seca, de abril até setembro, com picos de deposição em julho, demonstrando assim características sazonais para a queda de serapilheira (Figura 8).



**Figura 8** - Deposição mensal de serapilheira em distintos estádios sucessionais de caatinga, em Santa Terezinha, PB.

Maiores deposições de serapilheira na época seca também foram observadas em outros estudos em áreas de caatinga (Santana, 2005; Souto, 2006), e em áreas semi-áridas das savanas africanas (Mlambo & Nyathi, 2008).

Entre as frações da serapilheira, a foliar predominou, em todos os estádios (Tabela 4), o que está de acordo com os dados de outros autores (Santana, 2005; Souto, 2006; Ferreira et al., 2007). Esta maior contribuição, apesar das folhas representarem apenas 10 a 20% da biomassa aérea da

vegetação de caatinga (Sampaio & Silva, 2005), justifica-se porque elas são renovadas anualmente. O padrão temporal de queda foi semelhante ao da serapilheira total, que foi muito influenciado pelo seu maior componente. Maior deposição foliar na época seca foi observada em áreas de cerrado (Silva et al. 2007).

A maior queda de folhas no segundo ano foi responsável por grande parte do aumento da serapilheira total, principalmente nos estádios inicial e intermediário. No pasto, a miscelânea também correspondeu a grande parte do aumento. Por outro lado, as massas de galhos caídos, nos quatro estádios, permaneceram sem grande variação do primeiro para o segundo ano. Os galhos correspondem a partes estruturais das plantas, mais permanentes que as folhas e que as flores e frutos que constituem boa parte da miscelânea. Isto justifica maior estabilidade na sua queda, indicando que o crescimento da vegetação responderia pouco pelo aumento da produção de serapilheira. Produção de folhas e especialmente flores e frutos são sensíveis às variações climáticas, podendo ter sido afetadas no primeiro ano. A dominância quase total da vegetação do estádio inicial pela *Mimosa tenuiflora* (Souza 2010) tem esta sensibilidade dependente de uma única espécie, aparentemente muito sensível a deficiências hídricas, embora faltem dados para comprovar esta suposição. Em ano com boa disponibilidade hídrica, como o segundo, uma espécie pioneira, como ela, pode ter rápido crescimento e grande renovação foliar (Martins & Rodrigues, 1999). Já na caatinga madura, o número de plantas de *M. tenuiflora* foi pequeno e havia uma diversidade muito maior de espécies (Tabela 1), pertencendo a distintos grupos funcionais (Lima 2010). As espécies destes grupos podem ter respostas diferentes às mudanças climáticas e os aumentos de produções de folhas de umas compensarem as diminuições de outras.

Entre os estádios, o inicial e o intermediário tiveram proporções de folhas (60 a 71%) um pouco maiores que a caatinga madura (54 a 57%) e bem maiores que o pasto (33 a 38%), (Tabela 5). Proporções de folhas acima de 50% do material formador da serapilheira também foram encontradas por Cunha et al. (1993), Arato et al. (2003), Santana (2005) e Barbosa & Faria (2006). As menores proporções de folhas no pasto, paralelas às maiores proporções de

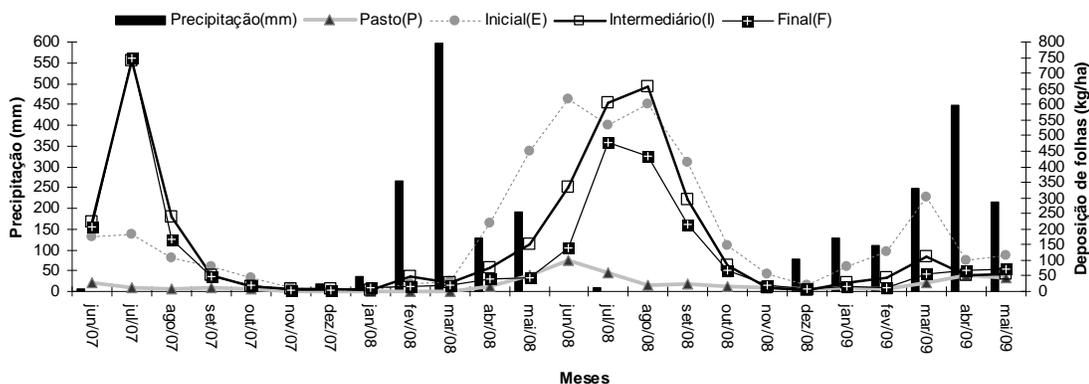
miscelânea, podem ser explicadas pela predominância de herbáceas e subarbustos na vegetação, com a maioria das folhas abaixo dos 40 cm de altura dos coletores mas com inflorescências muitas vezes acima. A dispersão anemocórica de parte dos propágulos destas plantas também pode justificar as maiores proporções de miscelânea.

**Tabela 5-** Proporção da deposição das frações em relação à biomassa total de serapilheira, em diferentes estádios de caatinga, em Santa Terezinha, PB

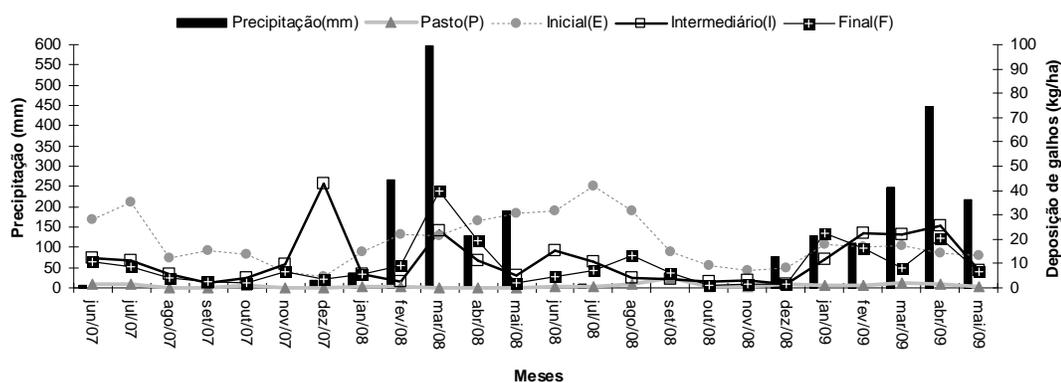
Estádio	Ano 1	Ano 2
	<b>Folhas (%)</b>	
Pasto	38,2 Ac	32,7 Bc
Inicial	66,9 Aa	71,0 Aa
Intermediário	65,9 Ba	59,5 Ab
Final	53,8 Ab	57,2 Ab
	<b>Galhos (%)</b>	
Pasto	3,2 Ac	2,8 Ab
Inicial	17,2 Aa	6,6 Ba
Intermediário	10,6 Ab	7,5 Ba
Final	9,1 Ab	7,7 Aa
	<b>Miscelânea* (%)</b>	
Pasto	48,0 Ba	62,2 Aa
Inicial	15,1 Bd	22,3 Ac
Intermediário	23,4 Bc	32,9 A b
Final	36,0 Ab	35,0 Ab

Letras maiúsculas nas colunas comparam o efeito dos dois anos e letras minúsculas nas linhas comparam o efeito dos tratamentos. Valores totais seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade

Em todos os estádios, o padrão de deposição de galhos diferiu do padrão de deposição de folhas. As folhas tiveram seus maiores picos de queda no início da época seca, enquanto os galhos atingiram picos de deposição no período das chuvas (Figuras 9 e 10).

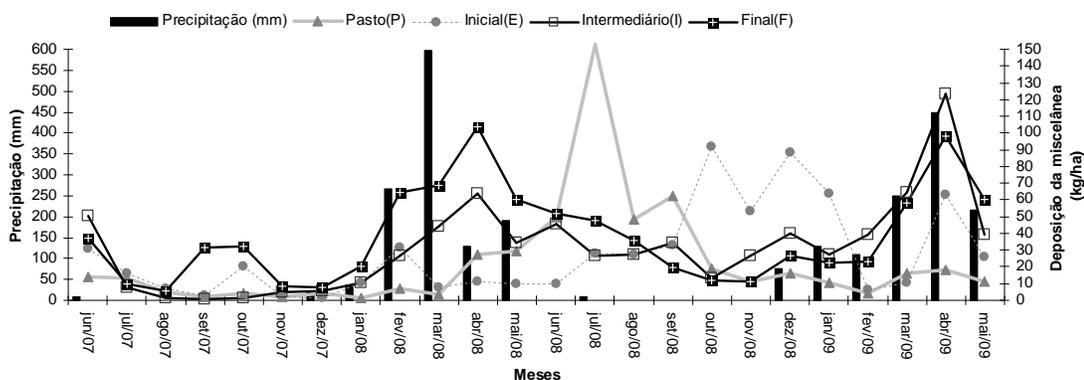


**Figura 9-** Deposição média mensal da fração folhas em distintos estádios sucessionais de caatinga.



**Figura 10-** Deposição média mensal da fração de galhos em distintos estádios sucessionais de caatinga.

È possível que, além da chuva, os ventos tenham favorecido a queda de galhos, como sugerido por Shumacher et al.(2003) e Souto (2006). O padrão de queda, caracterizado por eventos ocasionais e de intensidade bem maior que a queda basal contínua, concorda com as observações de outros autores (Santana 2005) e com a atribuição, em outras formações, à decorrência de fenômenos climáticos adversos como tempestades e ventos de grande intensidade (Dias & Oliveira, 1997; König et al. 2002). Na tabela 5, a faixa das proporções de deposição de galhos em relação à serapilheira total (3 a 17%) abrange o valor de 9% obtido por Santana (2005) na caatinga do Seridó, RN, mas a proporção relatada por Souto (2006) foi maior (23%). Em outras formações vegetais, as proporções também tendem a ser mais altas: floresta estacional decidual em Santa Maria, RS, 19,3% (König et al. 2002); floresta ombrófila mista no Paraná, 27% (Figueiredo Filho et al. 2003); florestas do cerrado 18,9% (Cianciaruso et al. 2006); floresta estacional semidecidual madura em Viçosa, MG, 36,4% (Pinto et al. 2008). savana na Nigéria, 27,5% (Oladoye et al. 2010). As deposições de miscelânea tiveram picos na época chuvosa (Figura 6).



**Figura 11-** Deposição média mensal da fração de miscelânea em distintos estádios sucessionais de caatinga.

De acordo com Souto (2006), a maior deposição neste período pode ser explicada pelo maior número de espécies em processo de floração e frutificação, como o marmeleiro (*Croton sonderianus* Muell. Arg.), angico (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.)), pereiro (*Aspidosperma pyrifolium* Mart) e catingueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tul.). Resultados semelhantes foram obtidos por Santana (2005), que verificaram que a quase totalidade da floração e da frutificação ocorreu pouco depois do início do período chuvoso. Proporções de miscelânea bem menores que as verificadas em Santa Terezinha têm sido relatadas por vários autores: 4 e 8%, em floresta estacional semidecidual em Viçosa, MG (Pinto et al. 2008); 8% em cerrado (Cianciaruso et al. 2006) e em savana na Nigéria (Oladoye et al. 2010); 13% em floresta estacional decidual em Santa Maria, RS (König et al. 2002); e 16% em floresta ombrófila mista no Paraná (Figueiredo Filho et al. 2003).

Em geral, a miscelânea teve as maiores concentrações de N, P e K, seguida pelas folhas, e os ramos as menores concentrações (Tabela 6). Outros autores encontraram resultados semelhantes (Schumacher et al., 2003; Santana, 2005; Wisniewski et al. 1997) e Santana (2005) encontrou valores de P e K ainda mais altos que os deste trabalho. As variações entre os estádios, mesmo quando significativas, foram relativamente pequenas, raramente o maior valor chegando a ser o dobro do menor. Para o N, por exemplo, as maiores concentrações ocorreram no estágio inicial (miscelânea, 25 g kg<sup>-1</sup>; folhas, 19 g kg<sup>-1</sup>; e ramos, 13 g kg<sup>-1</sup>) e as menores no pasto (miscelânea, 19 g kg<sup>-1</sup>; folhas,

15 g kg<sup>-1</sup>; e ramos, 7 g kg<sup>-1</sup>). As maiores concentrações de N nas folhas nos estádios inicial e intermediário são explicadas pela predominância de leguminosas na vegetação, com seus maiores teores, na caatinga (Freitas et al., 2010) É possível que flores e frutos de leguminosas também tenham maiores teores de N mas não há informação sobre espécies de caatinga.

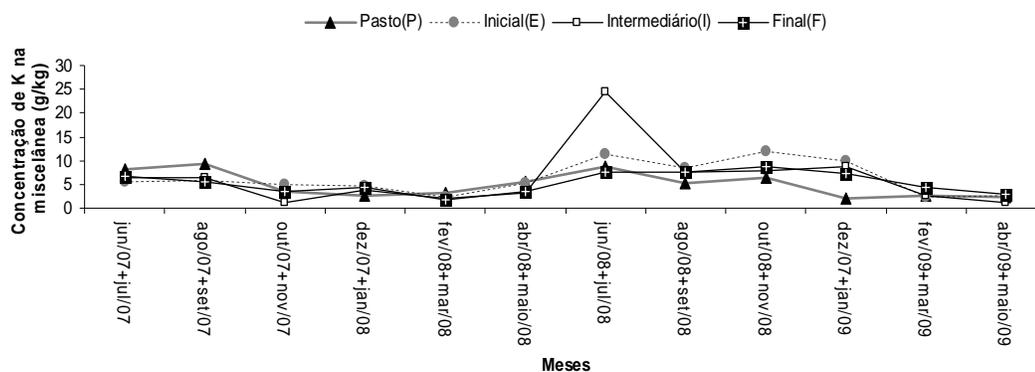
**Tabela 6-** Concentração média de nutrientes em frações de serapilheira, em diferentes estádios sucessionais de caatinga, em Santa Terezinha, PB.

