

Capítulo 2

Carbono no Semiárido brasileiro

Vanderlise Giongo

Introdução

Os tipos de solo, vegetação e clima que compõem a região Semiárida do Brasil merecem atenção diferenciada, pois os prognósticos de mudanças climáticas apontam que os ambientes semiáridos evidenciarão marcadores do clima de forma mais impactante. Assim, é importante determinar o estoque de carbono (C) no solo e na fitomassa aérea e radicular das principais tipologias de solo e nas fitofisionomias, sejam elas remanescentes ou antropizadas, integrando na análise dados de radiação, temperatura e água.

É obrigatório que, para cada fitofisionomia avaliada, se considere, também, a principal antropização, porque 46,4% da área do Bioma Caatinga foi desmatada e atualmente apresenta diferentes tipos de alterações em decorrência do uso da terra associado também à degradação do solo e à desertificação. Para avaliar a dinâmica do C no tempo e modelar ações para o futuro, é importante integrar os estudos de fluxo de gases de efeito estufa e microrganismos. Associar os dados coletados para ajustá-los aos modelos matemáticos e às técnicas de geoprocessamento é uma estratégia importante, pois as ferramentas irão permitir prospectar o passado e o futuro (cenários), acompanhar a dinâmica desse bioma e delinear medidas adaptativas e mitigatórias.

A partir de dados de estoque e dinâmica do fluxo de C nas diferentes tipologias de solo e fitofisionomias, sejam de vegetações remanescentes ou de sistemas antropizados, pretende-se discutir e instalar sistemas agrícolas que infiram sustentabilidade e colaborem como medida adaptativa e mitigatória ao aumento das emissões de gases de efeito estufa e ao aumento da temperatura média, ou seja, às mudanças climáticas globais.

Semiárido e Bioma Caatinga

O Nordeste brasileiro abrange uma área de 1,54 milhão de quilômetros quadrados, que corresponde a 18% do território nacional e abriga 44,8 milhões de habitantes, os quais representam 28% da população brasileira. Essa região, com 969.589 km², representa 11% do território nacional e com 22 milhões de habitantes é o Semiárido mais populoso do mundo. O bioma mais representativo do Semiárido brasileiro é a Caatinga e, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), este bioma tem uma

área aproximada de 844.453 km² e só ocorre no Brasil. O termo “caatinga” é de origem tupi-guarani (*kaa + tinga*) e significa “mata-branca”, referindo-se ao aspecto da vegetação durante a estação seca, quando as folhas da maioria das árvores caem e os troncos tornam-se esbranquiçados e brilhantes, dominando a paisagem (PRADO, 2003).

A Caatinga possui um dos tipos vegetacionais brasileiros mais complexos cujas características principais são florestas arbóreas ou arbustivas, compreendendo, principalmente, árvores e arbustos baixos, muitos dos quais apresentam espinhos ou acúleos, microfilia e características xerofíticas. Também ocorrem espécies de Cactaceae e de Bromeliaceae, enquanto as lianas são muito escassas (ARAÚJO; MARTINS, 1999). Algumas espécies perenifólias também são encontradas e, segundo Araújo et al. (2002), a diversidade total de espécies herbáceas é significativa e assume grande importância em decorrência do seu valor forrageiro, medicinal e apícola.

Geralmente, as florestas sazonais do Semiárido brasileiro podem ser classificadas como florestas secas (PENNINGTON et al., 2000), mas recebem muitas designações locais, baseadas em suas características fisionômicas e nas características do clima de sua localização (ANDRADE LIMA, 1966). É possível que as diferentes formações de florestas secas, na verdade, sejam fragmentos de uma formação florestal muito grande, que seria uma floresta sazonal seca sul-americana, na qual incluem o Cerrado e a Caatinga (NASCIMENTO et al., 2004; OLIVEIRA FILHO et al., 2006; PENNINGTON et al., 2004;).

Contudo, as evidências em estudos com datação de ¹⁴C em paleopólen encontradas por Behling (2000) mostram a ocorrência de formações de Caatinga aberta ao longo do período registrado durante a última glaciação e o início do Holoceno (42.000 B.P. a 8.500 anos B.P.). Estudos de Rodal et al. (2008) mostraram que, embora haja enclaves de florestas no Semiárido, que compartilhem espécies arbóreas com a Floresta Tropical Atlântica, a Caatinga apresenta composição florística própria, que a distingue das demais. O mosaico formado por diferentes tipos de vegetação é uma característica predominante desse bioma, o que impede que sejam feitas extrapolações de estudos sobre o estoque de C.

Estudos também demonstram que a Caatinga é a forma de vegetação mais resiliente do Brasil. As áreas de sua ocorrência se encontram sob intensa ocupação desde os primórdios da colonização, no século 16, e com boa parte de sua área profundamente antropizada (BRASIL, 2010).

A forte sazonalidade climática, existente no Semiárido brasileiro, afeta os processos biológicos do solo na Caatinga. A precipitação pluvial média pode variar de 400 mm ano⁻¹ a 800 mm ano⁻¹ e tem distribuição espacial muito irregular, com ocorrência de 7 a 9 meses, sem precipitação significativa. Nessas condições, as adições de C ao solo são limitadas a um curto período pelo clima. Com o início da estação chuvosa, a retomada do crescimento

vegetal é muito rápida e há a retomada da adição de C ao solo, com o reinício da atividade fotossintética e a exsudação de metabólitos através das raízes.

Ao longo desse período, a adição de C se dará, principalmente, pela herbivoria dos insetos, promovendo a adição de fragmentos de folhas e ramos tenros no solo. A microbiota edáfica retoma sua atividade a partir de populações até então limitadas a micronichos com capacidade de suporte, ou a partir de estruturas de resistências no solo. Ao final do período chuvoso, com a perda de folhas e ramos, e com a morte de raízes finas, há o pico da atividade biológica no solo que, logo após, retornará às condições anteriores.

Enquanto ecossistema, o Bioma Caatinga pode ser interpretado como um conjunto de relações mútuas entre fauna, flora e microrganismos, em interação com fatores geológicos, atmosféricos e meteorológicos, constituindo, do ponto de vista da termodinâmica, um sistema aberto, com fluxos de energia e de matéria dinamicamente equilibrados. Nesse contexto, o fluxo de C também está em equilíbrio e interferências antrópicas podem alterar a dinâmica desse fluxo. Para se verificar a dinâmica do fluxo e o estoque do C no Bioma Caatinga, é preciso conhecer os sistemas solo e planta, os microrganismos e a atmosfera, considerando-se os componentes água, radiação e temperatura como elementos importantes para essa análise.

