ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Emissões de CO_2 Provenientes do Uso e Mudanças no Uso da Terra no Bioma Caatinga no Nordeste Brasileiro

Maria das Vitórias M. da Mata[1]; Judith J. Hoelzemann[2]; Eráclito R. de Sousa Neto[3]; Ana Paula D. Aguiar[3], Rita Marcia da Silva Pinto Vieira[3]; Talita Assis[2] , Jean P. Ometto[3]

[1] Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte – PPGCC/UFRN, Natal, RN, Brasil; [2] Departamento de Ciências Atmosféricas e Climáticas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte – DCAC/UFRN, Natal, RN, Brasil; [3] Centro de Ciência do Sistema Terrestre – CCST/INPE, São José dos Campos, SP, Brasil.

Artigo submetido em 04/02/2015 e aceito em 15/04/2015

R E S U M O

Este trabalho apresenta a primeira avaliação das taxas de emissões de CO_2 oriundas do uso e mudança no uso da terra na Caatinga, único bioma exclusivamente brasileiro que compreende 844.453 km^2 de área e está localizado no Nordeste do Brasil. Uma primeira abordagem foi realizada para toda a vegetação de caatinga presente no Estado do Rio Grande do Norte, que compreende uma área de aproximadamente 52.810 km^2. O principal objetivo foi quantificar as emissões de CO_2 utilizando como ferramenta o modelo de emissões INPE-EM (INPE-Emission Model) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, adaptado com as atividades mais relevantes relacionadas ao uso e mudanças no uso da terra presentes no RN. Na adaptação do modelo, foram utilizados dados de desmatamento anuais entre 2000 e 2010, além de dados de biomassa e outros parâmetros disponíveis na literatura, como por exemplo, a porcentagem de biomassa removida acima e abaixo do solo, a porcentagem de biomassa queimada acima do solo após o desmatamento no primeiro ano e o ciclo de queimadas. Uma base de dados entre 1900 e 1999 foi simulada para incluir as contribuições do passado nos cenários de emissões. Considerando a dinâmica de corte da vegetação da região, foram aplicados submodelos para vegetação primária (PF1, PF2 e PF3). Em PF1 considerou-se que durante o processo de desmatamento são extraídos 100% das raízes e queima tudo no primeiro ano, em PF2 considerou-se o corte de 50% das raízes durante o processo de desmatamento e em PF3 considerou-se a preservação das raízes. As médias anuais das estimativas das emissões para o período analisado foram de 2,5 x 10^3 (Mg CO_2 ano^{-1}) para o submodelo PF1, de 2,3 x 10^3 (Mg CO_2 ano^{-1}) para o submodelo PF2 e de 2,1 x 10^3 (Mg CO_2 ano^{-1}) para PF3. Os resultados permitiram a geração de uma base de dados inédita das emissões de CO_2 nessa região com resolução espacial de 5 km x 5 km. Esta base de dados servirá para outros estudos regionais/globais de balanço de carbono, contribuindo também para a melhoria de inventários de emissões da região. Sendo de fundamental importância para a modelagem da geração, transporte e deposição de poluentes na química da atmosfera, tanto para estudos ambientais de curto prazo quanto para estudos climáticos. O estudo poderá servir para tomadas de decisões na política ambiental da região e para análises de impactos da ação antrópica no Bioma Caatinga.

Palavras-Chave: Emissões de CO_2, Modelo INPE-EM, uso da terra, Mudanças no uso da terra, Bioma Caatinga.

CO_2 Emissions from Land Use and Land Use Change in the Brazilian Northeast Caatinga Biome

A B S T R A C T

This work presents a first assessment of emission CO_2 rates from land use and its change in the Caatinga, a unique savanna-type biome comprising 844.453 km^2 located in the Northeast of Brazil. In a first approach a representative sub-area of 52.810 km^2 selected comprising all the Caatinga of the Brazilian state of Rio Grande do Norte. The main objective was to quantify CO_2 emissions adapting the INPE-EM emission model to the most relevant activities related to land use and its change in the region from 2000 and 2010. For this purpose, annual deforestation data from 2000 to 2010 was combined, as well as recent biomass data and a set of alternative parameters, such as percentage of above and below ground removed biomass, the percentage of burning of aboveground biomass after deforestation in the first year and fire cycle, all based on recent literature to adapt the model for the Caatinga biome. A first data base from 1900 to 1999 was simulated to include the past contributions of deforestation processes in the model. Three submodels were applied to include the dynamics of the primary vegetation cut in the region (PF1, PF2 and PF3). In PF1 we considered that during the deforestation process 100% of the roots are extracted everything burns during the first year, PF2

considered a 50% root cut during the deforestation process and PF3 considered the preservation of all roots. The annual averages of CO_2 emissions for the analyzed period were 2.5 x 10^3 (Mg CO_2 yr^{-1}) to PF1, 2.3 x 10^3 (Mg CO_2 yr^{-1}) to PF2 submodel and 2.1 x 10^3 (Mg CO_2 yr^{-1}) to PF3. The results allowed the generation of a unique CO_2 emissions database in the region with a spatial resolution of 5 km x 5 km. With these estimates it is possible to better understand the regional impacts caused by land use change in the region, such as inappropriate land use and illegal native vegetation deforestation. The results can be used for policy decision-making, to analyze the impacts of anthropogenic activities in the Caatinga biome and also will help improve regional emission inventories for atmospheric chemistry and climate modeling.
Keywords: CO_2 emissions; INPE-EM Model; land use; land use change; Caatinga biome.

Introdução

Ao longo dos últimos anos a vegetação da Caatinga vem sendo impactada através de variadas atividades antrópicas. O desmatamento, as atividades agrícolas e a pecuária são alguns exemplos de práticas que, normalmente, não levam em consideração os danos ambientais e o tempo de recuperação da vegetação (Araújo Filho, 2013). Geralmente, estas atividades são realizadas de forma insustentável e sem planejamento, o que acelera e intensifica o processo de degradação do Bioma Caatinga (Gariglio et al., 2010; Araújo Filho, 2013).