Estádios	Folhas	Ramos	Miscelânea*
	.....N g.kg <sup>-1</sup> de matéria seca.....		
Pasto	14,76 Bb	7,17 Cc	19,02 Ac
Inicial	19,36 Ba	13,50 Ca	25,11 Aa
Intermediário	18,08 Ba	12,24 Cab	21,35 Ab
Final	15,86 Bb	10,46 Cbc	19,37 Ac
	.....P g.kg <sup>-1</sup> de matéria seca.....		
Pasto	0,79 Ba	0,60 Ca	1,67 Aa
Inicial	0,75 Ba	0,48 Cab	1,52 Aa
Intermediário	0,76 Ba	0,38 Cb	1,29 Ab
Final	0,83 Ba	0,41 Cb	1,25 Ab
	.....K g.kg <sup>-1</sup> de matéria seca.....		
Pasto	4,96 Aab	4,32 Aa	4,78 Ab
Inicial	4,17 Bb	2,05 Cb	6,26 Aab
Intermediário	5,31 Aab	1,61 Bb	6,71 Aa
Final	6,04 Aa	1,59 Bb	5,35 Aab

Letras maiúsculas comparam entre as colunas o efeito das frações para cada tratamento e letras minúsculas nas linhas comparam o efeito dos diferentes estádios. Valores totais seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.\*inclui estruturas reprodutivas e resíduos não identificados.

As variações ao longo do ano também foram pequenas na fração miscelânea, exceto para o K que teve maiores concentrações na época seca (Figura 7). As menores concentrações na época de chuva podem vir de uma maior lixiviação dos tecidos, já que o K é um elemento não estrutural e menos retido que o N e o P.

Como as variações nas concentrações de nutrientes foram menores que na massa caída e, em geral, na mesma direção, o padrão dos fluxos de nutrientes foi um reflexo mais pronunciado do padrão de queda de massa. Assim, as quantidades de N, P e K nos ramos, multiplicando as menores massas pelas menores concentrações, foram muito menores que nas outras frações (Tabela 7).



**Figura 12-** Concentração média de potássio na fração de miscelânea em distintos estádios sucessionais de caatinga.

Do mesmo modo, os maiores conteúdos estavam nas folhas, em todas as áreas, exceto as de pasto, que tiveram maiores conteúdos na miscelânea. Entre os estádios, o de regeneração inicial teve as maiores quantidades de nutrientes e o pasto, as menores.

**Tabela 7-** Conteúdo médio de nutrientes nas frações da serapilheira nos diferentes estádios de caatinga no semi-árido da Paraíba.

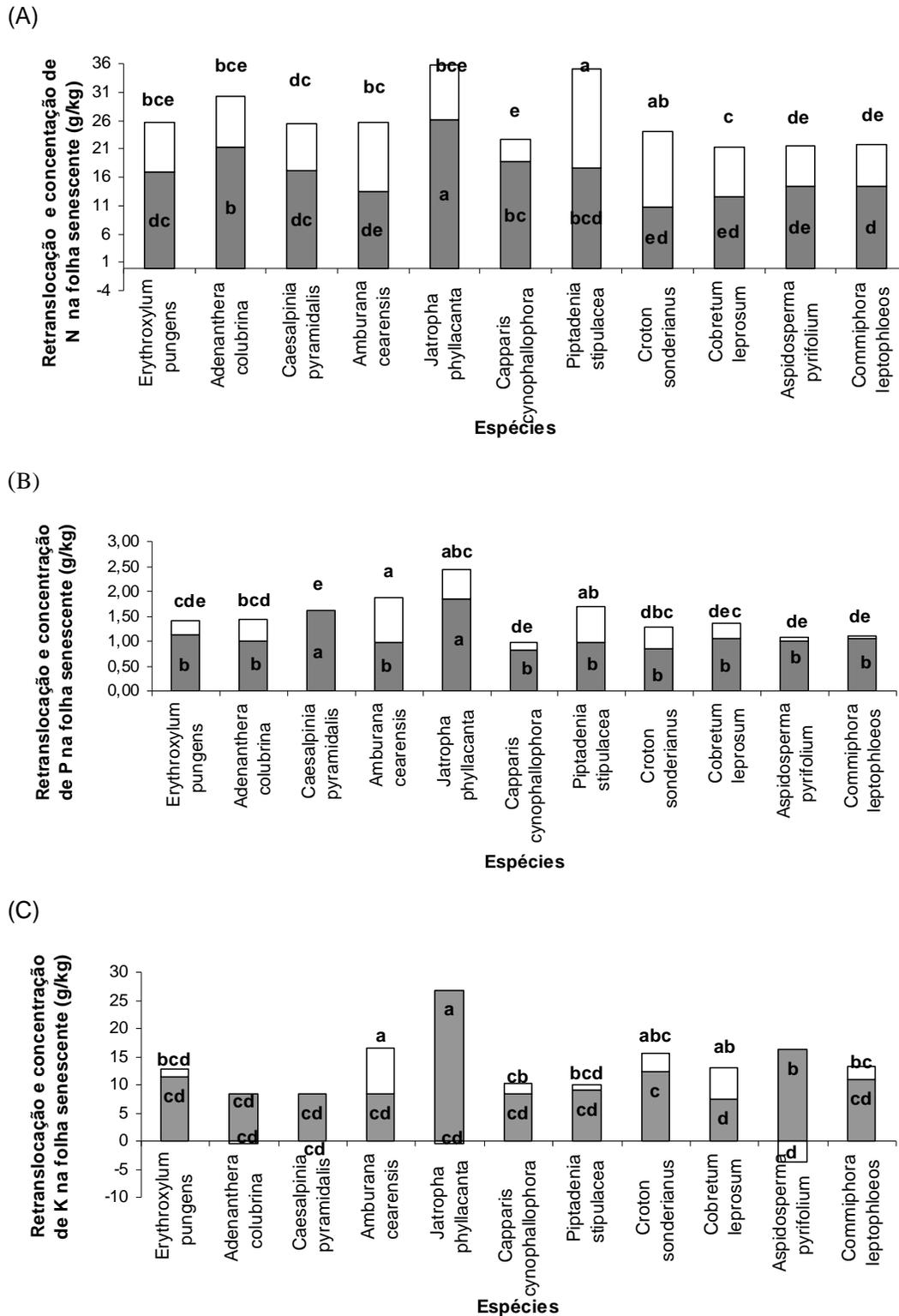
	Folha	Galho	Miscelânea*	Serapilheira
.....N (kg .ha.ano <sup>-1</sup> ).....				
Pasto	3,63 Ad	0,07 Aa	4,88 Aa	8,58 d
Inicial	42,12 Aa	3,14 Ba	8,39 Ba	53,65 a
Intermediário	31,27 Ab	1,63 Ba	8,11 Ba	41,01 b
Final	19,01 Ac	1,21 Ca	8,94 Ba	29,16 c
.....P. (kg .ha.ano <sup>-1</sup> ).....				
Pasto	0,25 ABd	0,01 Ba	0,48 Aa	0,74 c
Inicial	1,54 Aa	0,11 Ca	0,60 Ba	2,25 a
Intermediário	1,15 Ab	0,05 Ca	0,45 Ba	1,65 b
Final	0,85 Ac	0,05 Ca	0,55 Ba	1,45 b
.....K (kg .ha.ano <sup>-1</sup> ).....				
Pasto	1,50 Ab	0,04 Aa	1,75 Aa	3,29 c
Inicial	11,08 Aa	0,44 Ba	2,69 Ba	14,21 ab
Intermediário	13,40 Aa	0,17 Ba	2,50 Ba	16,07 a
Final	10,48 Aa	0,14 Ba	2,24 Ba	12,86 ab

Letras minúsculas comparam entre as linhas o efeito dos tratamentos dentro de cada ano. Letras maiúsculas comparam entre as colunas o efeito das frações nos anos para cada tratamento. Valores totais seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. \*inclui estruturas reprodutivas e resíduos não identificados.

## 4.2. EXPERIMENTO 2

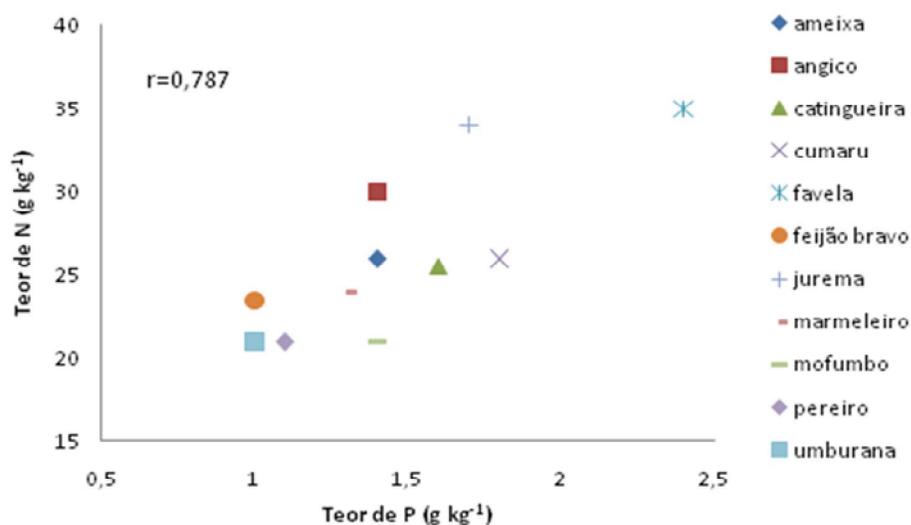
As concentrações de N, P e K nas folhas expandidas e senescentes das 11 espécies estudadas são apresentadas nas Figuras 13a, 13b e 13c, respectivamente. Todas as espécies retranslocaram parte do N e todas menos *Caesalpinia pyramidalis* (catingueira) parte do P antes da abscisão (Figura 13a e 13b) mas quatro das espécies não retranslocaram K. Os padrões de N e P eram esperados, dada a baixa disponibilidade desses dois elementos no solo da área de estudo (Tabela 2). Já o padrão variável de K, com um terço das espécies não apresentando esse mecanismo de conservação, indica a menor relevância do processo, dada a elevada disponibilidade do elemento no solo.

Em média, as 11 espécies apresentaram retranslocação absoluta (RA), ou seja, a diferença entre as concentrações nas folhas verdes expandidas e senescentes, de 9,86 e 0,36 g kg<sup>-1</sup> de N e P, respectivamente (Figura 8). Dentre as espécies, diferentemente do que seria esperado, *Piptadenia stipulacea* (jurema-branca), uma leguminosa com capacidade de fixação de N atmosférico, teve a maior RA de N (17 g kg<sup>-1</sup>), enquanto a *Capparis cynophallophora* (feijão bravo), a única espécie perenifólia, a menor RA de N (5,5 g kg<sup>-1</sup>). Em média, a RA de K das espécies foi de 1,73 g kg<sup>-1</sup>, porém em quatro das espécies (*Adenantha colubrina* (angico), *Caesalpinia pyramidalis* (catingueira), *Jatropha phyllacanta* (favela) e *Aspidosperma pyrifolium* (pereiro)) não se observou retranslocação de K. De acordo com Silva et al, (1998), a conservação de nutrientes dentro do sistema florestal ocorre devido a maioria das florestas possuírem solos de baixa fertilidade entretanto, na caatinga, os solos tem uma boa fertilidade com relação às quantidades de potássio e , possivelmente, as espécies que não retranslocaram potássio dispõem deste nutriente em forma disponível no solo, não precisando do mecanismo de retranslocação do nutriente como estratégia principal de sobrevivência.



**Figura 13.** Concentrações de nitrogênio, potássio e fósforo, em folhas verdes expandidas (barras brancas) e folhas senescentes (barras cinza) de 11 espécies arbóreas da caatinga. Valores seguidos pela mesma letra em cada unidade de figura, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

As espécies apresentaram correlação positiva e significativa entre os teores de N e P nas folhas verdes (Figura 14). Esses dados foram, então, utilizados para averiguar a magnitude da limitação do N ou do P para as espécies, calculando-se a relação entre os teores de N e P (N/P), proposta por Aerts & Chapin (2000) como um indicador do elemento mais limitante. Esses autores avaliaram as respostas de espécies de vários locais do globo às limitações de nutrientes, e observaram que, em geral, valores de N/P menores que 16 indicam limitação de N, valores entre 14 e 16 co-limitação de N e P, e valores de N/P maiores que 16 limitação de P.



**Figura 14.** Correlação entre os teores de N e de P em folhas verdes de 11 espécies de caatinga.

No presente estudo, a relação N/P média das folhas verdes expandidas foi de 18,5 (variando de 14,4 a 23,5), indicando que o P foi mais limitante que o N. Nardoto et al. (2006) também concluíram que a área de cerrado em que trabalharam apresentava limitação de P, dado que encontraram relação média de N/P igual a 18 nas folhas das espécies estudadas, com variação entre 15 e 27.

A maior limitação pelo P fica evidenciada ao observarem-se os dados de eficiência de retranslocação (ER) de N e de P. Em média, a ER de N nas 11

espécies foi de 31,7%. A *Capparis cynophallophora* (feijão-bravo), a única espécie perenifólia dentre as espécies estudadas, apresentou a menor ER de N (13,45%), enquanto o *Croton sonderianus* (marmeleiro), a *Piptadenia stipulacea* (jurema branca) e a *Amburana cearensis* (cumaru) foram as espécies com maior ER de N (>46%). Entretanto, essas não foram as espécies que apresentaram maiores densidades de indivíduos, áreas basais ou biomassas totais na área de estudo (Tabela 3) e nem foi observada correlação significativa entre a ER de N e os parâmetros de dominância das espécies no ecossistema. Esses resultados, portanto, levam à rejeição da hipótese, pelo menos para esse ecossistema, de que a eficiência de retranslocação de N das folhas senescentes para as expandidas pode aumentar a vantagem competitiva e a dominância das espécies no ecossistema (Aerts, 1996).

Por outro lado, a ER de P média das 11 espécies foi de 21,6%, com forte variação entre as espécies (Tabela 8).