Sistema solo

É importante conhecer os solos do Semiárido brasileiro, para verificar a potencialidade que eles possuem de estocar C e compreender a dinâmica desse elemento no ecossistema. Para isso, é importante conhecer os fatores de formação. A geologia do Semiárido se modela com base em dois tipos de estrutura: a primeira constitui o embasamento cristalino, de ocorrência em 70% da região Semiárida, e a segunda é conformada pelas bacias sedimentares. Vários tipos de rochas de origem identificada entre os períodos Terciário e Quaternário da era Cenozoica caracterizam a geomorfologia do Semiárido. De acordo com Ab'Saber (1996), as formações rochosas se distribuem na paisagem através das depressões interplanálticas, as quais representam o aspecto mais típico do Semiárido nordestino, entremeadas por maciços antigos e por chapadas esporádicas. Essas extensões constituem a maior parte do Semiárido, destacando-se nelas formações areníticas ricas em óxido de ferro formadores de solos ácidos e empobrecidos.

Com base nessa realidade, Jacomine (1996) dividiu a região em três áreas, conforme a natureza do material originário:

- Áreas do cristalino.
- Áreas do cristalino recobertas por materiais mais ou menos arenosos.
- Áreas sedimentares.

Sobre a base cristalina, geralmente os solos são rasos (cerca de 0,60 m), com baixa capacidade de infiltração, alto escoamento superficial e reduzida drenagem natural. Nas bacias sedimentares, geralmente eles são profundos (superiores a 2 m, podendo ultrapassar 6 m), com alta capacidade de infiltração, baixo escoamento superficial e boa drenagem natural.

O Semiárido brasileiro se divide em quatro classes predominantes de solo (de um total de 15), as quais ocupam 68% da região (CUNHA et al., 2008; JACOMINE et al., 1971; JACOMINE et al., 1977; SALCEDO; SAMPAIO, 2008), estando essas ordens distribuídas nas respectivas áreas:

Classe 1 – Latossolos (21%).

Classe 2 – Neossolos Litólicos (19%).

Classe 3 – Argissolos (15%).

Classe 4 – Luvissolos (13%).

As demais classes são Planossolos (4%), Neossolos Regolítico (4%), Cambissolos (4%) e Vertissolos (4%). As classes de solo apresentam baixo teor de C orgânico solúvel, com valores que variam de 5 g kg⁻¹ a 12 g kg⁻¹. Os Vertissolos e os Cambissolos apresentam os maiores teores de C orgânico total (12,3 g kg⁻¹ e 12,2 g kg⁻¹), mas em termos de área conjunta, ocupam apenas 5% da área total do Semiárido.

Já os Luvissolos e os Neossolos apresentam teores de C orgânico total de 11,5 g kg⁻¹ e 10,4 g kg⁻¹, com uma área de abrangência de 32%. Seguindo-se a ordem de importância relativa, em relação ao teor de C, os Latossolos e os Argissolos ocupam 36% das regiões e apresentam teores de C de 9,7 g kg⁻¹ e 8,9 g kg⁻¹. Finalmente, com uma área de abrangência de 8%, os Planossolos e os Neossolos Regolíticos apresentam os teores mais baixos de C orgânico total, respectivamente 7,4 g kg⁻¹ e 4,9 g kg⁻¹.

Ao longo do período seco do ano, o solo pode atingir teores de umidade próximos a 0 (zero) e temperaturas muito altas. Os resultados obtidos por Correia et al. (2009) mostram que ao longo dos períodos mais quentes (outubro a novembro), nas condições de estudo, a temperatura à superfície do solo pode variar, ao longo do dia, entre 22 °C e 52 °C, independentemente da cobertura vegetal. Os autores demonstram ainda que, ao longo de 6 meses, a umidade do solo de monitoramento permaneceu ao redor de 1% [Santa Terezinha, PI (7°2'20" S e 37°26'43" W)].

Em São João do Cariri, PB, Gerlach-Lira e Coutinho (2007) obtiveram resultados similares (7°25' S e 37°30' W). Nesses estudos, a temperatura na superfície do solo ficou em torno de 30 °C, ao final do inverno, e de 58 °C em fevereiro (final da estação seca), e em torno de 30 °C e 48 °C nos mesmos períodos, a 10 cm de profundidade. Nesse caso, o

teor de umidade do solo, durante a estação seca, variou entre 1% e 3% (Ug). Em ambos os estudos, a atividade microbiana estimada pela evolução de CO_2 (CORREIA et al., 2009) ou pela atividade enzimática (GERLACH-LIRA; COUTINHO, 2007) foi afetada por essas variáveis.

Pesquisas direcionadas à determinação do estoque de C no solo ainda são pontuais no Semiárido brasileiro. Em decorrência da grande variabilidade de solos e da distribuição em mosaicos, com os trabalhos realizados, não é possível estimar o estoque de C no sistema solo, até 1 m de profundidade. Tiessen et al. (1998) estimaram o estoque de C em solos do Semiárido brasileiro em 20 Mg ha^{-1} para a camada de 0 a 20 cm de profundidade. No entanto, no Semiárido cearense, em Luvissole crômico, sob Caatinga hiperxerófila, Maia et al. (2007) encontraram estoque de carbono de $48,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ e Kauffman et al. (1993), encontraram valores de $26,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ em solo sob Caatinga, no Semiárido pernambucano, ambos na mesma profundidade.

Por sua vez, Amorim (2009) avaliou a variação sazonal dos estoques médios de C em Argissolo sob Caatinga, no Município de Petrolina, PE. No período de estiagem, os valores foram de $16,5 \text{ Mg ha}^{-1}$; $11,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $9,89 \text{ Mg ha}^{-1}$ e, após o período chuvoso, $14,2 \text{ Mg ha}^{-1}$; $10,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $8,99 \text{ Mg ha}^{-1}$ nas camadas de 0 a 10 cm, 10 cm a 20 cm e 20 cm a 30 cm, respectivamente. Na camada de 0 a 20 cm, os estoques médio de C também foram superiores aos estimados por Tiessen et al. (1998), alcançando $28,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $24,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ nos períodos de estiagem e, após a chuva, respectivamente. Fraga e Salcedo (2004) encontraram, em Caatinga hiperxerófila, valores de $17,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $28,6 \text{ Mg ha}^{-1}$, nas camadas de 0 a 7,5 cm e 0 a 15 cm, respectivamente.

Fidalgo et al. (2007), utilizando a base de dados de Chagas et al. (2004), com dados provenientes da caracterização de diferentes solos, fez uma análise comparativa dos estoques de C dos diferentes biomas brasileiros. A partir dos dados apresentados pelos autores, verifica-se que o acúmulo médio de C orgânico total é de $23,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ em solos do Bioma Caatinga, valor menor que os apresentados em solos do Bioma Mata Atlântica e do Bioma Cerrado, $41,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $39,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ respectivamente. Pela característica da semiaridez, a capacidade de suporte de biomassa do Semiárido brasileiro é menor, quando comparada às regiões úmidas tropicais ou temperadas.