Tanto regional quanto globalmente, os processos antrópicos no meio ambiente têm sido foco de recentes estudos que mostram sua contribuição às mudanças climáticas (IPCC, 2014; Bustamante et al., 2012).

Um dos principais problemas a serem considerados acerca do uso e mudanças no uso da terra são as emissões de gases do efeito estufa que influenciam diretamente o balanço energético da atmosfera. Segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), estas atividades são a segunda fonte emissora de CO_2 ficando atrás somente dos combustíveis fósseis. As estimativas das emissões globais de CO_2 acumuladas no período de 1750 – 2011 são de 180 GtC para o desmatamento e outras mudanças no uso da terra (agricultura, pastagem, etc.) (IPCC, 2014). No entanto, estas emissões são mais difíceis de quantificar e, portanto, geram grandes incertezas nas estimativas (Le Quéré et al., 2009; Ometto; Aguiar; Martinelli, 2011).

As incertezas apresentadas nas estimativas das emissões de CO_2 decorrentes do uso e mudanças no uso da terra estão associadas tanto à complexidade dos processos de desmatamento quanto às várias metodologias empregadas e a fonte de dados utilizada para o cálculo destas estimativas (Ometto et al., 2005; Ramankutty et al., 2007). Portanto, o grande desafio da comunidade científica que trabalha com estimativa de emissões de GEE por estes processos é a obtenção de dados confiáveis de desmatamento e biomassa (Aguiar et al., 2012).

Outros fatores associados ao processo de desmatamento, como por exemplo, o tempo que leva para a área em uso ser abandonada, a inclusão do histórico de mudança no uso do solo durante várias décadas, como a madeira é utilizada e quanto tempo leva para liberar o CO_2 para a atmosfera após o desmatamento, quanto de CO_2 é imediatamente liberado pelo fogo e quanto da biomassa é deixada no solo como restos para decompor lentamente, também contribuem para a redução das incertezas (Ramankutty et al., 2007).

Em regiões de Caatinga há poucos estudos científicos relacionados ao tema, podendo destacar aqueles que tratam da degradação da vegetação nativa através das atividades antrópicas (de Oliveira et al., 2006; Maia et al., 2007; Araújo et al., 2009; Vieira et al., 2009; Fidalgo et al., 2007; Sampaio e Costa, 2011).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é apresentar os resultados de emissões de CO_2, provenientes do uso e mudanças no uso da terra, através da parametrização do modelo INPE-EM (INPE-Emission Model) (Aguiar et al., 2012) para Bioma Caatinga com informações do estado do Rio Grande do Norte.

Para a parametrização e adequação do modelo, foram utilizados mapas de desmatamento do projeto denominado Sistema de Alerta de secas e Desertificação – SAP, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em parceria com o Ministério do Meio Ambiente (MMA), dados de biomassa fornecidos pela FUNCATE (Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais), revisão de literatura e validação com as estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil feitas pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI, 2013), para o setor de mudanças no uso da terra.

Material e Métodos

Descrição da área de estudo

O RN abrange uma área de, aproximadamente, 52.810 km^2 e está localizado na Região Nordeste do Brasil (Figura 1) (IDEMA, 2002; IBGE, 2010). Da Região Nordeste, é o Estado que apresenta maior extensão de área semiárida com 93.93% da sua área total (Pereira Jr., 2007). Sua vegetação predominante é a vegetação de Caatinga hiperxerófila (caatinga arbustiva- arbórea densa e de estrutura irregular), Caatinga hiperxerófila subdesértica (Caatinga aberta da região do Seridó) e Caatinga hipoxerófila (Caatinga arbustiva densa que perde toda sua folhagem em grande parte da estação seca) (Rodal e Sampaio, 2002).

Em geral, a vegetação de Caatinga apresenta características bem definidas com árvores de porte baixo, arbustos e cactáceas. As árvores possuem folhas pequenas que na maioria das espécies caem durante a estação seca. Esta característica é uma adaptação do clima e que ajuda a reduzir a transpiração (Alves; Araújo e Nascimento, 2009; Gariglio et al., 2010).

Geralmente os solos com predominância de vegetação de Caatinga, como é o caso do RN, variam dos férteis e profundos aos menos férteis e rasos, sendo que estes últimos apresentam pouca capacidade de

armazenamento de água e um baixo teor de nutrientes (Sampaio, 1995; Alves; Araújo e Nascimento, 2009; Gariglio et al., 2010).

Figura 1. Mapa da área correspondente ao Bioma Caatinga, destacado em marrom, localizado na região Nordeste do Brasil. Fonte: IBGE.

A temperatura tem uma média anual pouco variável, tanto espacial quanto temporal, em torno de 25,5°C, com temperatura máxima de, aproximadamente 31° C e mínima de 21° C, o que condiz com as características de temperatura de uma região semiárida (IDEMA, 2002; Sampaio, 2003; Alves; Araújo e Nascimento, 2009). As chuvas são irregulares e concentradas em poucos meses do ano, geralmente de 3 a 6 meses, apresentando alta variação e anos de secas severas (Sampaio, 1995; Chiang e Koutavas, 2004, Araújo et al., 2005; Leal et al., 2005; Gariglio et al., 2010).

Metodologia para estimativa das emissões de CO_2

A estimativa das emissões de CO_2 foi realizada através do modelo INPE-EM (INPE-Emission Model, versão 1.0), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e adaptado neste estudo para o bioma Caatinga. Os resultados visam tornar disponíveis inventários anuais de emissões de GEE por mudanças na cobertura da terra no Brasil. O modelo considera vários processos associados ao desmatamento incluindo a exploração madeireira, as queimadas, a decomposição da biomassa abaixo e acima do solo e a decomposição de produtos secundários como o carbono elementar e produtos da madeira (Aguiar et al., 2012).