**Tabela 8** - Eficiência de retranslocação de nitrogênio, fósforo e potássio em espécies arbóreas da caatinga.

Espécies	Eficiência de retranslocação (ER)		
	N	P	K
	----- % -----		
<i>Erythroxylum pungens</i> ( ameixa)	33,6 c	18,77 bcde	6,14 c
<i>Anadenanthera colubrina</i> (angico)	29,1 c	27,86 abcd	-4,9 dc
<i>Caesalpinia pyramidalis</i> (catingueira)	32,2 c	-2,1 e	0,36 dc
<i>Amburana cearensis</i> (cumaru)	46,7 ab	47,57 a	51 a
<i>Jatropha phyllacanta</i> (Faveleira)	28,3 c	24,06 abcd	5,81 dc
<i>Jatropha mollissima</i> (Feijão bravo)	13,5 d	15,17 cde	18,9 ac
<i>Piptadenia stipulacea</i> (Jurema branca)	49,6 ab	42,33 ab	7,62 bc
<i>Croton sonderianus</i> (Marmeleiro)	54,4 a	32,49 abc	20,7 ac
<i>Cobretum leprosum</i> (Mofumbo)	40,3 bc	20,35 bcde	43,2 ab
<i>Aspidosperma pyrifolium</i> (Pereiro)	32,6 c	6,23 de	-31 d
<i>Commiphora leptophloeos</i> (Umburana)	32,3c	4,81 de	5,66 c

Valores totais seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

O cumaru apresentou uma ER de P significativamente maior (47,57%) que todas as demais espécies. Outro grupo de espécies teve valores de ER de P intermediários, como *Adenanthera colubrina* (angico), *Jatropha phyllacanta* (favela), *Piptadenia stipulacea* (jurema branca) e o *Croton sonderianus*

(marmeleiro) (24,06 a 42,33%), enquanto as demais espécies variaram de -2,10 a 20,35%. No caso do P, a ER das espécies apresentou correlações positivas e significativas com os parâmetros de dominância no ecossistema, como a área basal ( $r=0,60$ ), a densidade de indivíduos ( $r=0,66$ ) e a biomassa total ( $r=0,63$ ). Esse padrão reforça a hipótese de que o P é um elemento mais limitante que o N nesse ecossistema.

Kobe et al. (2005) compararam 297 espécies de plantas e mostraram que as ER de N e de P diminuíram com o aumento da concentração desses elementos nas folhas verdes. Esse padrão foi coincidente com os resultados do presente estudo, no qual observaram-se fortes correlações ( $r=0,99$ ,  $p<0,05$ ) entre a ER e os teores de N e P.

Em média, a ER de K das espécies estudadas foi baixa (11,2%), o que era esperado dada a alta disponibilidade desse elemento no solo da área de estudo e a ausência de retranslocação em quatro das espécies estudadas (Figura 13). Entretanto, é importante notar a extrema variabilidade entre as espécies, pois a ER de K variou de -31,0% para o pereiro, até 43,2% para o mofumbo (Tabela 8). Essa variabilidade na ER de K apresentou forte correlação ( $r=0,98$ ,  $p<0,05$ ) com a RA de K, mas não houve correlação significativa entre a ER de K e os teores de K nas folhas verdes ou com a ER de N ou de P.

Outro atributo funcional ao qual se testou a correlação com a retranslocação de nutrientes foi a densidade da madeira. *Caesalpinia pyramidalis* (catingueira), que é uma espécie de alta densidade de madeira (Tabela 3), teve eficiência de reaproveitamento de P negativa (Tabela 8). Por outro lado, a *Amburana cearensis* (cumarú), uma espécie de baixa densidade de madeira, foi a espécie que mais retranslocou K (51%) e P (48%), cerca da metade da concentração nas folhas expandidas e também retranslocou quase a metade do N das folhas expandidas (47%), (Tabela 8). Entretanto, não houve correlação significativa entre os valores de densidade da madeira, obtidos de Lima (2009), e a ER de N para o grupo das 11 espécies.

É importante salientar que a ausência de padrões claros entre os parâmetros de retranslocação e os atributos funcionais das espécies no presente estudo não devem ser vistos como resultados conclusivos. Em certos ecossistemas, principalmente em regiões secas ou submetidas a grandes

variações sazonais ou interanuais de precipitação pluviométrica, os teores de certos elementos e os processos de retranslocação podem variar significativamente de ano a ano (Townsend et al. 2006). Por exemplo, Killingbeck (1996) observou que a retranslocação de nutrientes variou em até 6 vezes em magnitude em uma espécie de arbusto, portanto sugerindo que são necessários vários anos de medidas para determinar com maior clareza os padrões de retranslocação de certas espécies (Renteria & Jaramillo, 2005).

A Eficiência Média de Uso de nitrogênio, fósforo e potássio em todas as espécies arbóreas da caatinga foram, respectivamente, de 39,5; 719,5 e 85,70 (Tabela 9). Portanto, o fósforo foi o nutriente que apresentou maior relação de eficiência de uso pelas espécies estudadas, enquanto o potássio manteve relação intermediária e o nitrogênio apresentou as menores relações de EU.

**Tabela 9** - Eficiência de uso de nitrogênio, fósforo e potássio em espécies arbóreas da caatinga.

Espécies	Eficiência de uso de nutrientes (EU) <sup>1</sup> Kg MS/g de nutriente		
	N	P	K
<i>Erythroxylum pungens</i> ( ameixa)	0,06 e	0,92 b	0,09 bc
<i>Anadenanthera colubrina</i> (angico)	0,05 de	1,03 ab	0,13 ab
<i>Caesalpinia pyramidalis</i> (catingueira)	0,06 e	0,66 c	0,12 abc
<i>Amburana cearensis</i> (cumarú)	0,08 bc	1,06 ab	0,20 a
<i>Jatropha phyllacanta</i> (Faveleira)	0,04 d	0,56 c	0,04 c
<i>Jatropha mollissima</i> (Feijão bravo)	0,05 e	1,23 a	0,13 abc
<i>Piptadenia stipulacea</i> (Jurema branca)	0,06 e	1,08 a	0,11 bc
<i>Croton sonderianus</i> (Marmeleiro)	0,09 a	1,23 a	0,08 bc
<i>Cobretum leprosum</i> (Mofumbo)	0,08 b	0,99 b	0,14 ab
<i>Aspidosperma pyrifolium</i> (Pereiro)	0,07 c	1,02 ab	0,07 bc
<i>Commiphora leptophloeos</i> (Umburana)	0,07 bc	0,96 b	0,09 bc

<sup>1</sup> Relação entre massa foliar/massa de nutriente. Valores totais seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

A espécie *Jatropha phyllacanta* (faveleira) teve o menor valor absoluto de EU para N , P e K. A EU para N se manteve de forma uniforme para as demais espécies estudadas, enquanto o feijão-bravo se destacou como uma

das espécies com maior capacidade de EU para de P e K. Esta performance das espécies, ou de um grupo funcional de espécies de alta EUN, pode resultar em uma propriedade emergente do ecossistema, desde que o número de indivíduos seja suficiente para influenciar no total da comunidade. As propriedades emergentes são as que se manifestam a partir de propriedades de interações como por exemplo, a relação entre absorção de nutrientes e malha de raízes (subsistemas), resultando na produção total da biomassa no nível do ecossistema (Breckling *et al.* 2005; Nielsen & Muller, 2000).

Alguns estudos defendem que plantas que têm alta retranslocação e alta EU produzem serapilheira com baixos teores de nutrientes (Vitousek, 1982; Scott *et al.*, 1992) tendem a dominar a comunidade, conforme proposto por (Koutroubas *et al.* 2000). Tais afirmações não se aplicam de forma clara para as espécies do presente estudo, como por exemplo *Capparis cynophallophora* (feijão-bravo) que apresenta alta EU mas no entanto não domina a comunidade de caatinga madura.

### 4.3. EXPERIMENTO 3

De modo geral, todas as espécies perderam, até o final dos 360 dias, mais de 50% de massa foliar contida nas bolsas e em torno de 50% do nitrogênio, 80% do fósforo e 90% do potássio (Tabela 10). Mariano *et al.* (2007) obtiveram liberação de 48% do P e 40% do K, nos quatro primeiros meses de decomposição, e 81 e 60%, respectivamente, ao final de doze meses, em restinga do litoral norte da Bahia. Portanto, a perda de P foi maior que a de K, ao contrário da observada no presente estudo. Em geral, há grande liberação de potássio pelo fato dele ocorrer na forma iônica nas plantas, não participando das estruturas orgânicas (Taiz & Zeiger, 1991).

Decomposição e perdas de nutrientes foram muito mais rápidas, até os 60 dias, em todas as espécies, que no restante do período. No caso extremo do K das folhas de *Cobretum leprosum* (mofumbo), 80% do potássio inicial foi perdido nos primeiros 60 dias (Figura 18). Por isso, a curva exponencial simples não representou bem a decomposição nesse período inicial e foi mais influenciada pelo maior período posterior de forma que todos os valores iniciais estimados ( $X_0$ ) tiveram valores menores de 100% (Figuras 15, 16, 17 e 18 e

Tabela 11). Significa que decomposição e perdas não foram constantes ao longo do tempo (Figura 15).

**Tabela 10.** Massa seca decomposta das folhas e conteúdos perdidos de N, P e K, até o final ao longo de um período de 360 dias em áreas de caatinga madura.

Espécies	Massa foliar decomposta (%)	Perdas N(%)	Perdas K(%)	Perdas P(%)
<i>Caesalpinia pyramidalis</i> (catingueira)	68,8 ab	59,7 b	94,1 b	93,6 a
<i>Amburana cearensis</i> (cumaru)	66,9 ab	52,9 b	95,5 ab	90,4 ab
<i>Mimosa tenuiflora</i> (jurema- preta)	73,1 a	70,9 a	95,0 ab	91,6 ab
<i>Croton sonderianus</i> (marmeleiro)	64,1 b	55,1 b	97,9 a	81,2 c
Mix*	66,4 ab	52,3 b	95,0 ab	92,4 a
<i>Cobretum leprosum</i> (mofumbo)	46,6 c	58,0 b	93,3 b	87,6 b

\*Conjunto de 12 espécies arbóreas de áreas de caatinga madura. Médias na coluna seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Duncan ;  $p < 0,05$ .

A espécie *Cobretum leprosum* (mofumbo), apesar da rápida liberação de potássio nos primeiros dias, foi a espécie que ao longo dos dias seguintes teve a menor velocidade de decomposição tanto para a massa como para todos os nutrientes estudados (Tabela 11).

A variação nas taxas de decomposição de detritos foliares entre as espécies estudadas é influenciada por fatores internos (características físicas e químicas das folhas) e fatores externos (composição química, temperatura, comunidades bióticas) (Abelho, 2001). Estes fatores influenciam diretamente a eficiência com que fungos, bactérias e invertebrados fragmentam a MO morta em frações menores, que podem ser consumidas por outros organismos (Gessner et al., 1999).

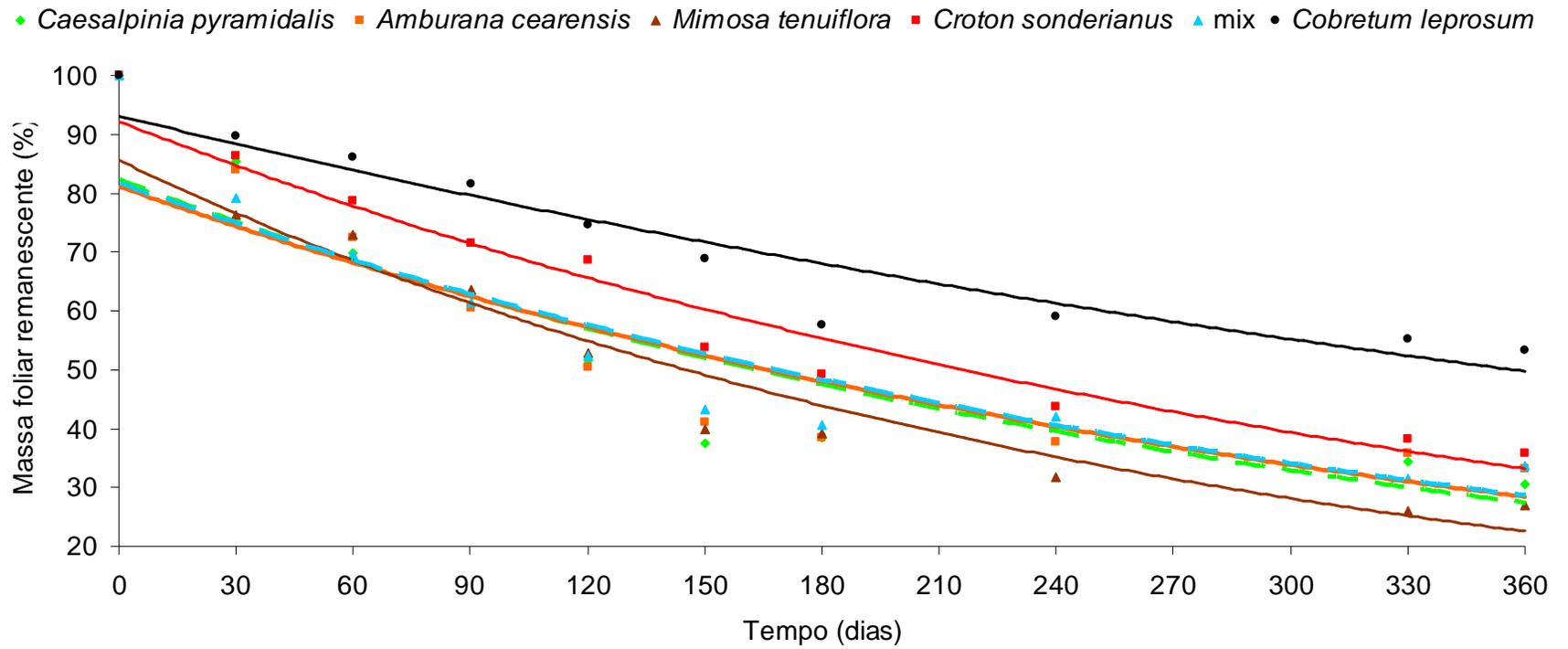
Assim, a menor decomposição e maior tempo de meia-vida ( $T_{1/2}$ ) das folhas de *Combretum leprosum* (mofumbo) podem ser atribuídas às suas estruturas coriáceas e ao seu tamanho relativamente grande, dificultando o acesso aos microorganismos do solo. As folhas de *Croton sonderianus* (marmeleiro), apesar de também terem tamanho grande, tiveram decomposição da massa e de todos nutrientes, com exceção do fósforo, maior que as de *C. leprosum*, devido possivelmente a sua estrutura mais tenra.