Também deve-se considerar que uma elevada proporção dos solos do Semiárido, cerca de 82% da área, apresenta baixo potencial produtivo, seja por limitações de fertilidade, de profundidade do perfil, de drenagem, elevados teores de sódio trocável ou por baixos teores de matéria orgânica (CONSELHO NACIONAL DA RESERVA DA BIOSFERA DA CAATINGA CENÁRIOS PARA O BIOMA CAATINGA, 2004; SILVA, 2000). Práticas inadequadas de produção agropecuária, associadas à presença de solos com limitação de uso ou de baixo potencial produtivo, ao longo do tempo, têm contribuído com o processo de degradação de muitos espaços vulneráveis, tornando inviável a recuperação destes (SILVA, 2000) e diminuído o estoque de C no sistema solo.

Sistema planta

Para definir a contribuição do sistema planta no balanço de C de um ecossistema ou agroecossistema, é necessário conhecê-lo detalhadamente. No Semiárido, os agroecossistemas dominantes são compostos por monocultivos, logo possuem baixa variabilidade e estimativas diretas ou indiretas são relativamente fáceis de serem previsivas mas, estimar a contribuição da vegetação nativa da Caatinga permanece um desafio. Contudo, constata-se, que, em decorrência da grande extensão territorial que ocupa e os diferentes ambientes em que pode ser encontrada, a Caatinga encerra uma enorme variabilidade de faciações fitogeográficas evidenciadas, principalmente pelas diferenças fisionômicas: densidades, composição de espécies e aspectos fenológicos (ANDRADE-LIMA, 1981; BRASIL, 2010; RODAL et al., 1992; SAMPAIO et al., 1998).

A carência de informações sobre a vegetação de Caatinga se torna muito evidente quando se procuram dados relativos, por exemplo, à estrutura fitossociológica, à dinâmica de populações, aos processos de sucessão ecológica e de regeneração natural dos ecossistemas aí encontrados (ARAÚJO FILHO, 1996; IBAMA, 1992). Assim, pode-se afirmar que o Bioma Caatinga é composto por diferentes Caatingas caracterizadas como formações arbóreo-arbustivas, hierarquizadas em diversas tipologias, muitas das quais ainda são praticamente desconhecidas do ponto de vista ecológico. Numa tentativa de adaptar a classificação da vegetação brasileira a um sistema universal, na década de 1990, esse bioma foi classificado como Savana Estépica (IBGE, 1992), a qual foi dividida em quatro tipos:

Savana Florestada – Composta por espécies medindo em torno de 5 m a 7 m de altura, mais ou menos densas, com grossos troncos e esgalhamento ramificado, provido de espinhos ou acúleos. São decíduas na época desfavorável. Os gêneros dominantes são: *Cavanillesia*, *Chorisia*, *Acacia*, *Mimosa*, e outros da família Leguminosae.

Savana Arborizada – Apresenta as mesmas características florísticas da Caatinga Florestada, diferindo apenas na altura dos indivíduos (mais baixos) e no seu espaçamento, que possui maior abertura entre os indivíduos. Nessa fisionomia, predominam as seguintes espécies e gêneros:

- *Spondias tuberosa* (umbuzeiro).
- *Commiphora leptophloeos* (imburana).
- *Cnidoscolus phyllacanthus* (favela).
- *Aspidosperma pyrifolium* (pereiro).
- *Mimosa tenuiflora* (jurema).

Savana Parque – Sua característica marcante é a pseudo-orientação de plantas lenhosas raquíticas sobre denso tapete gramíneo-lenhoso de hemicriptófitos e carnéfitos, composto, principalmente, pelas espécies:

- *Mimosa acustipula* (jureminha).
- *Auxema oncolalyx*.
- *Combretum leprosum* (mofumbo).
- *Aspidosperma pyriformium* (pereiro).

Essa formação recobre pequenas depressões capeadas que, na época das chuvas, são alagadas, em decorrência da má drenagem dos solos dominantes.

Savana Gramíneo-Lenhosa – Essa fisionomia é também conhecida por Campo Espinhoso e caracteriza-se por um extenso tapete graminoso salpicado de plantas lenhosas anãs e espinhosas. Os campos são inteiramente recobertos por capim-panasco (*Aristida* sp.), que apresenta aspecto de palha na seca e enverdece na época das chuvas. São entremeados por indivíduos do gênero *Jatropha*, da família Euphorbiaceae.

A vegetação de Caatinga é distribuída em 17 grandes unidades de paisagens, subdivididas em 105 unidades geoambientais (RODAL; SAMPAIO, 2002), de um total de 172 no Nordeste, como um todo.

As grandes unidades de paisagem são (SILVA et al., 1993):

Ag – Agropecuária.

SN – Contato Savana/Floresta Estacional – ecótono.

SP – Contato Savana/Restinga – ecótono.

ST – Contato Savana/Savana Estépica – ecótono.

Sa – Savana Arborizada.

Sd – Savana Florestada.

Sg – Savana Gramíneo-Lenhosa.

Sp – Savana Parque.

TN – Contato Savana Estépica/Floresta Estacional – ecótono.

Ta – Savana Estépica Arborizada.

Tas – Savana Estépica Arborizada, sem palmeiras e sem floresta de galeria.

T – Savana Estépica Florestada.

Tg – Savana Estépica Gramíneo-Lenhosa.

Tp – Savana Estépica Parque.

Vs – Vegetação secundária.

rm – Refúgios vegetacionais submontanos.

A Caatinga é reconhecida como uma das 37 regiões naturais do planeta mais rica em número de espécies. Segundo Giuliatti et al. (2006), até o momento, foram registradas cerca de 1.500 espécies na região, pertencentes às seguintes famílias: Leguminosae (18,4%); Convolvulaceae (6,82%); Euphorbiaceae (4,83%); Malpighiaceae (4,7%); Poaceae (4,37%).

A presença de espécies endêmicas indica que se trata de um ecossistema rico em biodiversidade, sendo a flora representada por cerca de 20 gêneros e mais de 300 espécies, com destaque para a família Leguminosae, detentora de 80 espécies de distribuição exclusiva nessa região (GIULIATTI et al., 2002).