A Figura 2 ilustra uma representação esquemática do modelo INPE – EM, onde é possível observar como são realizadas as emissões a partir da exploração das vegetações primária e secundária. O componente da vegetação primária representa o processo de remoção e queima da vegetação original, o que consequentemente gera emissões imediatas de CO_2 para atmosfera. Enquanto que o componente da vegetação secundária representa o processo de regeneração da vegetação (absorção de CO_2), seguido da remoção e queima de parte desta para possíveis áreas agrícolas. Através dessas componentes, é possível determinar anualmente as emissões advindas da vegetação primária (PF) e da vegetação secundária (SF).

De acordo com a Figura 2, o cálculo das emissões correspondentes ao desmatamento da vegetação primária é a soma dos componentes referentes à biomassa acima do solo, através da queima e decomposição. Já para a vegetação secundária, o cálculo das emissões é feito considerando o desmatamento e queima da biomassa acima do solo, de parte da vegetação, após o tempo de pousio da agricultura itinerante.

O balanço de CO_2 é calculado somando-se as emissões por queima da vegetação secundária com as emissões da vegetação primária, subtraindo o que foi absorvido pela vegetação secundária durante o processo de crescimento.

De maneira geral, o modelo INPE-EM incorpora a dinâmica temporal relacionada a estes processos, levando-se em consideração a heterogeneidade biofísica e socioeconômica da região em estudo combinando duas componentes, a espacial e a não-espacial. A componente espacial requer uma base de dados geográfica distribuídos espacialmente em células e a componente não-espacial é aplicada para o período em que essas taxas de desmatamento não estão disponíveis espacialmente. Tal estratégia se faz necessária quando é importante incluir as contribuições do passado ao cenário de emissões ou quando não há uma base de dados espacial para a região a ser analisada. Para o presente estudo foi aplicado o modo acoplado do modelo INPE-EM, este modo liga as duas componentes (espacial e não-espacial), de forma que inclui as contribuições do passado ao cenário de emissões (Aguiar et al., 2012).

Dados de desmatamento e biomassa

Para a construção do banco de dados foi utilizado o programa TerraView 4.2.0, um Sistema de Informação Geográfica, construído pelo INPE, sobre a biblioteca de geoprocessamento TerraLib, de distribuição gratuita e código aberto que tem como principal objetivo apresentar à comunidade um visualizador de dados geográficos com recursos de consulta e análise de dados. No TerraView foi possível criar o espaço celular para homogeneizar as informações provenientes de diferentes fontes e de formatos distintos (dados vetoriais, matriciais), agregando-os em uma mesma base celular, que foi utilizada nas atividades de modelagem, no INPE-EM.

A escala espacial deste estudo divide o Estado do Rio Grande do Norte em células regulares de 5 x 5 km. A escala temporal foi aplicada de 1900 – 2010, em etapas anuais. Uma descrição mais detalhada desta

etapa pode ser encontrada em Da Mata (2015) (Tese de Doutorado). Durante este período de tempo, o modelo INPE-EM foi utilizado no modo espacial e/ou não-espacial dependendo da disponibilidade dos mapas de desmatamento espacialmente explícitos.

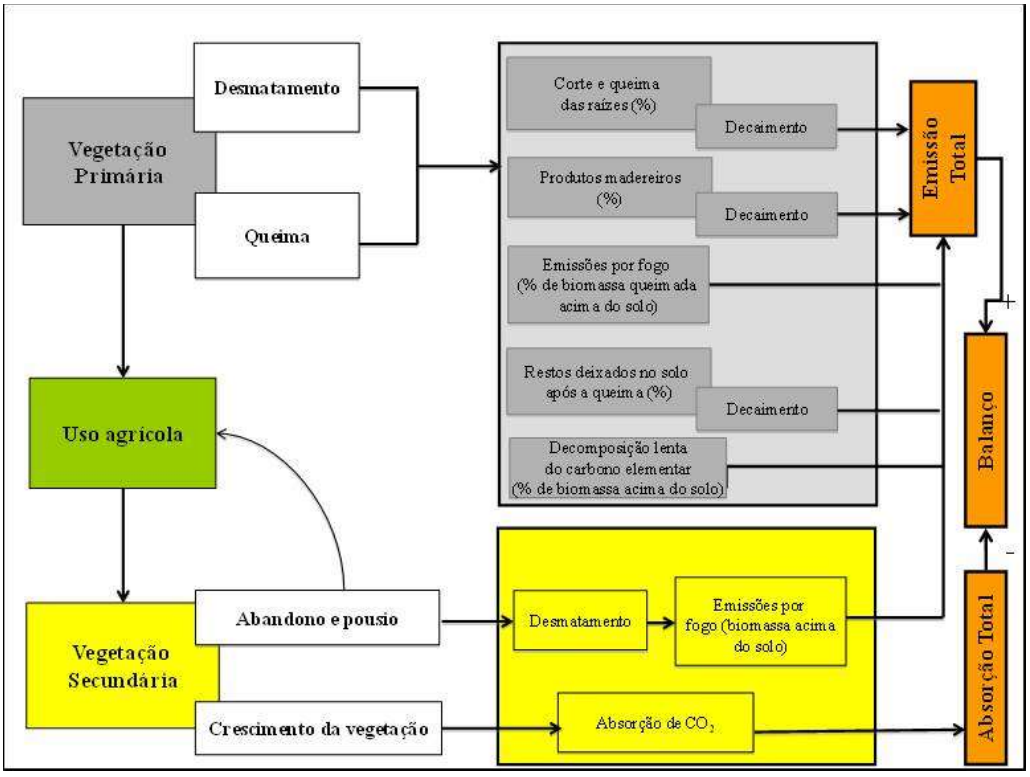


Figura 2. Representação esquemática do modelo INPE-EM (versão 1.0) para as estimativas de emissões de CO_2 (Adaptada de Aguiar et al, 2012).

Os mapas de desmatamento anuais espacialmente explícitos utilizados nesta pesquisa foram cedidos por Vieira et al. (2015) elaborados através de dados do Projeto Sistema de Alerta de secas e Desertificação – SAP. O SAP é um projeto desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em parceria com o Ministério do Meio Ambiente (MMA) e contém um banco de dados com informações biofísicas e socioeconômicas de toda a região semiárida do Nordeste do Brasil.