**Tabela 11** - Constante de decomposição foliar estimada para espécies de áreas de caatinga madura no período de um ano.

Tratamento	X <sub>0</sub> (%)	k (dias <sup>-1</sup> )	T <sub>½</sub> (dias <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>
	N remanescente (Nr) <sup>1</sup>			
<i>Caesalpinia pyramidalis</i> (catingueira)	88,95	0,0023a	301,30b	0,86
<i>Amburana cearensis</i> (cumaru)	91,12	0,0020a	346,50ab	0,75
<i>Mimosa tenuiflora</i> (jurema- preta)	90,87	0,0035a	198,00c	0,87
<i>Croton sonderianus</i> (marmeleiro)	86,83	0,0021a	330,00b	0,88
Mix	90,35	0,0025a	277,20b	0,91
<i>Cobretum leprosum</i> (mofumbo)	72,03	0,001a	693,00a	0,46
	P remanescente (Pr) <sup>1</sup>			
<i>Caesalpinia pyramidalis</i> (catingueira)	70,41	0,007a	99,00b	0,77
<i>Amburana cearensis</i> (cumaru)	58,59	0,006a	115,50a	0,70
<i>Mimosa tenuiflora</i> (jurema- preta)	65,94	0,007a	99,00b	0,77
<i>Croton sonderianus</i> (marmeleiro)	133,16	0,006a	115,50 a	0,80
Mix	67,16	0,007a	99,00b	0,75
<i>Cobretum leprosum</i> (mofumbo)	37,63	0,006a	115,50a	0,64
	K remanescente (Kr) <sup>1</sup>			
<i>Caesalpinia pyramidalis</i> (catingueira)	59,33	0,0071b	97,61 b	0,77
<i>Amburana cearensis</i> (cumaru)	44,76	0,0072b	96,25 b	0,70
<i>Mimosa tenuiflora</i> (jurema- preta)	59,57	0,0072b	96,25 b	0,83
<i>Croton sonderianus</i> (marmeleiro)	42,58	0,0096a	72,19 c	0,81
Mix	67,85	0,0075b	92,40b	0,82
<i>Cobretum leprosum</i> (mofumbo)	38,10	0,0067b	103,43a	0,67
	Massa remanescente (Msr) <sup>1</sup>			
<i>Caesalpinia pyramidalis</i> (catingueira)	82,1	0,0031b	223,55 b	0,84
<i>Amburana cearensis</i> (cumaru)	81,1	0,0029b	238,97 b	0,83
<i>Mimosa tenuiflora</i> (jurema- preta)	85,6	0,0037a	187,30 c	0,93
<i>Croton sonderianus</i> (marmeleiro)	92,2	0,0028b	247,50 b	0,96
Mix	81,6	0,0029b	238,97 b	0,88
<i>Cobretum leprosum</i> (mofumbo)	93,1	0,0017c	407,65 a	0,90

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Duncan ; p < 0,05. <sup>(1)</sup> Modelo para Nr, Pr, Kr e Msr = Ae<sup>(-kt)</sup>, onde A: N, P, K e Ms (% da quantidade inicial) contidos no compartimento mais facilmente mineralizável; k: taxa constante de liberação de massa e nutrientes do compartimento A; t: tempo em dias; Nr, Pr, Kr e Msr (% da quantidade inicial) contidos no compartimento de mais difícil mineralização (recalcitrante).

A maior velocidade de decomposição da *Mimosa tenuiflora* (jurema – preta) e da *Caesalpinia pyramidalis* (catingueira), que são leguminosas, pode ser explicada pelos seus maiores teores de nitrogênio (Webster & Benfield, 1986) além do menor tamanho dos folíolos, especialmente com relação à *Mimosa tenuiflora* (jurema preta).



**Figura 15-** Massa foliar remanescente (%), por um período de 360 dias, em área de caatinga madura.

Esperava-se que *Mimosa tenuiflora* (jurema preta) tivesse decomposição de massa foliar significativamente maior que a da *Caesalpinia pyramidalis* (catingueira) devido ao seu teor de nitrogênio, em geral maior, que o da *Caesalpinia pyramidalis* (catingueira) (Tabela 12).

**Tabela 12** – Concentrações de nitrogênio, fósforo e potássio em folhas de espécies de caatinga antes e após 360 dias de decomposição, em campo.

Espécies	Nutrientes iniciais			Nutrientes aos 360 dias		
	N (g/kg)	P(g/kg)	K(g/kg)	N(g/kg)	P (g/kg)	K(g/kg)
<i>Caesalpinia pyramidalis</i> (catingueira)	13,18	2,48	4,75	17,13	0,51	0,88
<i>Amburana cearensis</i> (cumaru)	10,22	1,71	4,59	14,68	0,5	0,63
<i>Mimosa tenuiflora</i> (jurema- preta)	15,68	1,82	3,03	17,02	0,57	0,55
<i>Croton sonderianus</i> (marmeleiro)	10,62	0,86	12,22	13,42	0,44	0,68
Mix*	9,82	2,92	4,94	14,38	0,64	0,71
<i>Cobretum leprosum</i> (mofumbo)	12,26	2,02	3,39	9,53	0,46	0,44

\*Conjunto de 12 espécies arbóreas de áreas de caatinga madura.

A semelhança na decomposição do conteúdo de massas pode ser justificada pelas maiores quantidades de polifenóis e lignina presentes nas folhas da *Mimosa tenuiflora* (jurema preta) (Menezes Junior et al.,2008). Presença de inibidores químicos e lignina estão entre os fatores relacionados à menor velocidade de decomposição (Webster & Benfield, 1986).

Apesar de todas as espécies terem uma decomposição mais rápida nos primeiros dias em que o material foliar foi adicionado ao solo, à espécie *Mimosa tenuiflora* (jurema preta) teve a decomposição mais rápida de todas as espécies, a mesma possui folhas mais tenras e menores, possivelmente sendo um material mais lábil. As espécies com folhas mais coriáceas apresentaram um processo mais lento de decomposição, devido a suas folhas serem constituídas por materiais mais resistentes, portanto, *Cobretum leprosum* (mofumbo), apresentou 23% de lignina na folha, enquanto espécies como *Caesalpinia pyramidalis* (catingueira) e *Mimosa tenuiflora* (jurema preta) apresentaram percentagens menores, obtendo maior decomposição (Tabela 13).

**Tabela 13.** Percentagem de lignina na massa seca das folhas das espécies estudadas em áreas de caatinga madura.

ESPÉCIE	% LIGNINA
<i>Caesalpinia pyramidalis</i> (catingueira)	7
<i>Amburana cearensis</i> (cumaru)	12
<i>Mimosa tenuiflora</i> (jurema- preta)	13
<i>Croton sonderianus</i> (marmeleiro)	18
Mix*	23
<i>Cobretum leprosum</i> (mofumbo)	28

\*Conjunto de 12 espécies arbóreas de áreas de caatinga madura.

A lenta decomposição do *Cobretum leprosum* (mofumbo) pode ser ainda em consequência do mecanismo de adsorção ou da queda da taxa de biomassa no solo. A decomposição é um processo complexo e multifacetado, envolvendo grande número e variedade de microorganismos do solo. Assim, a degradação de diferentes resíduos depende das condições locais e regionais como clima, tipo de solo, vegetação, fauna e microorganismos decompositores (Tauk, 1990).

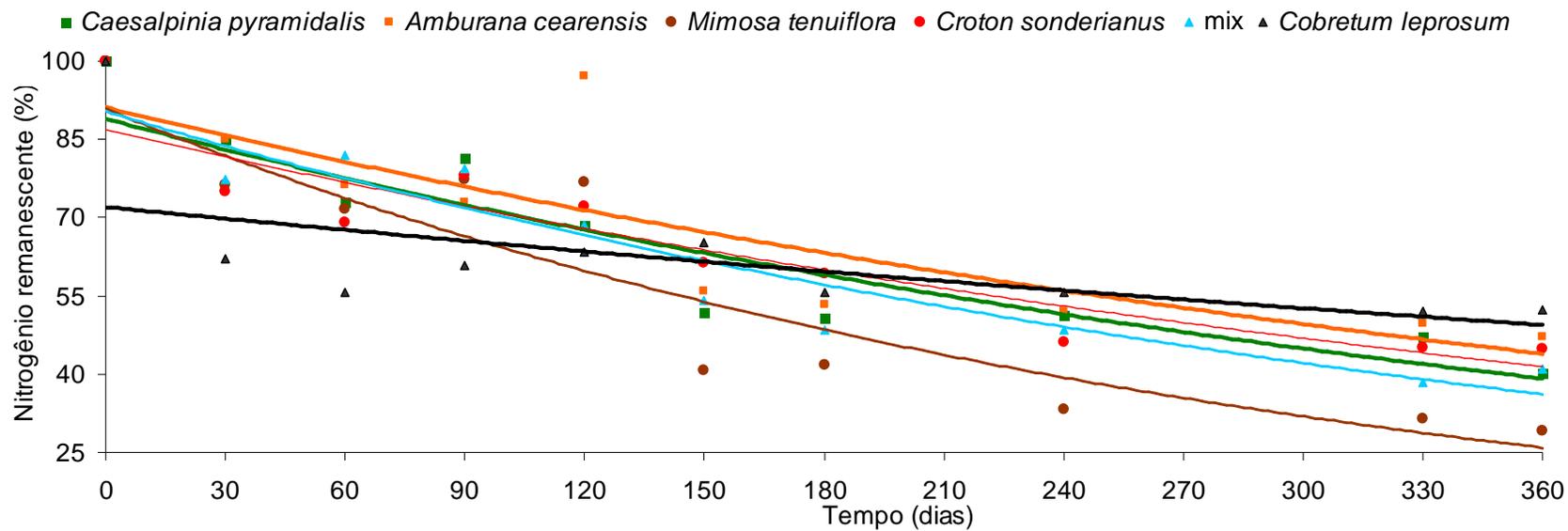
De acordo com Souto (2006) a decomposição da serapilheira é maior nos primeiros seis meses de exposição na superfície do solo, no início da estação chuvosa, refletindo atividade intensa dos microrganismos; o processo de decomposição da serapilheira é influenciado pela interação entre pluviosidade e temperatura, que regulam a velocidade de decomposição ao longo do tempo e proporcionam maior atividade microbiana à noite; os fatores limitantes para a atividade microbiana são principalmente os baixos conteúdos de água e elevadas temperaturas do solo.

Com exceção do *Cobretum leprosum* (mofumbo), após 360 dias, a concentração de nitrogênio na massa foliar final de todas as espécies foi maior que a concentração de nitrogênio na massa foliar inicial (Tabela-12). Isto ocorreu porque a perda de massa foliar foi maior que a de N (Tabela 10). Possivelmente, parte deste N foi imobilizada na biomassa das populações microbianas que atuaram na decomposição da massa foliar.

De acordo com Middleton & Mckee (2001), populações de bactérias e fungos colonizam o detrito vegetal e decompõem compostos estruturais. O detrito proveniente de vegetais vasculares, associados aos microrganismos

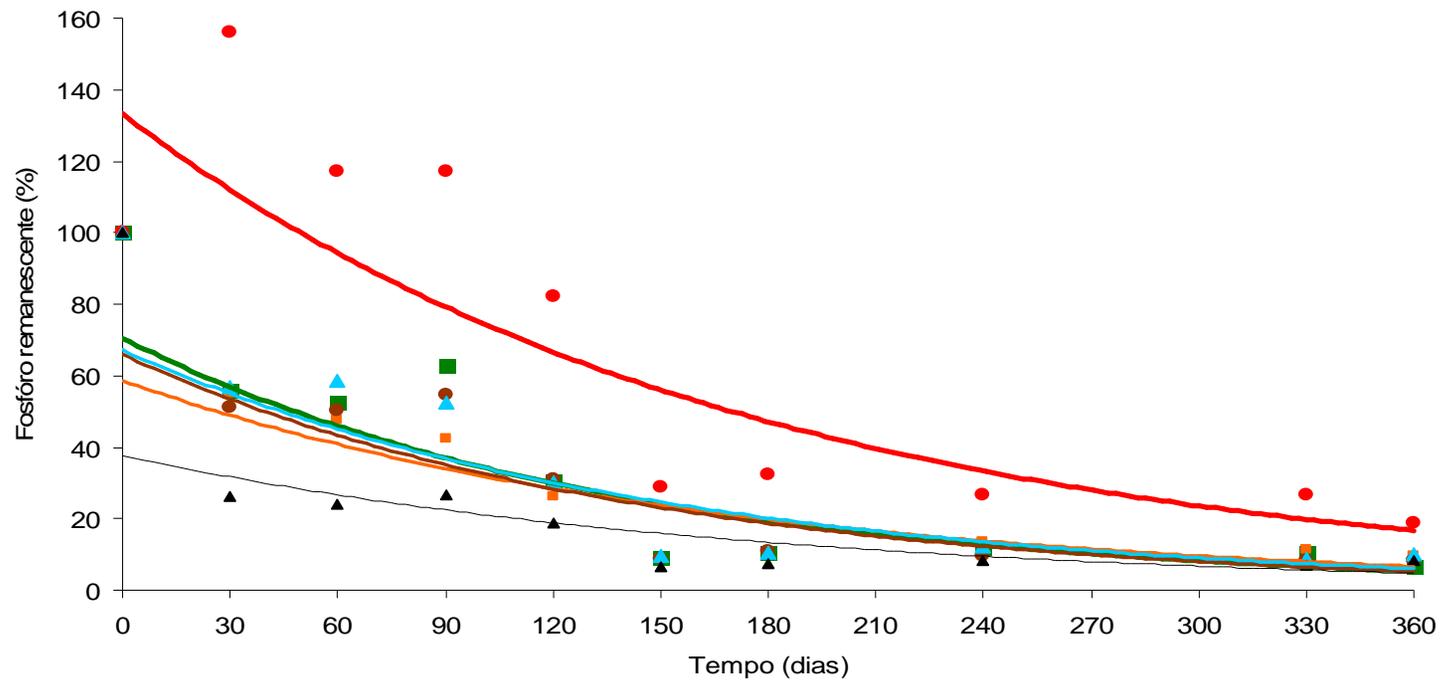
aumenta o valor nutricional pelo acréscimo em nitrogênio, o que atrai invertebrados que promovem fragmentação mecânica e aceleram a ação de bactérias e fungos (Odum & Heald 1975).