A capacidade que as plantas têm de absorver e de armazenar C tornou-se estratégia mitigatória aos efeitos das mudanças climáticas. Com isso, a quantificação do estoque de C na biomassa dos ecossistemas é fundamental para caracterizar o status de um bioma e desenvolver estratégias sustentáveis. Segundo Sampaio e Freitas (2008), há cinco principais razões para o interesse no estoque e na produção de biomassa na vegetação nativa do Semiárido brasileiro:

- Parte da biomassa é utilizada na produção de lenha.
- Outra parte constitui a pastagem nativa, usada nos sistemas agropecuários.
- A acumulação de biomassa e de nutrientes nela contidos fazem parte da etapa de pousio no ciclo da agricultura itinerante.
- A revegetação de área degradada ou onde a agricultura é descontinuada pode entrar no mercado de C.
- A vegetação nativa é o melhor indicador da capacidade de produção de um sistema.

Entretanto, são relativamente poucos os trabalhos sobre biomassa aérea da Caatinga. A biomassa deve ser determinada e estimada de forma fidedigna. Caso contrário, não haverá consistência na quantificação do C fixado nos ecossistemas florestais (SANQUETTA BALBINOT, 2004) e nos agroecossistemas. O conhecimento dos reais teores de C de um bioma é um dos pontos-chave na elaboração de projetos ambientais voltados ao sequestro de C (VIEIRA et al., 2009). Geralmente, é adotado um valor fixo, cujo teor de C é de 50% da fitomassa (INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2003), o que pode induzir erros de estimativas. Os teores de C das espécies do Cerrado e da Caatinga foram determinados por Vieira et al. (2009), em diversos compartimentos das árvores:

- Folhas.
- Galhos.
- Raízes.
- Cascas.
- Fustes.

Nas espécies do Cerrado, os teores médios de C foram:

- Folhagem: 43,24%.
- Galhos: 42,06%.
- Raízes: 40,09%.
- Fustes: 41,01% .
- Cascas: 40,60%.

Já no Bioma Caatinga, foram encontrados os seguintes resultados:

- Folhagem: 47,39%.
- Galhos: 44,68%.
- Raízes: 44,38%.
- Fustes: 43,75%
- Cascas: 44,60%.

Nas espécies estudadas, as análises estatísticas mostraram que existem diferenças entre os teores nos dois biomas analisados, sendo esses sempre maiores nas espécies da Caatinga. A folhagem foi o compartimento que apresentou maior valor do teor de C, tanto para o Cerrado como para a Caatinga. Assim, concluiu-se que os teores de C são sempre inferiores aos sugeridos pelo Intergovernamental Panel on Climate Change (2003), o que levaria a uma superestimação dos valores estocados na fitomassa.

Embora seja importante determinar, diretamente, os teores de C, há grande dificuldade ao se estimar a biomassa média total produzida pela vegetação da Caatinga, em decorrência da grande variabilidade espacial e sazonal que ocorre nessa região, atrelada ao regime hídrico e ao tipo de solo. Kauffmann et al. (1993), empreendendo medidas diretas da produção de fitomassa aérea total, numa área de Caatinga, situada em Pernambuco, determinaram uma quantidade de 75 Mg ha⁻¹. Há áreas com vegetação rala e baixa, e áreas com vegetação alta e densa, com variação estimada entre 2 Mg ha⁻¹ e 156 Mg ha⁻¹ (SALCEDO; SAMPAIO, 2008). Já para a biomassa total de serrapilheira, medida em áreas de

Caatinga preservada, os valores podem variar de 6,5 Mg ha⁻¹ a 20,1 Mg ha⁻¹ (AMORIM, 2009; MARTINS et al., 2008).

Estima-se que a produção anual de fitomassa da Caatinga varia de 1,0 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ a 7,0 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. A capacidade de acumulação de biomassa da Caatinga pode ser traduzida em número de anos necessários para repor o estoque. O tempo de renovação do estoque de lenha, permitindo uma exploração sustentável, tem sido estimado entre 10 e 15 anos (PNUD et al., 1992).

O tempo necessário para renovação da vegetação, na etapa de pousio da agricultura itinerante com o acúmulo de nutrientes suficiente na biomassa vegetal e no solo, no reinício do ciclo, também tem sido estimado nessa faixa. Tanto a variabilidade de clima quanto de solo, bem como a intensidade de degradação durante o ciclo da agricultura convencional, tornam as médias gerais pouco válidas frente à grande diversidade de situações.

Outra forma de acompanhar a produtividade da vegetação arbórea e arbustiva é medir a queda de folhas e detritos. A biomassa das folhas, que corresponde entre 5% e 10% da biomassa aérea total, é renovada a cada ano e compõe grande parte do folheto (60% a 80%) (SALCEDO; SAMPAIO, 2008). Uma Caatinga arbórea pode produzir de 2,9 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ a 5,3 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de folhas (DANTAS, 2003). Se considerarmos que a fitomassa aérea contém 40% de C, pode-se estimar que uma Caatinga arbórea aporta 1,16 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ a 2,12 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ apenas com a queda das folhas.

Se os dados de produção e de estoque de biomassa da parte aérea da Caatinga são escassos, dados do sistema radicular são praticamente inexistentes (SAMPAIO; FREITAS, 2008). Estes são limitados a 3 trabalhos, 2 deles restritos a camadas superficiais e a raízes finas, que quantificaram estoque de raízes até 5 mm de espessura e até 30 cm de profundidade, variando de 3 Mg ha⁻¹ a 8 Mg ha⁻¹ (SALCEDO et al., 1999), enquanto os de todas as raízes até 1 m de profundidade atingiram 12 Mg ha⁻¹ (TIESSEN et al., 1992).

A produção de raízes finas, medindo até 2 mm de espessura, foi estimada por Medeiros (1999), por diferença do estoque de C no solo ao longo dos anos, obtendo-se um valor 2,4 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. A variabilidade da produção de fitomassa aérea e de raízes ocorre porque, na região do Semiárido, há grande variedade de paisagens e ambientes, sendo essa uma característica marcante dessa região.

No Semiárido brasileiro, a instalação de plantios comerciais é uma alternativa para suprir a demanda da região por produtos florestais e reduzir o corte de espécies nativas. Assim, a introdução de espécies de alta produção de biomassa, adaptadas às condições edafoclimáticas do Semiárido, representa:

- Alternativa de renda para os agricultores.
- A preservação do bioma.

- A possibilidade de se estocar C na fitomassa aérea e radicular.

Assim, Drumond et al. (2008) avaliaram a produção e a distribuição de biomassa de algumas espécies arbóreas introduzidas, de uso múltiplo para a região do Semiárido, em solos de baixa fertilidade, comparando a uma espécie nativa, de alto potencial de produção de biomassa. Entre as espécies estudadas, *Mimosa tenuiflora* (jurema) apresentou a menor produção de biomassa seca da parte aérea e da raiz, respectivamente 21,62 Mg ha⁻¹ e 6,60 Mg ha⁻¹, enquanto *Caesalpinia velutina* apresentou produção de biomassa aérea e radicular de 51,64 Mg ha⁻¹ e 12,04 Mg ha⁻¹, respectivamente.