Os mapas de desmatamento para todo o NEB (período de 2000 – 2010) foram elaborados por meio de interpretação visual de imagens Landsat-TM (resolução de 30 m) e escala 1:500.000. As imagens do Landsat-TM formam utilizadas para atualizar o mapa de uso e cobertura do solo derivado do projeto ROVEG (Vieira et al., 2013), baseado em imagens do Landsat-TM de 2000. Além disso, mapas de uso e ocupação da terra do Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica (PROBIO, 2007), com uma escala espacial de 1:500.000, e imagens de alta resolução do Google Earth foram usadas para auxiliar a atualização dos dados (Vieira et al., 2015). Por fim, com a disponibilidade dos dados de desmatamento para o NEB foi feito um recorte para o Estado do Rio Grande do Norte.

Os dados forneceram informações espaciais sobre os totais desmatados até determinado ano (ha) (chamado "extensão"), com base nestes dados foi possível calcular as novas áreas desmatadas para cada ano utilizado (2000-2010) (chamado "incremento"). De acordo com os dados, até o ano de 2000, aproximadamente 60% da vegetação de Caatinga do RN já havia sofrido alguma alteração antrópica e, até o ano de 2010, essas alterações sofreram um acréscimo de 7%, totalizando 67% de alterações no uso da terra do bioma do RN.

Optou-se por estimar as emissões de CO_2 usando os incrementos. Com isso, as estimativas de emissão seriam compatíveis com as taxas de desmatamento daquele ano. O cálculo do incremento (ha) para todos os anos (2000-2010) disponíveis espacialmente, foi feito através da diferença da extensão de um ano para outro.

O INPE-EM foi utilizado no modo não-espacial para o período de 1900-1999 e no modo espacial de 2000-2010. Considerou-se o período de 1900-1999, onde não havia dados de desmatamento espacialmente explícitos, importante para incluir as contribuições dos impactos ocasionados pelo uso e mudanças no uso da terra do Bioma Caatinga do RN do passado, nas estimativas das emissões de CO_2. Para o cálculo dos dados de desmatamento não-espaciais (1900 - 1999) foi utilizado o total de área desmatada até o ano de 2000 indicado pelos dados do SAP (Vieira et al., 2015) dividindo-se este total por 100 (número de anos estimados). Este valor médio para cada ano forneceu o incremento do desmatamento em cada ano.

Os dados espaciais de biomassa acima do solo na Caatinga foram gerados a partir de um mapa de biomassa com estimativas de dados de densidade média de carbono nas fisionomias vegetais do Bioma Caatinga, cedidos pela FUNCATE (Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais). Os dados espaciais cedidos pela FUNCATE para o Bioma Caatinga foram elaborados por meio de interpretação visual de imagens Landsat-TM (escala 1:250.000 e resolução de 30 m).

No Segundo Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa apresentado pela FUNCATE (2010), foram utilizados como base os anos 1994 e 2002 e para a obtenção do estoque de carbono na biomassa da Caatinga foram utilizadas informações da literatura referentes às tipologias de savana estépica (Ta, Td, Tg e Tp). As fisionomias Ta, Td, Tg e Tp significam savana estépica arborizada, savana estépica arbórea densa, savana estépica gramíneo - lenhosa e savana estépica de parque, respectivamente. As demais fisionomias que compõem o bioma foram obtidos das fisionomias vegetais dos biomas vizinhos, como Mata Atlântica e Cerrado. Os valores de carbono na vegetação variam de acordo com estas fisionomias.

Para a obtenção do mapa espacial de biomassa para o RN, foi considerado que a porcentagem de carbono contido na biomassa, média para vários tipos de plantas, é de aproximadamente 43% (Sampaio e Costa, 2011).

Componente de Floresta Primária (PF)

Para este primeiro estudo foi aplicado o componente da floresta primária (PF) do modelo INPE-EM. Para cada ano, o componente da floresta primária no modelo considera a nova área desmatada em uma determinada célula para calcular a quantidade de biomassa removida acima do solo (*AGB*). Esta quantidade de AGB é convertida em carbono (C), considerando um teor médio (% de C determinado por *carbonPercBiomass*) na biomassa vegetal. A quantidade de carbono acima do solo AGB também é utilizada para o cálculo da biomassa abaixo do solo (*BGB*), dado pela razão BGB/AGB (*BGBPercAGB*). O modelo INPE-EM para o componente da floresta primária considera que parte da BGB irá decair ao longo dos anos de acordo com uma taxa de decaimento (*decayRateBGB*). Estes parâmetros AGB e BGB são dados por um submodelo de biomassa que define os valores dos parâmetros, dependendo da fonte de dados de biomassa.

A quantidade de carbono proveniente do desmatamento AGB é dividido em quatro caminhos possíveis, como proposto por Houghton et al (2000): (a) uma porcentagem removida como madeira (*percWood*), assumindo que o carbono derivado de produtos madeireiro será liberado para atmosfera ao longo dos anos, considerando uma taxa de decaimento linear (*decayRateWood*); (b) uma porcentagem da biomassa, após a exploração da madeira, é queimada e o carbono é liberado imediatamente para a atmosfera, no mesmo ano (*percFireFirstYear*); (c) uma percentagem é deixada no chão para decompor (*PercSlash*), considerando uma taxa de decaimento exponencial (*decayRateSlash*), e que pode queimar novamente nos anos seguintes de acordo com o parâmetro do modelo (*slashFireCycle*); (d) uma percentagem é convertida em carbono elementar pelo fogo (*percElementalCarbon*), que decai com taxas muito lentas (*decayRateElemCarb*).

Para explicar a heterogeneidade da área de estudo, o modelo permite que essas porcentagens sejam representadas espacialmente, de modo que, os parâmetros podem ser específicos de cada célula, de acordo com as práticas de uso da terra. Esses parâmetros definem o componente da vegetação primária e vários submodelos podem ser definidos para testar valores alternativos, para que melhor seja representada a dinâmica da região de estudo.