Luizão & Schubart (1986) constataram que a concentração de nitrogênio nas folhas em decomposição apresenta oscilações no decorrer da permanência do material no solo. Estes autores registraram aumentos na concentração de nitrogênio, originado pelos resíduos do solo, juntamente com a excreção dos microorganismos da fauna do solo e da adição pela água da chuva.

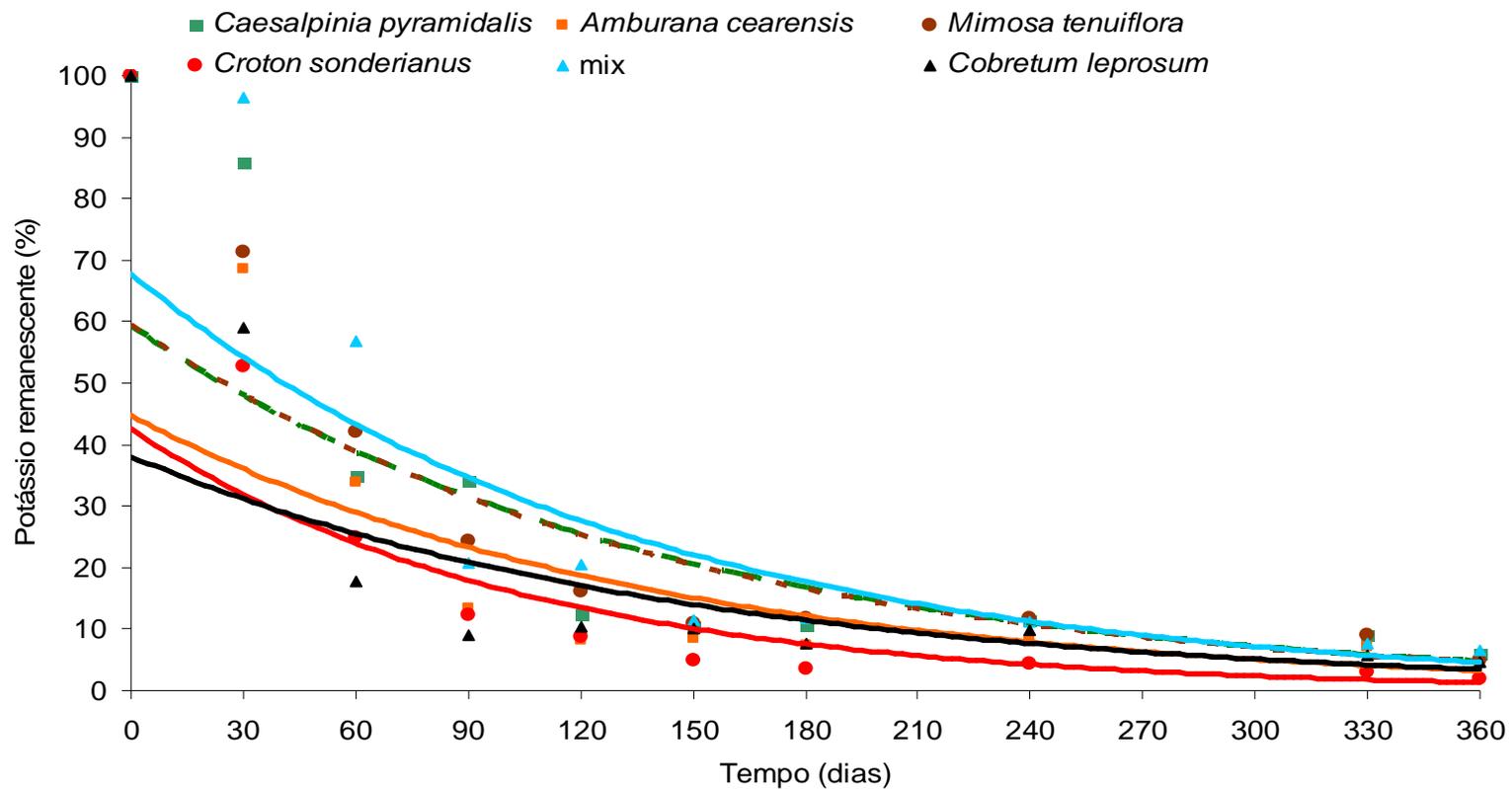


**Figura 16-** Conteúdo de nitrogênio remanescente (%), por um período de 360 dias, em área de caatinga madura.

■ *Caesalpinia pyramidalis* ■ *Amburana cearensis* ● *Mimosa tenuiflora* ● *Croton sonderianus* ▲ mix ▲ *Cobretum leprosum*



**Figura 17-** Conteúdo de fósforo remanescente (%), por um período de 360 dias, em área de caatinga madura.



**Figura 18-** Conteúdo de potássio remanescente (%), por um período de 360 dias, em área de caatinga madura.

Em geral, para todas as espécies, o fósforo remanescente nas folhas em decomposição apresentou oscilações, sendo o maior P remanescente registrado na espécie *Croton sonderianus* (marmeleiro), tendo após 360 dias em torno de 81% do fósforo liberado enquanto as folhas das espécies *Caesalpinia pyramidalis* (caatingueira), *Amburana cearensis* (cumaru), *Cobretum leprosum* (mofumbo) e o mix liberaram mais de 90% do fósforo ao final de 360 dias (Figura 17 e Tabela 10). A tendência de enriquecimento de fósforo pode ser considerada como um fato passível de ocorrência e pode estar associada à ação microbiana, principalmente com as micorrizas

A soma de muitos fatores caracteriza a decomposição dos resíduos depositados no solo e as condições edafoclimáticas da região (Correia & Andrade, 1999). Os dados do presente estudo estão de acordo com Gama-Rodrigues et al., (2003), que obtiveram liberações de nutrientes dos folhedos para o solo variando de espécies para espécies, estas liberações de nutrientes foram controladas por vários fatores, principalmente o microambiente e microorganismos.

Como a decomposição é feita por microorganismos e estes possuem exigências muito específicas em relação a sua nutrição, cada tipo de vegetação também terá o tipo predominante de microorganismos que a decompõem (Primavesi, 1988).

## **5. CONCLUSÕES**

### **5.1. Experimento 1**

A deposição de serapilheira foi sazonal, ocorrendo mais no período seco, em todos os estádios sucessionais e nos dois anos. As frações seguiram este padrão, exceto pelos galhos que tiveram maior queda na época de chuvas. A deposição foi maior no segundo ano, principalmente de folhas, possivelmente por causa da pouca chuva no período anterior ao primeiro ano.

As folhas constituíram a fração predominante da serapilheira, em todos os estádios, enquanto os galhos foram os que menos contribuíram.

O padrão de aporte de nutrientes da serapilheira ao solo ao longo do tempo foi semelhante entre todos os estádios. Os estádios intermediário e final de caatinga apresentaram aportes de fósforo e potássio bastante semelhantes tanto na serapilheira como nas frações galho, folha e miscelânea;

As maiores concentração de NPK foram observadas na fração miscelânea do estádio inicial, enquanto a fração galho do estádio pasto obteve as menores concentrações de N, P e K;

Os maiores conteúdos de N, P, e K foram observados na fração de folhas da serapilheira; a transferência de nutrientes para o solo através da serapilheira produzida obedeceu a seguinte ordem:  $N > K > P$ .

## 5.2. Experimento 2

De forma geral, a retranslocação de nitrogênio foi, em média, maior do que de potássio e de fósforo para as espécies estudadas.

Todas as espécies retranslocaram nitrogênio e fósforo, mas quatro das espécies estudadas não retranslocaram potássio (*Adenantha colubrina* (angico), *Caesalpinia pyramidalis* (catingueira), *Jatropha phyllacanta* (favela) e *Aspidosperma pyrifolium* (pereiro));

*Amburana cearensis* (cumaru), *Piptadenia stipulacea* (jurema-branca) e *Croton sonderianus* (marmeleiro) foram as espécies que mais retranslocaram e *Jatropha phyllacanta* (favela) e *Caesalpinia pyramidalis* (catingueira) as que menos retranslocaram nutrientes;

O fósforo foi o nutriente que apresentou maior relação de eficiência de uso pelas espécies estudadas, enquanto o potássio manteve relação intermediária e o nitrogênio apresentou as menores relações de EU.

## 5.3. Experimento 3

As folhas de todas as espécies perderam mais biomassa e nutrientes nos primeiros 60 dias de decomposição que nos 300 dias seguintes.

De modo geral, as folhas de *Mimosa tenuiflora* (jurema preta), *Caesalpinia pyramidalis* (catingueira), *Amburana cearensis* (cumaru) e a mistura de folhas de todas as espécies tiveram maior decomposição que as folhas de *Cobretum leprosum* (mofumbo).

Todas as espécies ao final de um ano perderam mais da metade dos seus nutrientes iniciais, refletindo uma rápida ciclagem na caatinga, apesar de ser um ecossistema semiárido.

## **6- CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Antes da abicissão, as folhas senescentes das principais espécies da caatinga, em Santa Terezinha, retranslocaram nitrogênio e fósforo mas nem todas retranslocaram potássio.

Estas informações são de grande valia nos estudos de ecologia de caatinga, pois antes do presente trabalho não se tinha informações se espécies dominantes de caatinga retranslocavam todos os macronutrientes ou se não retranslocam, é necessário que repitam os estudos de retranslocação durante vários ciclos vegetativos em cada espécie para assegurar se as informações encontradas neste trabalho se repetem ao longo do tempo.

A dinâmica de deposição da serapilheira nas áreas estudadas (pasto, estágio inicial, intermediário e final) foi relacionada à sazonalidade existente neste ambiente de caatinga, marcado pelo clima semi-árido, com chuvas irregulares. As maiores deposições ocorreram no período seco, em todos os estádios sucessionais. As folhas foram responsáveis pela maior parte da serapilheira produzida por todos os estádios sucessionais, seguidas da miscelânea e de galhos. As maiores concentrações e conteúdos de nitrogênio, fósforo e potássio na serapilheira estavam no estágio inicial e as menores no pasto.

Ao fim de um ano da queda, as folhas das principais espécies da caatinga da área perdem mais de metade de seus conteúdos de nutrientes, refletindo uma rápida ciclagem na caatinga, apesar da limitação hídrica marcantes neste tipo de ecossistema.

Através dos temas abordados na presente tese conclui-se que a reciclagem dos nutrientes é um dos aspectos mais importantes para a sobrevivência de todos os estádios sucessionais de caatinga.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABELHO, M. From litterfall to breakdown in streams: a review. **The Scientific World**, London, v.1, p. 656-680. 2001.

AERTS, R.; CHAPIN III, F. S. The mineral nutrition of wild plants revisited: A reevaluation of processes and patterns. **Adv. Ecol. Res.**, v.30, p.1-67, 2000.

Aerts, R. Nitrogen partitioning between resorption and decomposition pathways: a trade-off between nitrogen use efficiency and litter decomposability. **Oikos**, 80:603-606, 1997

AERTS, R. Nutrient resorption from senescing leaves of perennials: are there general patterns. **Journal of Ecology**, v.84, p.597-608, 1996.

AERTS, R. Nutrient use efficiency in evergreen and deciduous species from heatlands. **Oecologia**, v.84, p.391-397, 1990.

AERTS, R. The advantages of being evergreen. **Trends Ecol. Evol.**, v.10, p.402-407, 1995.

AERTS, R.; VERHOEVEN, J. T. A.; WHIGHAM, D. F. Plant-mediated controls on nutrient cycling in temperate ferns and bogs. **Ecology**, v.80, p.2170-2181, 1999.

ALBAUGH, T. J.; ALLEN, H. L.; FOX, T. R. Nutrient use and uptake in *Pinus taeda*. **Tree Physiology**, v. 28, 1083–1098, 2008.

Altieri, M. 1998. **Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável**. 4ª edição. Editora UFRGS, Porto Alegre.

AMORIM, L. B. **Caracterização da serrapilheira em caatinga preservada e mudanças no carbono do solo após o desmatamento sem queima.**

Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, 2009, 75 p.

ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods.** Wallingford: CAB, p.36-90, 1993.

ANDERSON, J. M.; SWIFT, M. J. Decomposition in tropical forests. In: SUTTON, S. L.; WHITMORE, T. C.; CHADWICK, A. C. (eds.). Tropical rain forest: ecology and management. **Oxford: Blackwell Scientific Publications,** p. 287-309, 1983.

ANDRADE LIMA, D. 1989. **Plantas das Caatingas.** Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. 243 p.

ARATO, H.D.; MARTINS, S. V.; FERRARI, S.H. Produção e decomposição de serrapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG. **Revista Árvore,** v.27, n.5, p.715-721, 2003.

ARAÚJO, E.A. **Qualidade do Solo em ecossistemas de mata nativa e pastagens na região leste do Acre, Amazônia Ocidental.** 2008. 233 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

ARAÚJO, J. F.; HARIDASAN, M. Y. Relação entre deciduidade e concentrações foliares de nutrientes em espécies lenhosas do cerrado. **Revista Brasil. Bot.,** v.30, n.3, p.533-542, 2007.