Em função dos dados apresentados, fica clara a real necessidade e iminência por maiores informações sobre o estoque de C na fitomassa aérea e radicular da Caatinga e nos agroecossistemas. Assim, é preciso desenvolver trabalhos em grandes redes de pesquisa, abrangendo a grande variabilidade característica do Semiárido brasileiro. Para isso é importante:

- Reunir todos os trabalhos existentes.
- Orientar as iniciativas pontuais.
- Planejar, estrategicamente, os futuros estudos.

Uso da terra e balanço de carbono

Em 1984, a cobertura do Bioma Caatinga foi estimada em aproximadamente 68% de sua vegetação remanescente, sendo 32% de áreas antropizadas, ou sejam, espaços ocupados por agricultura ou alterados pela ação humana (CNRBC, 2004). Posteriormente, em 1990, esses dados foram atualizados pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (Sudene) e pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), que confirmaram uma redução expressiva da cobertura florestal remanescente. De conformidade com essa atualização, a área total com vegetação de Caatinga passou de 68% para 47%. No mesmo período, as áreas antropizadas aumentaram de 32% para 53% da superfície total desse bioma.

Em 2004, os trabalhos de mapeamento da Caatinga foram retomados pelo Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira (Probio). Os resultados obtidos revelam uma área de vegetação remanescente superior a 43% da área total desse bioma. Com base nesse levantamento, foi possível estimar a superfície dos remanescentes de vegetação da Caatinga em 363.115 km² e as superfícies de outras formações florestais pertencentes ao bioma como:

- Encraves de formações do Cerrado.
- Tipos florestais em estágio secundário de desenvolvimento.

- Formações pioneiras.
- Florestas de transição ou ecótonos, nas áreas de contato da Caatinga com o Cerrado e os domínios do Bioma Mata Atlântica.

Em 2008, para desenvolver o monitoramento do Bioma Caatinga, foram adquiridas 163 imagens digitais. Destas, 111 cenas são dos sensores orbitais CBERS2B e 52 do TM Landsat 5. A partir da delimitação/quantificação das áreas antropizadas, foram elaborados mapas, efetuados cálculos e estatísticas de forma a estabelecer, identificar e visualizar, espacialmente, a distribuição da supressão da vegetação desse bioma nos estados, municípios e nas regiões hidrográficas.

Em 2002, a área dos remanescentes de vegetação da Caatinga, com o refinamento da escala e da área mínima de detecção, era de 55,67% e, em 2008, observa-se uma diminuição para 53,62% (Figura 1). Todas essas estatísticas foram baseadas na área total do bioma, calculados a partir do *software* ArcGIS (BRASIL, 2010). Em 2008, a vegetação remanescente foi superior a 2004. Isso ocorreu graças ao uso de uma metodologia mais acurada e não em decorrência de ações que promovessem a revegetação de áreas alteradas.

Por décadas, o desmatamento acumulado reflete no estoque de C orgânico total do solo nos diferentes biomas. As áreas antropizadas dos biomas Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica apresentam um estoque de C do solo menor quando comparadas com a vegetação nativa (Tabela 1).

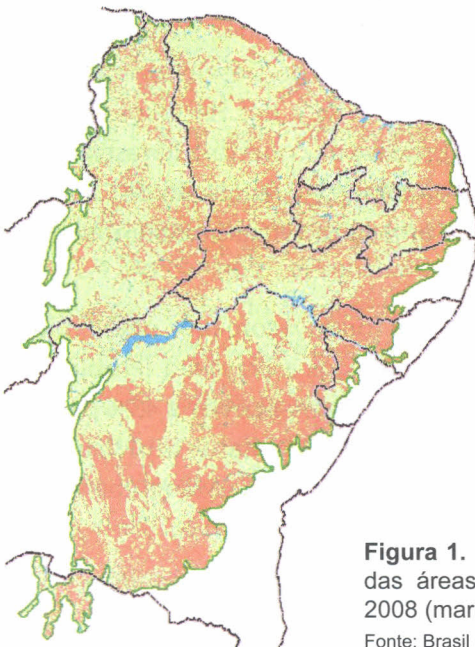


Figura 1. Mapa do Bioma Caatinga, mostrando distribuição espacial das áreas com vegetação (verde), desmatamento acumulado em 2008 (marrom) e corpos d'água (azul).

Fonte: Brasil (2010).

Tabela 1. Estoque de C orgânico total do solo na vegetação nativa e em áreas antropizadas de diferentes biomas.

Bioma	Estoque de carbono orgânico (Mg ha ⁻¹)	
	Vegetação nativa	Área antropizada
Amazônia	29,08	33,35
Caatinga	23,68	22,27
Cerrado	39,17	33,52
Mata Atlântica	41,85	37,51

Fonte: adaptado de Chagas et al. (2004) e Fidalgo et al. (2007).

O desmatamento decorrente da agricultura de subsistência irradia-se pelo bioma, em decorrência da abertura anual de novas áreas para lavouras. Esse fenômeno ocorre porque a agricultura de subsistência prevê o uso intensivo da mesma área de produção por 3 a 4 anos, permanecendo, posteriormente, de 7 a 8 anos sem uso, obedecendo a um ciclo de pousio ou de recomposição de vegetação para nova retirada de madeira, queimadas, pastejos e implantação de culturas. Contudo, diferentemente dos demais biomas do País, a produção agrícola em áreas dependentes de chuva (agricultura de subsistência) não é responsável por frentes importantes de desmatamento no Bioma Caatinga (BRASIL, 2010).

Nos últimos 30 anos, a agricultura comercial, dependente da irrigação e de insumos externos – que se estrutura em torno da produção em larga escala – principalmente orientada para mercados de exportação, vem assumindo grande importância na região. Os cultivos irrigados são relevantes para geração de emprego e de renda, principalmente em alguns polos de produção do Semiárido, onde tem impactos a produção irrigada de manga, uva, maracujá, melão, mamão, banana, acerola, graviola e caju, entre outras frutas (CONSELHO NACIONAL DA RESERVA DA BIOSFERA DA CAATINGA CENÁRIOS, 2004).

Cultivos comerciais, como soja e mamona, participam de forma crescente na economia da região. A mamona está integrada à produção de biocombustíveis e faz o Semiárido responsável por cerca de 50% da produção nacional. A expansão dessas culturas tem impacto sobre o desmatamento do bioma pela abertura de grandes áreas.

A produção agrícola, especialmente a de áreas irrigadas, pode implicar nos processos de fragmentação, remoção e conversão de uso de áreas naturais no Semiárido, enquanto a agricultura de subsistência ocupa pequenos espaços e não promove uma frente de desmatamento ou fronteira agrícola. Contudo, a demanda existente por lenha e carvão amplia as áreas desmatadas para melhorar a renda com a venda da madeira.