Cálculo de Emissões de CO_2 para o componente de Floresta Primária (PF)

As emissões resultantes do corte da floresta primária (M^{PF}_{co2}) correspondem à soma dos componentes anuais referentes à decomposição gradual da biomassa acima e abaixo do solo (M^{PF}_{co2ds}), com as componentes de queima da biomassa acima do solo ($M^{PF}_{co2fire}$):

$$M^{PF}_{co2} = \sum M^{PF}_{co2ds} + \sum M^{PF}_{co2fire} \quad \text{eq. 1.1}$$

As emissões de dióxido de carbono emitidas pelos processos de decaimento (M^{PF}_{co2ds}) são a soma de cada processo envolvido: decomposição dos restos deixados no solo e que irão queimar ao longo dos anos, dos produtos madeireiros e do carbono elementar, além de considerar o decaimento das raízes para cada célula e ano:

$$M^{PF}_{co2ds} = T_{ds} \text{ x } EF_{Bco2} + T_{dr} \text{ x } EF_{Bco2} + T_{dw} \text{ x } EF_{Bco2} + T_{de} \text{ x } EF_{Bco2} \quad \text{eq.1.2}$$

onde EF_{Bco2} é o fator de emissão de CO_2 para decomposição de biomassa e T_{ds}, T_{dr}, T_{dw}, e T_{de} são os decaimentos do corte, raízes, produtos madeireiros e do carbono elementar, respectivamente.

A somatória das emissões de CO_2 oriundas da liberação imediata pelo fogo, os processos de queimadas na área desmatada nos correntes anos para cada célula são:

$$M^{PF}_{co2fire} = M_{BBfire} \text{ x } EF_{Bco2fire} + M_{fs} \text{ x } EF_{Bco2fire} \quad \text{eq.1.3}$$

onde $EF_{Bco2fire}$ é o fator de emissão de CO_2 para queimadas e M_{BBfire} e M_{fs} são a biomassa queimada e os restos da biomassa deixada no solo após a queima, respectivamente.

Os fatores de emissão apresentados nas equações 1.2 e 1.3 para a Caatinga foram adotados de (Andreae e Merlet, 2001) que consideraram a biomassa queimada para savana e gramíneas, tipo de vegetação que mais se assemelha à vegetação de Caatinga.

Na Tabela 1 é mostrada a parametrização do modelo INPE-EM para a vegetação de Caatinga do RN com informações da literatura.

Tabela 1. Parâmetros do modelo INPE-EM para as emissões de CO_2 provocadas pelas mudanças no uso da terra do bioma Caatinga (adaptado de Aguiar et al., 2012).

Parâmetro		Descrição		Fonte
Biomassa (B)	*AGB*	Biomassa acima do solo, considerando somente biomassa florestal.	40 Mg ha^{-1}	Sampaio e Costa (2011)
	CarbonPercBiomass	Porcentagem de carbono na biomassa seca.	43%	Sampaio e Costa (2011)
	BGBPercAGB	Porcentagem da AGB para cálculo da biomassa abaixo do solo (BGB).	18%	Sampaio e Costa (2011)
Floresta Primária (PF)	*PercWood*	Porcentagem da AGB removida como madeira (para produtos madeireiros) durante o processo de desmatamento.	0 %	§
	*PercFireFirstYear**	Porcentagem da AGB (depois da remoção da madeira) queimada no primeiro ano durante o processo de desmatamento.	80%	Sampaio e Costa (2011)
	*PercSlash**	Porcentagem da AGB (depois da remoção da madeira) deixada no terreno como restos após a queima.	18%	--
	*PercElementarCarbon**	Porcentagem da AGB (depois da remoção da madeira) deixada no terreno e que decairá lentamente.	2 %	Aguiar et al. (2012)
	SlashFireCycle	Número de anos para queimar novamente os restos deixados no terreno.	1000 anos	§
	DecayRateWood	Taxa de decaimento dos produtos madeireiros.	0	§
	DecayRateSlash	Taxa de decaimento dos restos deixados no terreno.	0,3	Costa (2012)
	DecayRateElemCarbon	Taxa de decaimento do carbono elementar.	0,001	Aguiar et al. (2012)
	DecayRateBGB	Taxa de decomposição das raízes (BGB).	0,058	Costa (2012)

Submodelos da vegetação primária

A adaptação do modelo visa incorporar diferentes parâmetros do processo de desmatamento em si e sua diversidade regional.

Para representar os processos de desmatamento da vegetação primária de Caatinga foram adicionados três parâmetros à versão 1.0 do INPE-EM de Aguiar et al. (2012) para incluir a dinâmica de corte e queima das raízes (*BGB*) durante o processo de desmatamento. Estes parâmetros estão relacionados à porcentagem da biomassa das raízes que será perdida durante o processo de desmatamento (*CutRatioBGB*), a porcentagem da biomassa das raízes perdida que será queimada no primeiro ano (*PercFireBGBFirstYear*) e a porcentagem da biomassa das raízes perdida que irá se decompor (*DecayPercBGB*). Com isso, foram aplicados três submodelos (PF1, PF2 e PF3) para representar a dinâmica de corte raso da vegetação, com e sem destoca da raiz, por ser a prática mais comum de desmatamento no Bioma Caatinga de acordo com o Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2008).

No primeiro submodelo PF1 é considerado o corte raso com destoca e queima das raízes durante o processo de desmatamento. Considerou-se que 100% das raízes da área desmatada morrem através de destoca e queima, sendo representado no modelo da seguinte forma: porcentagem da biomassa das raízes que será perdida será de 100% (*CutRatioBGB* = 100%), destes, a porcentagem da biomassa das raízes perdida que será queimada no primeiro ano também será de100% (*PercFireBGBFirstYear*) e a porcentagem da biomassa das raízes perdida que irá decompor será de 0% (*DecayPercBGB*).

No segundo submodelo PF2 é considerado que durante o processo de desmatamento, 50% das raízes da área desmatada irão permanecer vivas, sendo representado no modelo da seguinte forma: porcentagem da biomassa das raízes que será perdida será de 50% (*CutRatioBGB* = 100%), destes, a

porcentagem da biomassa das raízes perdida que será queimada no primeiro ano também será de 100% (*PercFireBGBFirstYear*) e a porcentagem da biomassa das raízes perdida que irá se decompor será de 0% (*DecayPercBGB*).