ARAÚJO, M. M.; LONGHI, S. J.; BARROS, P.L.C.; BRENA, D.A. Caracterização da chuva de sementes, banco de sementes do solo e banco de plântulas em floresta estacional decidual Riparia Cachoeira do Sul, RS, Brasil. **Scientia Forestalis,** v. 66, p. 128 - 141. 2004.

ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V. Fluxo de nutrientes através da precipitação interna e escoamento pelo tronco em floresta natural secundária no Parque Estadual da Serra do Mar - Núcleo Cunha - SP. **Bol. Técn. IF**, v. 41, n. 1, p.37-58, 1987.

ARROYO-MORA, J. P., G. A. SÁNCHEZ-AZOFEIFA, M. E. R. KALACSKA, B. RIVARD, J. C. CALVO-ALVARADO & D. H. JANZEN. 2005. Secondary forest detection in a Neotropical dry forest landscape using Landsat 7 ETM+ and IKONOS imagery. **Biotropica**, 37: 498–507.

AYRES, E.; STELTZER, H.; SIMMONS, B. L.; SIMPSON, R.T.; STEINWEG, J.M.; WALLENSTEIN, M. D.; MELLOR, N.; PARTON, W. J. ; MOORE, J. C.; WALL, D.H. Home-field advantage accelerates leaf litter decomposition in forests. **Soil Biology & Biochemistry**, 41: 606-610, 2009.

BAGGIO, A. J. **Estudio sobre el sistema agroforestal tradicional de la bracinga (*Mimosa scabrella* Benth.) en Brasil**: productividad, manejo de residuos y elaboracion de compost. 1994. 242 f. Tese (Doutorado) – Universidade Politecnica de Madrid, Escuela Tecnica Superior de Ingenieros de Montes.

BARBOSA, J.H.C.; FARIA, S.M. Aporte de serrapilheira ao solo em estágios sucessionais florestais na reserva biológica de Poço das Antas, Rio de Janeiro, Brasil. **Rodriguésia**, v. 57, n. 3, p.461-476. 2006.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: GENESIS, p. 9-23. 1999.

Begon, M., J. L. Harper & C. R. Townsend. Ecology: individuals, population and communities. **Blackwell**, Oxford. 1996.

BERENDESE, F. & AERTS, R. Nitrogen-use-efficiency: a biologically meaningful definition. **Funct. Ecol.**, v.1, p.293-296, 1987.

BOEGER, M. R. T. **Morfologia foliar e aspectos nutricionais de espécies arbóreas em três estádios sucessionais, de Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas, Paranaguá, PR. 2000.** 150 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Curitiba.

BOHN, H. L.; MCNEAL, B. L.; O'CONNOR, G. A. **Soil chemistry**, New York: Wiley-Interscience, 1979, 329 p.

BORCHET, R. Phenology and ecophysiology of tropical trees: *Erythrina poeppigiana* O.F.Cook. **Ecology**, v. 5, n.6, p.1065-1074, 1980.

BRAY, J. R.; GORHAM, E. Litter production in Forest of the world. **Advances in Ecology Research**, [S.l.], p.101-157, 1964.

BRECKLING, B.; MÜLLER, F.; REUTER, H.; HÖLKER, F.; FRÄNZLE, O. Emergent properties in individual-based ecological models – introducing case studies in an ecosystem research context. **Ecological Modelling**, 186: 376-388, 2005.

BREMNER, J.M.; MULVANEY, C.S. Nitrogen-total. In: Page, A.L.; Miller, R.H. & Keeney, D.R. eds. **Methods of soil analysis. Chemical and microbiological properties**. Part 2. Madison, ASA-SSSA, 1982. p. 595-624.

BREYMEYER, A.; DEGORSKI, M.; REED, D. Decomposition of pine-litter organic matter and chemical properties of upper soil layers: transect studies. **Environmental Pollution**, Barking, v.98, p.361-367, 1997.

BRYANT, J. P.; CHAPIN III, F. S. & KLEIN, D. R. Carbon/Nutrient balance of boreal plants in relation to vertebrate herbivory. **Oikos**, v.40, p.357-368, 1983.

BURESH, R.J. & TIAN, G. Soil improvement by trees in sub-Saharan Africa. **Agrofor. Syst.**, 38:51-76, 1998.

CALDEIRA, M. V. W. **O papel das folhas na ciclagem de nutrientes.** Disponível em: <<http://www.bc.furb.br/consulta>>. Acesso em: 10 jun. 2005.

CAMPOS, M.L.; MARCHI, G.; LIMA, D.M.; SILVA, C.A. **Ciclagem de nutrientes em floretas e pastagens.** Boletim Agropecuário, n.65, Lavras: UFLA, 2003, 62p.

CECCON, E.; HUANTE, P.; RINCON, E. Abiotic factors influencing tropical dry forests regeneration. **Brazilian Archives of Biology and Technology.** v.49, n.2, p. 305-312, 2006.

CHABOT, B.F. & HICKS, D. J.. The ecology of leaf life spans. **Annu. Rev. Ecol. System.**, v.13, p.229-259, 1982.

CHAPIN, F.S. The mineral nutrition of wild plants. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v.11, p.233-260, 1980.

CHAVE, J.; NAVARRETE, D.; ALMEIDA,S.; ALVAREZ, E.; ARAGÃO, L.E.O.C.; BONAL, D.; CHÂTELET, P.; SILVA-ESPEJO, J. E.; GORET, J.-Y.; HILDEBRAND, P. VON.; JIMÉNEZ, E.; PATIÑO, S.; PEÑUELA, M.C.; PHILLIPS, O.L.; STEVENSON, P.; MALHI, Y. Regional and seasonal patterns of litterfall in tropical South America. **Biogeosciences**,v. 7, p.43–55, 2010.

CIANCIARUSO, M.V.; PIRES, J.S.R.; DELITTI, W. B. C.; SILVA, E. F.L.P. Produção de serapilheira e decomposição do material foliar em um cerradão na Estação Ecológica de Jataí, município de Luiz Antônio, SP, Brasil **Acta botânica brasileira**, v. 20, n.1, p.49-59. 2006.

CLEVELÁRIO JR., J. **Distribuição de carbono e elementos minerais em um ecossistema florestal tropical úmido baixo-montano.** Tese de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, 1996, 135p.

CORREIA, M.E.F.; ANDRADE, A.G. **Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes.** In: (Eds.). SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. Fundamentos da

Matéria Orgânica do Solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Genesis, 1999, 197-226p.

CORREIA, M. E. F.; ANDRADE, A. G. **Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes.** In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese, 1999. 490 p.

COSTA, C. C. A.; SOUZA, A. M.; SILVA, N. F.; CAMACHO, R. G.V.; DANTAS, I. M. Produção de serapilheira na caatinga da Floresta Nacional do Açú-RN. **Revista Brasileira de Biociências**, v.5, supl. 1, p.246-248, 2007.

COVELO, F. & GALLARDO, A. Effect of pine harvesting on leaf nutrient dynamics in young oak trees at NW Spain. **For. Ecol. Manage**, v.167, p.161-172, 2002.

CUNHA, G.M. **Ciclagem de nutrientes e conteúdo de fósforo orgânico do solo em florestas montanas e em Eucalyptus citriodora, na região norte fluminense, RJ.** Tese de Doutorado, Campos dos Goytacazes, UENF, 2002. 121p.

CUNHA, G. M. ; GAMA-RODRIGUES, A. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; VELOSO, A. C. X. Biomassa e estoque de carbono e nutrientes em florestas montanas da mata atlântica na região norte do estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 33, p. 1175-1185, 2009.

CUNHA., G.C.; GRENDENE, L.A.; DURLO, M.A.; BRESSAN, D.A. Dinâmica nutricional em floresta estacional decidual com ênfase aos minerais provenientes da deposição da serapilheira. **Ciência Florestal**, v.3, n.1, p. 35-64, 1993.

DAN, A. M. M. S. **Engenharia do meio ambiente.** Seropédica: UFRRJ. Imprensa Universitária. 1999. 64p. (Apostila).

DANTAS, M. **Produção de “Litter” e seu conteúdo de nutrientes em Floresta Primária e Capoeira na Amazônia Oriental.** In: Embrapa.Cpatu. Pesquisas sobre utilização e conservação do solo na Amazônia Oriental: relatório final do convênio Embrapa-Cpatu-GTZ. Belém, 1986, 291p. (Documentos, 40).

DANTAS, S.V. **Dinâmica da produção e decomposição de folhedo e ciclagem de nutrientes em um ecossistema de Caatinga arbórea no agreste da Paraíba.** 2003, 32 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia.

Denslow, J. S. Functional group diversity and responses to disturbance. Pp. 127-152 em G. Orians & R. Dirzo (eds.), Biodiversity and ecosystem processes in tropical forests. **Springer-Verlag**, New York, 1996.

DIAS. H. C. T.; OLIVEIRA FILHO, A. T. Variação temporal e espacial da produção de serapilheira em uma floresta estacional semidecídua Montana em Lavras, MG. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 21, n. 1, p. 11-26, 1997.

DIAS, H.C.T.; OLIVEIRA FILHO, A.T. Fenologia de quatro espécies arbóreas de uma floresta estacional semidecídua montana em Lavras-MG. **Revista Cerne**, v.2, p.38-42, 1996.

DIAS. H. C. T.; OLIVEIRA FILHO, A. T. Variação temporal e espacial da produção de serapilheira em uma floresta estacional semidecídua Montana em Lavras, MG. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 21, n. 1, p. 11-26, 1997.

DISTEL, R. A.; MORETTO, A. S. & Didoné, N. G. Nutrient resorption from senescing leaves in two *Stipa* species native to central Argentina. **Austral Ecol.**, v.28, p.210-215. 2003.

EAMUS, D.; PRICHARD, H. A cost-benefit analysis of leaves of four Australian savanna species. **Tree Physiol.** Vv.18, p.537-545, 1998.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p. il.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Solos/Embrapa Informática Agropecuária/Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.

ENGEL, V. L. **Introdução aos Sistemas Agroflorestais**. Botucatu: FEPAF, Recursos Naturais/FCA - Unesp/Botucatu. 1999. 70 p.

Enoki, T. & Kawaguchi, H.. Nitrogen resorption from needles of *Podocarpus thunbergii* Parl. Growing along a topographic gradient of soil nutrient availability. **Ecol. Res.** 14: 1-8, 1999.

ESPIG, S. A.; Freire, F.J.; Marangon, L. C.; Ferreira, R. L. C.; Freire, M. B. G. S.; Espig, D. B. Sazonalidade, composição e aporte de nutrientes da serapilheira em fragmento de mata atlântica. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.33, n.5, p.949-956, 2009.

FASSBENDER, H.W. **Ciclos da matéria orgânica e dos nutrientes em ecossistemas florestais dos trópicos**. In: Cabala-Rosand, P. (Ed). Reciclagem de nutrientes e agricultura de baixos insumos nos trópicos. Ilhéus, Bahia. CEPLAC, 1985, 203- 230p.

FASSBENDER, H.W. **Modelos edafológicos de sistemas agroflorestais**. Turrialba, CATIE. 1993, 491p.

FERNANDES, A. **Fitogeografia brasileira**. Fortaleza: Multigraf Editora, 1998.

FERNANDES, E.C.M. (Eds). Agroforestry in sustainable agricultural systems. Washington, D.C., CRC Press, **Advances in agroecology**, p. 1-31, 1999.

FERREIRA, R. L. C. ;JUNIOR, M. A. L. ;ROCHA, M. R.;SANTOS. M. V. F.;LIRA, M. A.; BARRETO, L. P. Deposição e acúmulo de matéria seca e nutrientes em serapilheira em um bosque de sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.).**Revista Árvore**, v.31(10), p.7-12, 2007.

FERRI, M.G. **Fisiologia vegetal 1**. 2. ed. São Paulo: EPU. 1985. 362p.

FIGUEIREDO FILHO, A.; MORAES, G.F.; SCHAAF, L.B.; FIGUEIREDO, D.J. Avaliação estacional da deposição de serapilheira em uma floresta ombrófila mista localizada no sul do Estado do Paraná. **Ciência Florestal**, v.13, p.11 18, 2003.

FIFE, D. N.; NAMBIAR, E. K. S. Accumulation and retranslocation of mineral nutrients in developing needles in relation to seasonal growth of young radiata pine tree. **Annal of Botany**, v.50, n.6, p.817-829, 1982.

FREITAS, A.D.S.; SAMPAIO, E.V.S.B.; SANTOS, C.E.R.S. et al. Biological nitrogen fixation in tree legumes of the Brazilian semi-arid caatinga. **Journal of Arid Environments**, v.74, p.344-349, 2010.

GAMA-RODRIGUES, A.C. **Ciclagem de nutrientes por espécies florestais em povoamentos puros e mistos em solos de tabuleiro da Bahia, Brasil**. Tese de Doutorado, Viçosa, UFV, 1997. 107p.

GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F. & SANTOS, M.L. Decomposição e liberação de nutrientes do folheto de espécies florestais nativas em plantios puros e mistos no sudeste da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.1021-1031, 2003.

GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F. & COMERFORD, N.B. Biomass and nutrient cycling in pure and mixed stands of native tree species in Southeastern Bahia, Brazil. **Revista Brasileira de . Ciência do Solo**,v. 31, p. 287-298, 2007.

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**, v. 26, p. 193-207, 2002.

GAMA-RODRIGUES, A. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F. Balanço de carbono e nutrientes em plantio puro e misto de espécies florestais nativas no sudeste da Bahia. **Revista Brasileira de . Ciência do. Solo**, v. 32, p.1165-1179, 2008.

GAMA-RODRIGUES, E.F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O. (Eds). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, Gênese, p.227-243, 1999.

GESSNER, M.O.; CHAUVET E.; DOBSON M.A. perspective on leaf litter breakdown in streams. **Oikos**, Copenhagen, v. 85, p. 377-384, 1999.

GILLER, P. S. & MALMQVIST, B. 1998. The biology of streams and rivers: biology of habitats. **Oxford University Press**, Oxford, Great Britain. 296p.

GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000, 427 p.

GOLLEY, F. B. Nutrient cycling and nutrient conservation. In: GOLLEY, F. B. **Tropical Rainforest Ecosystem: structure and function**. 2ed. Amsterdam: Elsevier Science B. V., p. 137-156, 1996.