Na produção de lenha e de carvão, a vegetação nativa constitui em mais de 30% da matriz energética (CAMPELLO, 2008). Assim, a utilização da vegetação lenhosa para produção de lenha e de carvão vegetal, conjuntamente com a conversão de uso, visando à produção agropecuária, são identificadas como as maiores ameaças para fragmentar as áreas naturais.

Em decorrência do processo de antropização, a degradação do Bioma Caatinga altera o estoque de C no solo e na vegetação. O efeito de diferentes sistemas de cultura pode ser evidenciado no estudo, conduzido em 2009, o qual avaliou o estoque de carbono orgânico total na Caatinga preservada, as alterações nesse bioma, a pastagem com capim-buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) e cultivo irrigado de mangueira, num Argissolo Amarelo. Na Caatinga preservada, o estoque de carbono do solo é significativamente superior aos demais sistemas de uso da terra, até 10 cm de profundidade.

A Caatinga preservada do estudo possui uma área aproximada de 400 ha. Essa área foi propriedade de pequenos agricultores que ocupavam as adjacências com agricultura de subsistência, com cultivos de milho e de feijão, com a criação de caprinos, ovinos e bovinos soltos. Em 1974, a referida área foi desapropriada, e desde então permaneceu cercada, sem sofrer intervenções antrópicas no seu ecossistema natural. A área de Caatinga alterada possui 76 ha e foi desmatada em 1983.

O desmatamento foi feito com o uso de roçagens e de queimadas. Após a retirada da mata nativa, foi plantada uma coleção de algaroba (*Prosopis juliflora*). No trato cultural dessa área, foram feitas roçagens e capinas que se estenderam até 1989. Diante do insucesso do referido plantio de algaroba; após esse período, a área foi abandonada, contendo atualmente alguns indivíduos de algaroba e vegetação arbustiva.

A área contendo capim-buffel possui 30 ha e foi implantada em 1977, após a retirada da vegetação nativa da Caatinga. É importante ressaltar que, naquela área, nunca houve aplicação de corretivos e fertilizantes no solo, sendo conservada até hoje por meio de roçagens anuais. A área irrigada com o cultivo de mangueira mede 1 ha e foi instalada em 2004. O desmatamento dessa área ocorreu em 1998, e de 1999 a 2004, foi cultivada com culturas anuais.

Para a profundidade de 10 cm a 20 cm, a Caatinga preservada, a Caatinga alterada e o capim-buffel não diferem entre si, mas todos esses sistemas possuem um estoque de C orgânico total no solo superior ao sistema com mangueira (Tabela 2). Vale ressaltar que a mudança do uso da terra no Bioma Caatinga alterou o estoque de C no solo.

As alterações dos biomas, por ação antrópica (intervenção humana) modificam o ciclo de C, um elemento importante para manter a dinâmica dos ecossistemas, associado às mudanças climáticas e ao tema sequestro de C. A intervenção humana ocorre há mi-

Tabela 2. Estoque de C no solo em diferentes sistemas de uso da terra e profundidades de Argissolo Amarelo Eutrófico latossólico com textura média/argilosa, localizado em estações experimentais da Embrapa Semiárido, em Petrolina, PE.

Profundidade (cm)	Estoque de carbono (C) ⁽¹⁾ (Mg ha ⁻¹)			
	Caatinga preservada	Caatinga alterada	Capim-buffel	Mangueira
0,0–2,5	4,54a	2,20bc	2,29b	1,43c
2,5–5,0	2,53a	1,71bc	1,87b	1,22c
5,0–7,5	1,99a	1,61ab	1,36bc	1,01c
7,5–10,0	1,71a	1,51a	1,31a	0,85b
10,0–15,0	2,48a	2,82a	2,26a	1,33b
15,0–20,0	2,23a	2,41a	1,82a	1,08b
0–20	15,48	12,26	9,6	6,92

⁽¹⁾ Médias seguidas por letras minúsculas distintas, na mesma linha, diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

lhares de anos no ciclo global do C. Para se ter uma ideia, só nos 2 últimos séculos, o fluxo de C antrópico passou a ser comparável ao ciclo de C natural. Alterações no uso da terra, causadas pela atividade agropecuária, geralmente extrativismo, reduz o estoque de C do solo, bem como aumenta a emissão de CO₂ na atmosfera.

Em decorrência das questões que envolvem as mudanças climáticas globais, uma série de trabalhos científicos recentes quantificam os reservatórios de C em diferentes regiões semiáridas do mundo, bem como determinam os fatores que controlam sua dinâmica. No Semiárido brasileiro, estão sendo conduzidos estudos sobre o balanço de C em áreas de vegetação nativa e antropizadas, primeiramente relacionadas com a pecuária e com a agricultura de sequeiro, por serem atividades dominantes na região e posteriormente também pela agricultura irrigada, por seu alto impacto no sistema produtivo.

Quando se estuda o Bioma Caatinga, o aumento do processo de degradação e as dificuldades encontradas devem servir de estímulo para se buscar novas alternativas tecnológicas que favoreçam a sustentabilidade da base produtiva da região e a manutenção da biodiversidade.

A estimativa do estoque de carbono no sistema solo-planta e da dinâmica desse elemento no ambiente como um todo podem ser indicadores da avaliação do grau de degradação de um sistema nativo ou antropizado. Entretanto, para o Bioma Caatinga, essa estimativa tem se tornado difícil, em decorrência da complexidade de clima, solo, cobertura vegetal e uso da terra.

Por sua vez, a dinâmica do processo exploratório está bem caracterizada. A utilização da Caatinga ainda se fundamenta em processos meramente extrativistas para se obter produtos de origem pastoril, agrícola e madeireiro. No caso da exploração pecuária, o superpastoreio de ovinos, caprinos, bovinos e outros herbívoros tem modificado a composição florística do estrato herbáceo, quer pela época quer pela pressão de pastejo.

A exploração agrícola com práticas de agricultura itinerante – que constam do desmatamento e da queimada desordenados – tem modificado tanto o estrato herbáceo como o arbustivo-arbóreo. E, por último, a exploração madeireira, o que já tem causado mais danos à vegetação lenhosa da Caatinga do que a própria agricultura migratória. As consequências desse modelo extrativista predatório se fazem sentir, principalmente, nos recursos naturais renováveis da Caatinga. Assim, já se observam perdas irrecuperáveis da diversidade florística e faunística, aceleração do processo de erosão e declínio da fertilidade do solo e da qualidade da água pela sedimentação.