No terceiro submodelo PF3 é considerado o corte sem destoca das raízes, de modo que durante o processo de desmatamento, 0% das raízes da área desmatada morre (corte somente da parte superior da vegetação), sendo representado no modelo da seguinte forma: porcentagem da biomassa das raízes que será perdida será de 0% (*CutRatioBGB* = 0%), destes, a porcentagem da biomassa das raízes perdida que será queimada no primeiro ano também será de 0% (*PercFireBGBFirstYear*) e a porcentagem da biomassa das raízes perdida que irá decompor será de 0% (*DecayPercBGB*). Os três submodelos para vegetação primária da Caatinga do RN (PF1, PF2 e PF3) estão descritos resumidamente na Tabela 2.

Tabela 2. Submodelos da vegetação primária para o Bioma Caatinga do RN.

PF1	*CutRatioBGB*	Porcentagem da biomassa das raízes que será perdida (arranca 100% das raízes)	100%
	PercFireBGBFirstYear	Porcentagem da biomassa das raízes perdida que será queimada no primeiro ano.	100%
	DecayPercBGB	Porcentagem da biomassa das raízes perdida que irá decompor.	0%
PF2	*CutRatioBGB*	Porcentagem da biomassa das raízes que será perdida	50% (arranca 50% das raízes)
	PercFireBGBFirstYear	Porcentagem da biomassa das raízes perdida que será queimada no primeiro ano.	100%
	DecayPercBGB	Porcentagem da biomassa das raízes perdida que irá decompor.	0%
PF3	*CutRatioBGB*	Porcentagem da biomassa das raízes que será perdida	0%
	PercFireBGBFirstYear	Porcentagem da biomassa das raízes perdida que será queimada no primeiro ano.	0%
	DecayPercBGB	Porcentagem da biomassa das raízes perdida que irá decompor.	0%

Resultados e Discussão

Os resultados da Figura 3 mostram as estimativas das emissões totais de CO_2 da vegetação primária de Caatinga do RN, obtidas pelo modo agregado do modelo INPE-EM, nos submodelos PF1, PF2 e PF3. No submodelo PF1, onde se supõe a destoca e queima de 100% das raízes, o gráfico mostra que a emissão total de CO_2 no período 2000-2010 estimada pelo modelo foi de 27,3 x 10^3 Mg CO_2, com média anual de 2,5 x 10^3 Mg CO_2 ano^{-1}. No submodelo PF2, com destoca e queima de 50% das raízes arrancadas durante o processo de desmatamento, a estimativa da emissão de CO_2 foi um pouco menor totalizando 25,2 x 10^3 Mg CO_2 durante o período de dez anos com média anual de 2,3 x 10^3 Mg CO_2 ano^{-1}. Para o submodelo PF3, onde não se considerou destoca e queima das raízes, a estimativa da emissão de CO_2 foi um pouco menor totalizando 23,3 x 10^3 Mg CO_2 durante o mesmo período, com média anual de 2,1 x 10^3 Mg CO_2 ano^{-1}.

As estimativas anuais de gases do efeito estufa no Brasil publicadas pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI, 2013) apresentam emissões de CO_2 por mudanças de uso da terra entre 1990 e 2010 para todos os Biomas Brasileiros. Para o Bioma Caatinga, as estimativas das emissões brutas de CO_2 em dois anos consecutivos, 2009 e 2010, por exemplo, foram de 13.980 x 10^3 Mg CO_2 ano^{-1} para cada ano (MCTI, 2013). O inventário do MCTI não especifica seus dados a nível estadual. Os valores obtidos pelo modelo INPE-EM para a Caatinga do Rio Grande do Norte, no mesmo período (2009 e 2010), foram de 2,5 x 10^3 Mg CO_2 ano^{-1} e 2,4 x 10^3 Mg CO_2 ano^{-1} para PF1, 2,3 x 10^3 Mg CO_2 ano^{-1} e 2,3 x 10^3 (Mg CO_2 ano^{-1}) para PF2 e 2,1 x 10^3 Mg CO_2 ano^{-1} e 2,1 x 10^3 Mg CO_2 ano^{-1} para PF3, para estes dois anos respectivamente. O modelo INPE-EM estimou valores constantes para os anos 2009 e 2010 nos dois últimos submodelos PF2 e PF3.

Fazendo uma análise comparativa, a vegetação de Caatinga do RN emite aproximadamente 0,02% do total de CO_2 emitido por todo o Bioma Caatinga do NEB. Esta estimativa das emissões CO_2 apresentadas pelo INPE-EM pode está subestimada devido às incertezas apresentadas nos dados de entrada do modelo. Porém, é importante enfatizar que esses valores menores podem ser relacionados ao tamanho da área analisada, pois o RN representa aproximadamente 6% da área total do Bioma Caatinga e nem todas as áreas possuem iguais atividades de uso e mudanças no uso da terra. Estes dados apresentados são os únicos existentes até então na literatura para comparação especificamente do Bioma Caatinga no mesmo período analisado nesta pesquisa.

Como se pode observar na Figura 3, as estimativas das emissões de CO_2 para vegetação primária de Caatinga do RN apresentam uma pequena queda em relação às oscilações da taxa de desmatamento (aumentos e quedas) para os três submodelos PF1, PF2 e PF3, devido às influências do passado, ou seja,

carregam as influências dos processos de decomposição e queima de anos anteriores.