HAAG, H. P. **Ciclagem de nutrientes em florestas tropicais**. Campinas: Fundação Cargill, 1985, 144 p.

JACKSON, J.F. Seasonality of flowering and leaf-fall in a Brazilian subtropical lower montane moist forest. **Biotropica**, v. 10, n. 1, p. 38-42, 1978.

JARA, P.; MARTÍNEZ, E.; CAMPO, J. N and P dynamics in the litter layer and soil of Mexican semi-arid forests, state of Morelos. **Agriculture, Ecosystems and Environment** v. 130, p. 164–170, 2009.

JOLY, C. A. et al. Evolution of Brazilian phytogeography classification systems from the biodiversity conservations point of view. **Ciência & Cultura**, v.51, p.331-348, 1999.

JORDAN, C.F. Ciclagem de nutrientes e silvicultura de plantações na bacia amazônica. In: Cabala-Rosand, P. (Ed). **Reciclagem de nutrientes e agricultura de baixos insumos nos trópicos**. Ilhéus, Bahia. CEPLAC, p.187-202, 1985.

JORDAN, C.F. **Nutrient cycling in tropical forest ecosystems**. Georgia, John Wiley & Sons, p.190, 1985.

JORDAN, C.F. The nutrient balance of an Amazonian Rain Forest. **Ecology**, Athens, v.63,n.3, p.647-654, 1982.

JORDAN, H.; HERRERA, R. Tropical rain forests: are nutrients really critical. **American Naturalist**, Chicago, v. 117, n. 2, p. 167-180, 1981.

KELTY, M.J. The role of species mixtures in plantation forestry. **Forest Ecol. Manage.** v.233, 195–204, 2006

KILLINGBECK, K.T. Nutrient in senesced leaves: keys to the search for potential resorption and resorption proficiency. **Ecology**, v.77, p.1716-1727, 1996.

KNOPS, J. M. H.; KOENIG, W. D. & NASH III, T. H. On the relationship between nutrient use efficiency and fertility in forest ecosystems. **Oecologia** 110:550-556, 1997.

Kobe, R. K., Lepczyk, C. A., & Iyer, M. Resorption efficiency decreases with increasing green leaf nutrients in a global data set. **Ecology**. 86, 2780–2792. Ecological Society of America. (2005).

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

KONIG, F.G.; SCHUMACHER, M.V.; BRUN, E.J.; SELING, I. Avaliação da sazonalidade da produção de serapilheira numa Floresta Estacional Decidual no município de Santa Maria-RS. **Revista. Árvore**, v.26, n.4, p. 429-435, 2002.

KOUTROUBAS, D. S.; VERESOGLOU, D. S. & ZOUNOS. ANutrient Use Efficiency as a factor determining the structure of herbaceous plant communities in low-nutrient environments. **Journal of Agronomy & Crop Sciences** 184: 261-266, 2000.

LANDBERG, J.J.; GOWER, S.T.. Applications of physiological ecology to forest management. San Diego: **Academic Press**. p.19-50. 1997.

LEAL, I. R. Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil. **Megadiversidade**, v. 1. n. 1, p.139-146, 2005.

LEITÃO, A. C.; SILVA, O. A. Variação sazonal de macronutrientes em uma espécie arbórea de cerrado, na Reserva Biológica e Estação Experimental de Mogi-Guaçu, estado de São Paulo, Brasil. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v.55, n.84, p.127-136 2004.

LIMA, J.R.; MARCATO, C.; SOUZA, E.F.F.; BRONZATTO, L.A.; NASCIMENTO, M.P.R.; SANTANA, M.O.; QUADROS, R.M.B.; TRAJANO, V.A. **Programa de ação nacional de combate à desertificação e mitigação dos efeitos de seca: PANBrasil**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. 2004. 242p.

LIMA, A.L.S. **Relação entre longevidade foliar, nitrogênio e compostos secundários em folhas de leguminosas arbóreas.** Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2005, 85p.

LIMA, A. L. S.; ZANELLA, F.; SCHIAVIANTO, M. A.; HADDAD, C. R. B. N  
lability and mechanisms of N conservation in deciduous and semideciduous  
tropical forest legume trees. **Acta bot. bras.**, v.20(3), p.625-632, 2006.

LIMA, W. P. Entrada de nutrientes pela chuva e pela lixiviação das copas em  
florestas homogêneas de pinheiros tropicais e em vegetação natural de  
cerradão. *Acta Limnologica Brasiliensis*, São Carlos, v. I, p. 59-62, 1986

LOPES, A. S. Manejo: aspectos químicos. In: PEREIRA, V. P.; FERREIRA,  
M.E.; CRUZ, M.C.P.,(Eds). **Solos altamente suscetíveis à erosão.**  
UNESP/SBCS, Jaboticabal, São Paulo. p.79-111, 1994.

LOWMAN, M.D. Litterfall and leaf decay in three Australian rainforest  
formations. **Journal of Ecology**, v.76, p.451-465, 1988.

LUIZÃO, F. J. Carbono e nutrientes na liteira em sistemas agroflorestais na  
Amazônia Central. In: Fertbio 2000. **Guia do Congressista**, Santa Maria-RS,  
2000, 216p.

LUIZÃO, F.J.; SCHUBART, H.O.R. "Produção e decomposição de liteira em  
floresta de terra firme da Amazônia Central." In: **Acta Limnológica Brasileira**,  
1, 575-600, 1986.

MAIA, G. N. **Caatinga arvores e arbustos e suas utilidades.** São Paulo: D&Z  
Computação 2004.

MALAVOLTA, E. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e  
aplicações.** Associação Brasileira para Pesquisa do Potássio e do Fosfato.  
Piracicaba, São Paulo. 201pp. 1989.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação brasileira para a pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997, 319 p.

MARIANO, K. R. S.; AMORIM, S. M. C.; MARIANO JÚNIOR, C. A. S.; SILVA, K. K. A. Decomposição e liberação de nutrientes da fração foliar de *Coccoloba ramosissima* Weld. *Revista Brasileira de Biociências*, Porto Alegre, v. 5, supl. 1, p. 372-374, 2007.

MARTINS, C.M.; GALINDO, I.C.L.; SOUZA, E.A.; POROCA, H.A.; ANDRADE, F.M.; ANDRADE, B.M.T.; ALMEIDA NETO, L.A.; LIMA, J.F.W.F. Fracionamento físico da serrapilheira presente em áreas em processo de degradação no semi-árido pernambucano. In.: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 17. 2008, Rio de Janeiro. **Anais Rio de Janeiro: UFRRJ/Embrapa Solos/ Embrapa Agrobiologia**, 2008. CD-ROM.

MARTINS, S. V.; RODRIGUES, R. R. Produção de serrapilheira em clareiras de uma floresta estacional semidecidual no município de Campinas, SP. **Revista Brasileira de Botânica**, v.22, n. 3, p.405-412, 1999.

MASON, C. F. 1980. **Decomposição**. Trad. CAMARGO, O. A. São Paulo: EPU: Editora da Universidade de São Paulo.

MAY, J. D. & KILLINGBECK, K. T. Effects of preventing nutrient resorption on plant fitness and foliar nutrient dynamics. **Ecology**, v.73, p.1868-1878, 1992.

MAYER, P. M. Ecosystem and decomposer effects on litter dynamics along an old field to old-growth forest successional gradient. **Acta Oecologica**, v.33, p.222-230, 2008.

MAYA, Y.; ARRIAGA, L. Litterfall and phenological patterns of the dominant overstorey species of a desert scrub community in north-western Mexico. **Journal of Arid Environments**, v. 34, n. 1, p.23–35, 1996.

MENEZES JÚNIOR, J. C. *et al.* Diagnose foliar e translocação de nutrientes em plantas de *Bixa orellana* L. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, v.6, n.1, p.51-56, 2008.

MENEZES, R.S.C., M.S. GARRIDO, A.M. PEREZ M. Fertilidade dos Solos no Semi-Árido. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30, Recife, **Anais Recife: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2005. CD-ROM.

MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I.H. **Fertilidade do solo e produção de biomassa no semi-árido**. Recife : Ed. Universitária da UFPE, 2008 291p.

MIDDLETON, B. A. & MCKEE, K. L. 2001. Degradation of mangrove tissues and implications for peat formation in Belizean island forests. **Journal of Ecology**. 89: 818–828.

MLAMBO,D.; NYATHI,P. Litterfall and nutrient return in a semi-arid southern African savanna woodland dominated by *Colophospermum mopane* **Plant Ecology**, v.196,n.1, p.101–110, 2008.

MOLOSFSKY, J.; AUGSPURGER, C. K. The effect of leaf litter on early seedling establishment in a tropical forest. **Ecology**, v. 7, p 68-77. 1992.

Monk, C. D.. An ecological significance of evergreenness. **Ecology** 47: 504-505. 1966.

MONTAGNINI, F. & JORDAN, C. 2002. Reciclaje de nutrientes. In: GUARIGUATA, M. R. & KATTAN, G. H. (Ed.). **Ecología y conservación de bosques neotropicales**. Cartago: Ediciones LUR, Cap. 23, p. 591-623.

MONTAGNINI, F.; JORDAN, C.F. Reciclaje de nutrientes. In: GUARIGUATA, M.R.; KATTAN, G.H. (eds.). **Ecología y conservación de bosques neotropicales**. Cartago: Ediciones LUR, p.167-191. 2002.

MONTEIRO, F. A.; WERNER, J. C. Ciclagem de nutrientes minerais em pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMA DE PASTAGENS, 1989, Jaboticabal. **Anais Jaboticabal**: FUNEP, p. 135-148, 1989.

MONTEIRO, M. T. **Carbono, nitrogênio e atividade da biomassa microbiana: indicadores da qualidade do solo e da serapilheira em sítios florestais do Norte Fluminense**. Tese de mestrado. Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes - RJ, 2001.

MORAES, J.A.P.V.; PRADO, C.H.B.A. Photosynthesis and water relations in cerrado vegetation. In F. R. Scarano & A. C. Franco (Eds.). **Ecophysiological Strategies of Xerophytic and Amphibious Plants in the Neotropics**. Series Oecologia Brasiliensis, vol. 4. pp 45-63. Programa de Pós-graduação em Ecologia-Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 1998.

MORAES, R. M.; DELITTI, W. B. C.; VUONO, Y.S. Litterfall and litter nutrient content in two Brazilian Tropical Forests. **Revista Brasileira de Botânica**, v.22, n.1, p.9-16, 1999.

MOREIRA, E.; TARGINO, I. **Capítulos de Geografia Agrária da Paraíba**. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 1997. 187p.

MURPHY, J. & RILEY, J.P.A. A modified simple solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Anal. Chim. Acta**, 27: 31-36, 1962.

NAIR, P.K.R.; BURESH, R. J.; MUGENDI, D.N. & LATT, C.R. Nutrient cycling in tropical agroforestry systems: myths and science. In: BUCK, L.E.; LASSOIE, J.P. & LIMA, J.R.; MARCATO, C.; SOUZA, E.F.F.; BRONZATTO, L.A.; NASCIMENTO, M.P.R.; SANTANA, M.O.; QUADROS, R.M.B.; TRAJANO, V.A. **Programa de ação nacional de combate à desertificação e mitigação dos efeitos de seca: PANBrasil**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. 2004. 242p.

NARDOTO, G.B.; BUSTAMANTE, M.M.C.; PINTO, A.S.; KLINK, C.A. Nutrient use efficiency at ecosystems and species level in savanna areas of Central Brazil and impacts of fire. **Journal of Tropical Ecology**, New York, v.22, n.2, p. 191 -201, 2006.

NEVES, E. J. M. **Biomassa e acúmulo de nutrientes nos compartimentos de *Ceiba pentandra* (L.) GAERTN E *Virola surinamensis* (ROL.) WARB plantadas na Amazônia ocidental brasileira.** Tese de Doutorado em Ciências Florestais, UFPR. Curitiba, 1999, 134p.

NIELSEN, S. N. & MÜLLER F.. Emergent Properties of Ecosystems. In: Joergensen,S.E. & Müller, F. (eds.). **Handbook of Ecosystem Theories and Management.** Pp.195-216. CRC Publishers, New York. 2000.

NIJLS, I. & ROY, J. How important are species richness, species evenness and interspecific differences to productivity: A mathematical model. **Oikos** 88: 57-66, 2000.

ODUM, E. P. Ecologia. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1988, 434 p.  
OKI, V. K. **Impactos da colheita de *Pinus taeda* sobre o balanço hídrico, a qualidade da água em microbacias.** Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba -SP, 2002, 71p.

ODUM, W. E. & HEALD, E. J. 1975. Mangrove forests and aquatic productivity. In: HASLER, A.O. (ed.). An introduction to land-water interactions. Berlin: **Springer-Verlag.** p. 129-136.

OKI, V. K. **Impactos da colheita de *Pinus taeda* sobre o balanço hídrico, a qualidade da água em microbacias.** 2002. 71 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002.

OLADOYE, A.O.; OLA-ADAMS, B.A.; ADEDIRE, M.O. Litterfall dynamics in *leuceana leucocephala* (lam) de wit plantation inthe nigerian derived savanna. **Journal of Agricultural and Biological Science**, v. 5, n. 2, p.31-38, 2010.

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. Dynamics of residue decomposition and soil organic matter turnover. In: SOIL microbiology and biochemistry. 2nd ed. San Diego: Academic, 1996. p. 158-179.

PEETERS, P. J. Correlations between leaf structural traits and the densities of herbivorous insect guilds. **Bot.J. Linn. Soc.**, v.77, p.43-65, 2002.

PEREZ, S.C.J.G.A.; MORAES, J.A.P.V. Determinações do potencial hídrico, condutância estomática e potencial osmótico em espécies dos estratos arbóreo, arbustivo e herbáceo de um cerradão. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 3, n. 1, p. 27-37, 1991.

PINTO-COELHO, R.M. **Ciclos Biogeoquímicos** – Parte 1. In: Fundamentos em Ecologia. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 2000, 249p.