Considerações finais

O bioma mais representativo do Semiárido é a Caatinga, com um dos tipos vegetacionais mais resilientes do Brasil. Suas áreas de ocorrência encontram-se sob intenso uso desde a colonização e com boa parte antropizada. Essas alterações, causadas pela ação antrópica, modificam o ciclo do C, elemento importante na manutenção da dinâmica dos ecossistemas, que se encontram associados às mudanças climáticas.

A complexidade das relações entre clima, solo, cobertura vegetal e uso da terra do Bioma Caatinga dificulta a determinação do estoque de C no sistema solo-planta e o estudo da dinâmica desse elemento no ambiente. Os estudos de estoque e dinâmica do fluxo de C no Bioma Caatinga, em áreas preservadas e em sistemas antropizados, são importantes para ampliar as bases científicas e tecnológicas e desenvolver estratégias de valoração de áreas remanescentes e desenvolvimento de agroecossistemas que acumulem esse elemento, diminuindo a emissão de gases de efeito estufa e/ou aumentando seu sequestro.

Referências

AB'SABER, A. N. Domínios morfoclimáticos e solos do Brasil. In: ALVAREZ, V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. (Ed). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: SBCS, 1996. p. 1-18.

AMORIM, L.B. **Caracterização da serrapilheira em caatinga preservada e mudanças no carbono do solo após o desmatamento sem queima**. 2009. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

ANDRADE-LIMA D. The caatingas dominium. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, n.4, p. 149-153, 1981.

- ANDRADE-LIMA, D. Vegetação. In: ATLAS Nacional do Brasil. Rio de Janeiro: Conselho Nacional de Geografia - IBGE, 1996.
- ARAÚJO FILHO, J. A. **Desenvolvimento sustentável da caatinga**. Sobral: Ministério da Agricultura: EMBRAPA-CNPC, 1996. 20 p.
- ARAÚJO, E. L.; SILVA, S. I.; FERRAZ, E. M. N. Herbáceas da caatinga de Pernambuco. In: Tabarelli, M.; SILVA J. M. C. (Ed.). **Diagnóstico da Biodiversidade de Pernambuco**. Recife: Massagana, 2002. p. 183-205.
- ARAÚJO, F. S.; MARTINS, F. R. Fisionomia e organização da vegetação do carrasco no Planalto da Ibiapaba, estado do Ceará. **Acta Botanica Brasilica**, Porto Alegre, n. 13, p. 1-14, 1999.
- BEHLING, H.; ARZ, H. W.; PATZOL, J.; WEFER, G. Late Quaternary vegetational climate dynamics in northeastern Brazil, inferences from marine core. *Geob* 3104-1. **Quaternary Science Review**, [S.l.], n. 19, p. 891-994, 2000.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano de Ação para Prevenção e Controle ao Desmatamento na Caatinga**. Ministério do Meio Ambiente: Departamento de Políticas para o Combate ao Desmatamento, 2010.
- CAMPELLO, B. F. O uso da energia de Biomassa no Biome Caatinga. V SEMANA do Meio Ambiente, 3 a 5 de junho de 2008. Recife: Fundação Joaquim Nabuco.
- CHAGAS, C. S.; CARVALHO JÚNIOR, W.; BHERING, S. B.; TANAKA, A. K.; BACA, J. F. M. Estrutura e organização do Sistema de Informações Georreferenciadas de Solos do Brasil (SIGSOLOS – Versão 1.0). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, n. 28, p. 865-876, 2004.
- CONSELHO NACIONAL DA RESERVA DA BIOSFERA DA CAATINGA CENÁRIOS PARA O BIOMA CAATINGA. **Águas e florestas da mata atlântica**: por uma gestão integrada. Recife: Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente, 2004.
- CORREIA, K. G.; SANTOS, T. S.; ARAUJO, K. D.; SOUTO, J. S.; FERNANDES, P. D. Atividade microbiana do solo em quatro estágios sucessionais da Caatinga no município de Santa Terezinha, Paraíba, Brazil. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, n. 6, p. 534-549, 2009.
- CUNHA, T. J. F.; SILVA, F. H. B. B.; SILVA, M. S. L.; PETRERE, V. G.; SÁ, I. B.; OLIVEIRA NETO, M. B.; CAVALCANTI, A. C. de. **Solos do Submédio do Vale do São Francisco**: potencialidades e limitações para uso agrícola. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2008. 60 p.
- DANTAS, S. V. **Dinâmica da produção e decomposição de folheto e ciclagem de nutrientes em um ecossistema de Caatinga arbórea no agreste da Paraíba**. 2003, 32 f. Conclusão de Curso (Especialização), Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia.
- DRUMOND, M. A.; PIRES, I. E.; OLIVEIRA, V. R.; OLIVEIRA, A. R.; ALVAREZ, I. A. Produção e distribuição de Biomassa de espécies arbóreas no Semi-Árido brasileiro. **Revista Árvore**, Viçosa, n. 32, p. 665-669, 2008.
- FIDALGO, E. C. C.; BENITES, V. M.; MACHADO, P. L. O. A.; MADARI, B. E.; COELHO, M. R.; MOURA, I. B.; LIMA, C. X. **Estoque de carbono nos solos do Brasil**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2007. 27 p.
- FRAGA, V. S. & SALCEDO, I. H. Declines of organic nutrient pools in tropical semi-arid soils under subsistence farming. **Soil Science Society America Journal**, [Madison], n. 68, p. 215-224, 2004.
- GIULIETTI, A. M.; HARLEY, R. M.; QUEIROZ, L. P.; BARBOSA, M. R. V.; BOCAGE NETA, A. L.; FIGUEIREDO, M. A. Espécies endêmicas da Caatinga. In: SAMPAIO, E. V. S. B.; GIULIETTI, A. M.; VIRGÍNIO J.; GAMARRA-ROJAS, C. F. L. (Ed.). **Vegetação e Flora da Caatinga**. Recife: APNE/CNIP, 2002. p. 103-119.
- GORLACH-LIRA, K.; COUTINHO, H. D. M. Population dynamics and extracellular enzymes activity of mesophilic and thermophilic bacteria isolated from semi-arid soil of northeastern Brazil. **Brazilian Journal of Microbiology**, [Rio de Janeiro], n. 38, p.135-141, 2007.
- IBAMA. **Plano de manejo florestal para a região do Seridó do Rio Grande do Norte**. Natal: Ibama, 1992. v. 1. (Projeto PNUD/FAO/IBAMA).
- IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 1992. 92 p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/vetecao/manual_vegetacao.shtm>. Acesso em: 12 nov. 2010.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Good practice guidance for land-use change and forestry**. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/>>. Acesso em: 12 Aug. 2010.

JACOMINE, P. K. T. Solos sob caatinga: características e uso agrícola. In: ALVAREZ, V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: SBCS, 1996. p. 95-133.