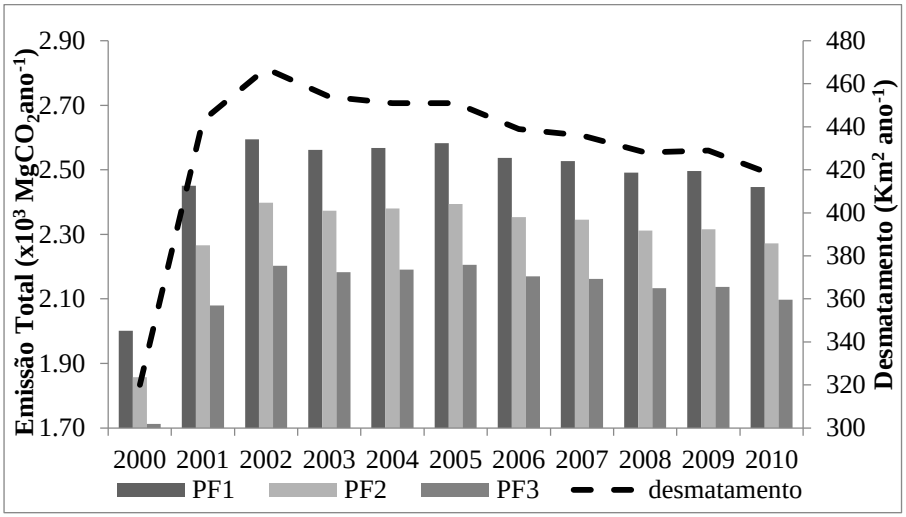


Figura 3: Desmatamento e emissões de CO_2 para vegetação primária de Caatinga do RN com destoca e queima de 100% das raízes (PF1), com destoca e queima de 50% das raízes (PF2) e sem destoca e sem queima das raízes (PF3), usando o modo agregado do modelo INPE-EM.

Uma importante fonte de incerteza da vegetação primária diz respeito à quantidade de biomassa acima e abaixo do solo (*AGB* e *BGB*) que é queimada no primeiro ano após a exploração da madeira. Desta forma, a Figura 4 mostra uma análise comparativa entre parâmetros alternativos para a biomassa abaixo do solo queimada no primeiro ano (*PercFireBGBFirstYear*) em PF1, PF2 e PF3, considerando que 80% da biomassa explorada acima do solo queima no primeiro ano (*PercFireFirstYear*).

Os valores médios anuais apresentados através do modelo INPE-EM para as estimativas de emissões de CO_2 geradas por fogo para cada submodelo foram de 2,0 x 10^3 Mg CO_2 ano^{-1} para PF1, 1,8 x 10^3 Mg CO_2 ano^{-1} para PF2 e 1,6 x 10^3 Mg CO_2 ano^{-1} para PF3, respectivamente. Esta variação apresentada nos valores das estimativas de emissões de CO_2 ocorre devido à porcentagem de biomassa abaixo do solo (*PercFireBGBFirstYear*) queimada no primeiro ano, considerada para cada submodelo.

Assim, em 2002, por exemplo, quando os dados apresentam um pico máximo no desmatamento para a região de estudo, a emissão de CO_2 por fogo foi em média 2,1 x 10^3 Mg CO_2 ano^{-1} para PF1, 1,9 x 10^3 Mg CO_2 ano^{-1} para PF2 e 1,7 x 10^3 Mg CO_2 ano^{-1} para PF3. Os menores valores apresentados para a emissão de CO_2 em PF2 e PF3 no ano de 2002, e nos demais anos, em relação a PF1 ocorrem devido às considerações feitas para queima da biomassa abaixo do solo em cada submodelo como descrito na Tabela 2.

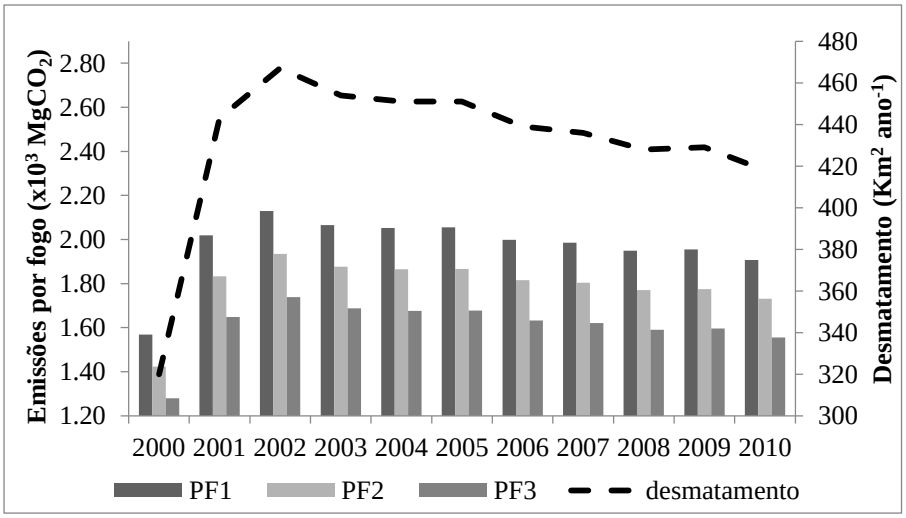
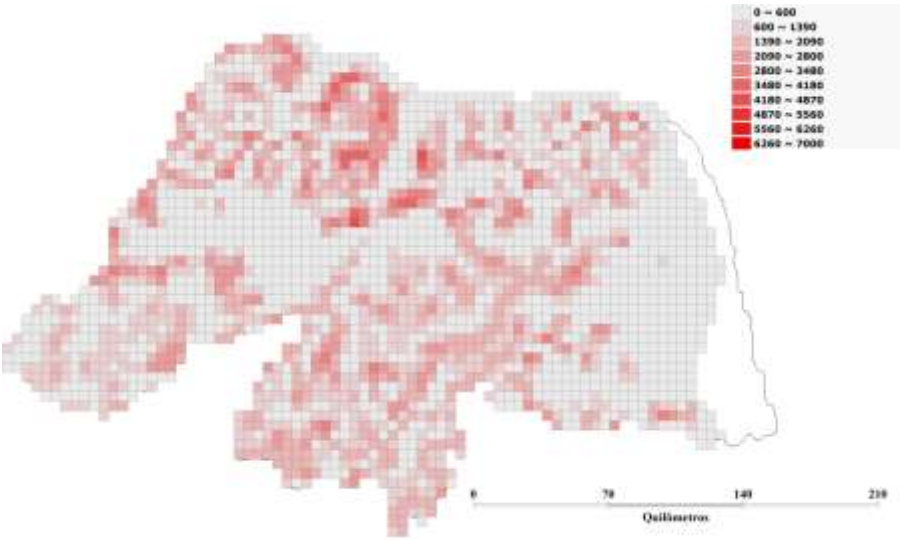


Figura 43: Desmatamento e emissões de CO_2 por fogo no primeiro ano para vegetação primária de Caatinga nos submodelos PF1, PF2 e PF3, modo agregado do modelo INPE-EM.