PINTO. S.I.C.; MARTINS,S.V.; BARROS, N.F.; DIAS, H.C.T. Produção de serapilheira em dois estádios sucessionais de floresta estacional semidecidual na reserva mata do paraíso,em Viçosa, MG. **Revista Árvore**, v.32, n.3, p.545-556, 2008.

POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M. V. Ciclagem de nutrientes em florestas nativas. In: REIS, M.G.F. & BARROS, N.F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In: Barros, N.F. & Novais, R.F. (Eds.). Relação solo-eucalipto. Viçosa, **Folha de Viçosa**, 1990, 265-302p.

POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M. V. Ciclagem de nutrientes em florestas nativas. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (eds.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 427p. 2000.

PRITCHETT, W. L. Tropical forest litterfall. I. Problems of data comparison. In: SUTTON, S.L.; WHITMORE, T.C. e CHADWICK, A.C. Tropical Rain Forest: **Ecology and Management**. Oxford: Blackwell, 1979, 267-273p.

PROCTOR, J.; ANDERSON, J.M.; FOGDEN, S.C.L.; VALLACK, H.W. Ecological studies in four contrasting lowland rain forests in Gunung Mulu National Park, Sarawak. II. Litterfall, litter standing crop and preliminary observations on herbivory. **Journal of Ecology**, v.71, n.1, p.261-283, 1983.

PROCTOR, P. 1983. Tropical Forest litterfall II. The data set. In: DOMINGOS, M. 1987. **Aspectos da ciclagem de nutrientes na Reserva Biológica de Paranapiacaba (SP), sujeita aos poluentes aéreos do complexo industrial de Cubatão**. Dissertação de Mestrado. IBUSP, 166p.

PRIMAVESI, A. M. **Manejo ecológico de pragas e doenças**: técnicas alternativas para produção agropecuária e defesa do meio-ambiente. Sao Paulo: Nobel, 1988. 137p., il., tab. Bibliografia

PUGNARE, F. I. & CHAPIN III, F. S. Controls over nutrient resorption from leaves of evergreen mediterranean species. **Ecology**, v.74, p.124-129, 1993.

REICH, P.B.; ELLSWORTH, D.S.; UHL, C. Leaf carbon and nutrient assimilation and conservation in species of differing successional status in an oligotrophic Amazonian forest. **Functional Ecology**, Oxford, v. 9, n. 1, p. 65-67, 1995.

REICH, P. B.; BORCHET, R. Water stress and tree phenology in a tropical dry forest in the lowlands of Costa Rica. **Journal of Botany**, v. 73, n.2, p. 164-174. 1984.

REICH, P. B.; UHL, C.; WALTERS, M. B. & ELLSWORTH, D. S. Leaf lifespan as a determinant of leaf structure and function among 23 Amazonian tree species. **Oecologia**, v.86, p.16-24, 1991.

REIS, M.G.F.; BARROS, N.F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. (eds). **Relação solo eucalipto**. Viçosa: Ed. Folha de Viçosa, 1990. cap.7, p.265-302.

REISSMANN, C. B.; WISNIEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de *Pinus*. In: GONÇALVES, J. L.; BENEDETTI, V. (eds.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p.135-166.

RENTERÍA, L. Y.; JARAMILLO, V.J.; MARTÍNEZ-YRÍZAR, A.; PÉREZ-JIMÉNEZ, A. Nitrogen and phosphorus resorption in trees of a Mexican tropical dry forest. **Trees**, 19: 431- 441; 2005.

REZENDE, C.P.; CANTARUTTI, R.B.; BRAGA, J.M.; GOMIDE, J.A.; PEREIRA, J.M.; FERREIRA, E.; TARRÉ, R.; MACEDO, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; CADISCH, G.; GILLER, K.E. & BODDEY, R.M. Litter deposition and disappearance in *Brachiaria* pastures in the Atlantic Forest region of the south of Bahia, Brazil. **Nutr. Cycling Agroec.**, 54:99-112, 1999.

RIBASKI, J. **Sistemas silvipastoris: estratégia para o desenvolvimento rural sustentável para a Metade Sul do Estado do Rio Grande do Sul**. Embrapa Florestas, 2005.8p. (Embrapa Florestas. Comunicado Técnico, 150).

Sánchez-Azofeifa, G. A., M. Quesada, J. P. Rodríguez, J. M. Nassar, K. E. Stoner, Alicia Castillo, T. Garvin, E. L. Zent, J. C. Calvo-Alvarado, M. E. R. Kalácska, L. Fajardo, J. A. Gamon & P. Cuevas-Reyes. 2005. Research priorities for Neotropical dry forests. **Biotropica** 37: 477–485.

SANTANA, J.A.S. **Estrutura fitossociológica, produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes em uma área de caatinga no Seridó do Rio Grande do Norte**. 2005. 184p. Tese (Doutorado). Universidade Federal da Paraíba-PB. 2005.

SANTANA, J. A. da S. **Estrutura fitossociológica, produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes em uma área de Caatinga no Seridó do Rio Grande do Norte**. Tese Doutorado em Agronomia, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, 2005, 184p.

SANTANA, J. A. S.; VILAR, F. C. R.; SOUTO, P. C. Acúmulo de serapilheira em plantios puros e em fragmento de mata atlântica na floresta nacional de Nísia Floresta- RN. **Revista Caatinga**, v.22, n3, p59- 66, 2009.

SAMPAIO, E. V. S. B.; RODAL, M. J. N. Fitofisionomia da Caatinga. In: **Avaliação e identificação de ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade do bioma Caatinga**. Petrolina, PE., p. 2-14. Documento para discussão no GP Botânica. 2000.

SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H.; SILVA, F.B.R. Fertilidade de solos do semi-árido do Nordeste. In: Pereira, J.R.; de Faria, C.M.B. (Eds.), **Fertilizantes: Insumo básico para agricultura e combate à fome**. EMBRAPA-CPATSA/SBCS, Petrolina, 1994. p. 51-71.

SAMPAIO, E.V.S.B.; SILVA, G.C. Ciclagem de nutrientes. In: SAMPAIO, E.V.S.B., MAYO, S.J.; BARBOSA, M.R.V. (eds.). **Pesquisa Botânica Nordestina: progresso e perspectivas**. Recife: **Sociedade Botânica do Brasil/Seção Regional de Pernambuco**,1996, 415 p.

SAMPAIO, E.; SILVA, G. C. Biomass equations for Brazilian semiarid caatinga plants. **Acta botanica brasílica**. 19(4), 935-943. 2005.

SCHUMACHER, M.V. **Aspectos da ciclagem de nutrientes e do microclima em talhões de Eucalyptus Camaldulensis Dehnh, Eucalyptus grandis Hill ex Maiden e Eucalyptus torelliana F. Mesell**. Dissertação de mestrado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba - SP, 1992. 87p.

SCHUMACHER, M.V.; BRUN, E.J.; RODRIGUES, L.M.; SANTOS, E.M. dos. Retorno de nutrientes via deposição de serapilheira em um povoamento de acácia-negra (*Acácia mearnsii* De Wild) no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, v.27, n.6, p. 791-798, 2003.

SCHUMACHER, M. V. et al. Produção de serapilheira em uma floresta de *Araucária angustifolia* (Bertol) Kuntze no município de Pinhal Grande – RS. **Revista Árvore**, v.8, n.1, p. 29-37, 2004.

SCOTT, D. A.; PROCTOR, J. & THOMPSON, J. Ecological studies on a lowland evergreen rain forest on Maracá Island, Roraima, Brazil. II. Litter and nutrient cycling. **Journal of Ecology** 80: 705-717, 1992.

SELLE, G. L. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. **Biosci. J.** Uberlândia, v.23, n.4, p.29-39, 2007.

SILVA, A. C.; SANTOS, A. R.; PAIVA, A. V. Translocação de nutrientes em folhas de *Hevea brasiliensis* (clone) e em acículas de *Pinus oocarpa*. **Revista da Universidade de Alfenas**, Alfenas, n. 4, p.11-18, 1998.

SILVA, C. J.; SANCHES, L.; BLEICH, M. E.; LOBO, F. A.; NOGUEIRA, J. S. Produção de serrapilheira no Cerrado e Floresta de Transição Amazônia-Cerrado do Centro-Oeste Brasileiro. **Acta Amazônica**, v. 37, n.4, p.543 – 548, 2007.

SILVER, W. L & MIYA, R. K. 2001. Global patterns in root decomposition: comparisons of climate and litter quality effects. **Oecologia**, Berlin, v.129, p.407-419.

SOMBROEK, W. G.; NACHTERGAELE, F. O. PP & HEBEL. 1993. A. Amounts, Dynamics and Sequestering of Carbon in Tropical and Subtropical Soils. **Ambio**, 22 (7): 417-426.

SOUTO, P.C. **Acumulação e decomposição da serapilheira e distribuição de organismos edáficos em área de caatinga na Paraíba, Brasil.** Tese de doutorado, Universidade Federal da Paraíba, Paraíba-PB. 2006, 150 p.

SOUZA, J. A.; DAVIDE, A. C. Deposição de serrapilheira e nutrientes em uma mata não minerada e em plantações de bracatinga (*Mimosa scabrella*) e de eucalipto (*Eucalyptus saligna*) em áreas de mineração de bauxita. **Rev. Cerne**, v.7, n.1, p.101-113, 2001.

SOUZA, L.Q.S. **Fitossociologia em áreas com diferentes históricos de uso e fixação biológica de nitrogênio em caatinga madura da Paraíba.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, 2010, 53 p.

SWITZER, G. L.; NELSON, L. E. Nutrient accumulation and cycling in Loblolly Pine (*Pinus taeda*) plantation ecosystems: The first 20 years. **Soil Science Society of America Proceedings**. Madison., v.36, p.143-147, 1972.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. Plant physiology. Redwood City, **Benjamin/Cummings Publishing Company**, 1991. 565p.

TAUK, S.M. Biodegradação de resíduos orgânicos do solo. **Revista Brasileira de Geociência**, v. 20, n. 1, p. 299-301, março/dez. 1990.

THOMAS, R.L.; SHEARRD, R.W.; MOYER, J.R. Comparasion of conventional and automated procedures for N, P and K analysis of plant material using a single digestion. **Agronomy Journal**, Madison, 59: 240-243, 1967.

TIAN, G.; BRUSSARD, L.; KANG, B.T. Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions: effects on soil fauna. **Soil Biological Biochemistry**, v. 25, p. 731-737, 1993.

TOWNSEND, C.R.; BEGON, M.E.; HARPER, J.L. **Fundamentos em Ecologia**. 2ªed. Artmed, Porto Alegre. 2006.

TURNER, J. Effect of nitrogen availability on nitrogen cycling in a Douglas- firstand. **Forest Science**. 23: 307-316. 1977.

VAN HEERWAARDEN, L. M.; TOET, S. & AERTS, R. Current measures of nutrient resorption efficiency lead to a substantial underestimation of real resorption efficiency: facts and solutions. **Oikos**, v.101, p.664-669, 2003.

VAN SCHAIK C.P, TERBORGH JW, WRIGHT SJ. The phenology of tropical forests: adaptive significance and consequences for primary consumers. **Annual Review of Ecology and Systematics** 24, 353-377, 1993.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V. Concentração e retranslocação de nutrientes em acículas de *Pinus taeda* L. **Ciência Florestal**, v.19, n.4, p.375-382, 2009.

VIEIRA, S. A. **Efeito das plantações florestais (Eucalyptus sp.) sobre a dinâmica de nutrientes em região de cerrado do Estado de São Paulo**. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1998, 73p.

VITAL, A. R. T. et al. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma floresta estacional semidecidual em zona ripária. **Revista Árvore**, v.28, n.6, p.793-800, 2004.

Vitousek, P. M. Litterfall, nutrient cycling, and nutrient limitations in tropical forests. **Ecology** 65: 285-298. 1984.

VITOUSEK, P. M. Nutrient cycling and nutrient use efficiency. **Am. Nat.**, v.119, p.553- 572, 1982.

VITOUSEK, P. M.; SANFORD, J.R. Nutrient cycling in most tropical forest. **Annual Review Ecology Science**, v. 17, p. 137-167, 1986.

VITOUSEK, P. M.; SANFORD, R. L. Nutrient cycling in moist tropical forest. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v.17, n.4, p.137-167, 1986.

VOGT, K. A.; GRIER, C. C. VOGT, D. J. Production, turnover, and nutrient dynamics of above and belowground detritus of world forest. **Advances in Ecological Research**, v.15, p.303-77, 1986.

WANG, Q.; WANG, S.; HUANG, Y. Comparisons of litterfall, litter decomposition and nutrient return in a monoculture *Cunninghamia lanceolata* and a mixed stand in southern China. **Forest Ecology and Management**, v.255, p.1210-1218, 2008.

WEBSTER, J. R. & BENFIELD, E. F. Vascular plant breakdown in freshwater ecosystems. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v.17, p.567-64, 1986.

WERNECK, M. S.; PEDRALLI, G.; GIESEKE, L. F. Produção de serrapilheira em três trechos de uma floresta semidecídua com diferentes graus de perturbação na estação ecológica do Tripuí, Ouro Preto – MG. **Revista Brasileira de Botânica**. v. 24, p. 195-198. 2001.

WESTOBY, M.; WARTON, D. & REICH, P. B. The time value of leaf area. **The Am. Nat.**, v.155, p.649-652, 2000.

WISNIEWSKI, C.; RIBAS, M. E.; KRIEGER, A.; CURSIO, G. Produção e decomposição da serrapilheira e deposição de nutrientes em um trecho de uma Floresta Ombrófila Mista sobre Latossolo Vermelho-escuro, no segundo planalto Paranaense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO. SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIAS DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 1997.

ZHAO, Q.; ZENG, D. H.; FAN, Z. P.; YU, Z. Y.; HU, Y. L.; ZHANG, J. Seasonal variations in phosphorus fractions in semiarid sandy soils under different vegetation types. **Forest Ecology and Management**, 258, 1376- 1382, 2009.