JACOMINE, P. K. T.; CAVALCANTI, A. C.; RODRIGUES E SILVA, F. B.; MONTENEGRO, J. O.; FORMIGA, R. A.; BURGOS, N.; MÉLO FILHO, H. F. R. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos da margem direita do rio São Francisco, Estado da Bahia**. Recife: Embrapa: Sudene, 1977. 738 p.

JACOMINE, P. K. T.; RODRIGUES E SILVA, F. B.; FORMIGA, R. A.; ALMEIDA, J. C.; BELTRÃO, V. A.; PESSÔA, S. C. P.; FERREIRA, R. C. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Rio Grande do Norte**. Recife: Ministério da Agricultura: Sudene, 1971. 531p.

KAUFFMAN, J. B.; SANFORD JÚNIOR, R. L.; CUMMINGS, D. L.; SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Biomass and nutrient dynamics associated with slash fires in neotropical dry forests. **Ecology**, Tempe, n. 74, p. 140-151, 1993.

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Organic carbon pools in a Luvisol under agroforestry and conventional farming systems in the semiarid region of Ceara, Brazil. **Agroforestry Systems**, [Amsterdam, NL], n. 71, p. 127-138, 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 semiárido pernambucano. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 17., 2008. **Anais...** Rio de Janeiro: Ed. da UFRJ: Embrapa Solos: Embrapa Agrobiologia, 2008. 1 CD-ROM.

NASCIMENTO, A. R. T.; FELFILI, J. M.; MEIRELLES, E. M. Florística e estrutura da comunidade arbórea de um remanescente de Floresta Estacional Decidual de encosta. **Acta Botanica Brasileira**, Porto Alegre, n. 18, p. 659-660, 2004.

OLIVEIRA FILHO, A. T.; JARENKOW, J. A.; RODAL, M. J. N. Floristic relationship of seasonally dry forests of eastern South America based on tree species distribution patterns. In: PENNINGTON, R. T.; LEWIS, G. P.; RATTER, J. A. (Ed.). **Neotropical savannas and dry forests: plant diversity, biogeography and conservation**. Boca Raton: Taylor and Francis, 2006, p. 11-51.

PENNINGTON, R. T.; LAVIN, M.; PRADO, D. E.; PENDRY, C. A.; PELL, S. K.; BUTTERWORTH, C. H. Historical climate change and speciation: Neotropical seasonally dry forest plants show patterns of both Tertiary and Quaternary diversification. **Philosophical Transactions Royal Society London**, London, GB, n. 359, p. 315-338, 2004.

PENNINGTON, R. T.; PRADO, D. E.; PENDRY, C. A. Neotropical seasonally dry forests and Quaternary vegetation changes. **Journal of Biogeography**, Oxford, n. 27, p. 261-273, 2000.

PNUD. Programa das Nações para o Desenvolvimento. FAO. Food and Agriculture Organization. IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Plano de manejo florestal para a região do Seridó do Rio Grande do Norte. **Levantamentos básicos**. Natal: Pnud: FAO: Ibama, 1992.

PRADO, D. As caatingas da América do Sul. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (Ed). **Ecologia e conservação da Caatinga**. Recife, Editora Universitária da UFPE, 2003. p. 3-73.

RODAL, M. J. N.; BARBOSA, M. R. V.; THOMAS, W. W. Do the seasonal forests in northeastern Brazil represent a single floristic unit? **Brazilia Journal Biology**, São Carlos, n. 68, p. 467-475, 2008.

RODAL, M. J. N.; SAMPAIO, E. V. S. B. A vegetação do Bioma caatinga. In: SAMPAIO, E. V. S. B.; GIULIETTI, A. M., VIRGÍNIO, J.; GAMARRA ROJAS, C. F. L. (Ed.). **Vegetação e Flora da Caatinga**. Recife: APNE: CNIP, 2002. p. 11-24

- RODAL, M. J. N. F.; SAMPAIO, E. V. S. B.; FIGUEIREDO, M. A. **Manual sobre métodos de estudos florísticos e fitossociológicos**: ecossistema Caatinga. Brasília, DF: Sociedade Botânica do Brasil, 1992. 24 p.
- SALCEDO, I. H.; LEITE, L. F. C.; VASCONCELOS, E. V.; SOUZA, F.; SAMPAIO, E. V. S. B. Produção de raízes finas sob vegetação de caatinga. In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: METODOLOGIAS E ESTUDO DE CASO. 1999. Aracaju. **Anais...** Campinas: Embrapa, 1999. p. 139-152.
- SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Matéria orgânica do solo no Biome caatinga. In: SANTOS, G. S.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 419-441.
- SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, E. L.; SALCEDO, I. H.; TIESSEN, H. Regeneração da vegetação de Caatinga após corte e queima, em Serra Talhada, PE. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, n. 33, p. 621-632, 1998.
- SAMPAIO, E. V. S. B.; FREITAS, A. D. S. Produção de Biomassa na vegetação nativa do semi-árido nordestino. In: MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H. (Ed.). **Fertilidade do solo e produção de Biomassa no semi-árido**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2008. p. 11-26.
- SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R. Metodologias para determinação de Biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILLIOTTO, M. A. (Ed.). In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO SOBRE FIXAÇÃO DE CARBONO, 2., 2004, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2004. p. 77-93.
- SILVA, F. B. R.; RICHE, G. R.; TONNEAU, J. P.; SOUZA NETO, N. C.; BRITO, L. T. L.; CORREIA, R. C.; CAVALCANTE, A. C.; SILVA, A. B.; ARAÚJO FILHO, J. C.; LEITE, A. P. **Zoneamento agroecológico do nordeste**: diagnóstico do quadro natural e agrossocioeconômico. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1993. 325 p.
- SILVA, J. R. C. Erosão e produtividade do solo no semi-árido. In: OLIVEIRA, T. S.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; ROMERO, R. E.; SILVA, J. R. C. (Ed.). AGRICULTURA, sustentabilidade e o semi-árido. Fortaleza: Ed. da UFC, 2000. p. 168-213.
- TIESSEN, H.; CUEVAS, E.; SALCEDO, I. H. Organic matter stability and nutrient availability under temperate and tropical conditions. **Advances in GeoEcology**, [S.l.], n. 31, p. 415-422, 1998.
- TIESSEN, H.; SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Nutrient and soil organic matter dynamics under shifting cultivation in semi-arid Northeastern Brazil. **Agriculture Ecosystems & Environment**, [S.l.] n. 38, p. 139-151, 1992.
- VIEIRA, G.; SANQUETTA, C. R.; KLÜPPEL, M. L. W.; BARBEIRO, L. S. S. Teores de carbono em espécies vegetais da Caatinga e do Cerrado. **Revista Acadêmica Ciência Agrária Ambiental**, Universidade do Paraná, n. 7, p.145-155, 2009.