A Figura 5 a e b mostram os resultados espacialmente explícitos das emissões de CO_2 Mg CO_2 ano^{-1} por queima no primeiro ano para o submodelo PF1, em células regulares de 5 x 5 km para os dois anos consecutivos 2009 e 2010. Os mapas de distribuição espacial (Figuras 5 a e b) mostram que dentre as regiões que apresentam maior intensidade nas emissões CO_2, podem-se destacar a Central e o Oeste Potiguar. Já as regiões que apresentam menores taxas de emissões de CO_2 por uso e mudanças no uso da terra no RN, estão representadas na cor cinza dos mapas.

Na região central está localizada a região Seridó que se destaca por suas intensas atividades de desmatamento, principalmente para retirada da lenha. Geralmente, a madeira do processo de desmatamento nesta região é aproveitada como fonte de energia em fornos da indústria local de cerâmicas, na produção de carvão, olarias, queijeiras, caieiras e padarias (Silva et al., 2008). Na região Oeste Potiguar, está localizado um dos principais pólos industriais de produção de cerâmica vermelha, o Vale do Açu. Como essa atividade requer muito a utilização de fornos à lenha, muito provavelmente essa seja a justificativa para uma maior concentração das emissões de CO_2 nesta porção do RN.

a) Emissões CO_2 por queima (Mg CO_2 ano^{-1}) em 2009



b) Emissões CO_2 por queima (Mg CO_2 ano^{-1}) em 2010

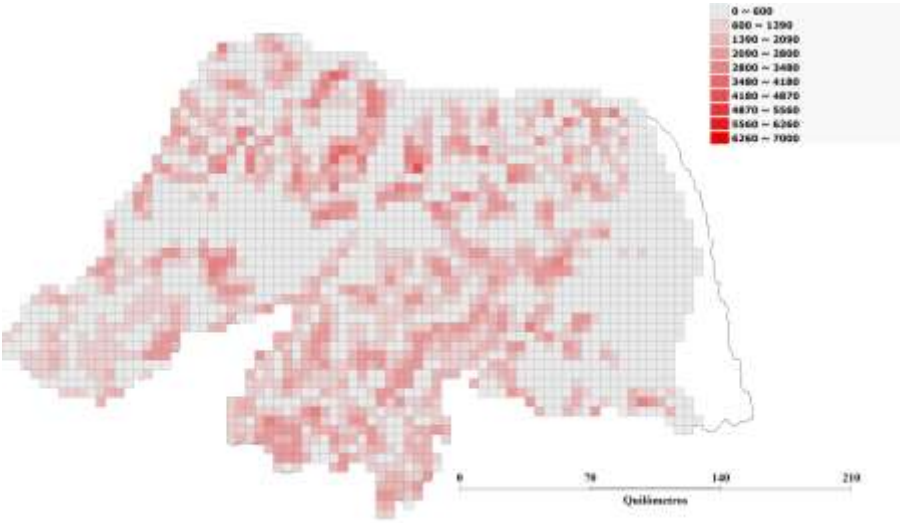


Figura 54: Distribuição espacial em células de 5 x 5 km das emissões de CO_2 por fogo no primeiro ano (Mg CO_2 ano^{-1}) para PF1 a) 2009 e b) 2010.

Conclusão

Os resultados apresentados do modelo INPE-EM são de suma importância para a caracterização da área em termos de emissões, além de contribuir para uma análise futura da química da atmosfera da região do Nordeste e da Caatinga. Estes resultados também contribuem para a criação de inventários de emissões inéditos para a região, sendo fundamentais para a modelagem da geração, transporte e deposição de poluentes, gases de efeito estufa e aerossóis na química

da atmosfera, tanto para estudos ambientais a curto prazo quanto para estudos climáticos. Além disso, os dados obtidos deste estudo contribuirão substancialmente para redução das incertezas apresentadas nos inventários de emissões globais e nacionais para o Nordeste Brasileiro.

As estimativas possibilitam um melhor conhecimento dos impactos ocasionados pelas mudanças no uso e cobertura da terra nesta região, como o uso inadequado do solo e desmatamento da vegetação nativa, sendo útil também para as políticas de tomadas de decisões a nível estadual e federal.

No Bioma Caatinga do RN, as incertezas referentes à dinâmica e a quantidade de áreas desmatadas espacialmente, assim como as incertezas referentes aos dados de biomassa podem incorrer em estimativas das emissões de CO_2 por uso e mudanças no uso da terra com menor precisão.

Outro grande desafio encontrado para o desenvolvimento desta pesquisa foi com relação à representação dos processos de desmatamento da vegetação primária. No modelo adaptado de Aguiar et al. (2012) para a vegetação de Caatinga do RN foram incluídas as influências socioeconômicas e biofísicas da região de estudo de acordo com a disponibilidade da literatura, que ainda é bastante escassa. Porém, com a disponibilidade de uma base de dados mais atualizada de desmatamento e biomassa por sensoriamento remoto, estas incertezas poderão ser reduzidas consideravelmente. Dessa forma, já se encontra em andamento, pela FUNCATE, a construção de uma nova base de dados de biomassa para o Bioma Caatinga. Além disso, no INPE/CRN está sendo elaborado o levantamento do desmatamento para o Bioma Caatinga através do Projeto "Construindo Nosso Mapa Municipal Visto do Espaço" com imagens do Landsat-8. O projeto já apresenta resultados preliminares para aproximadamente 9% do Bioma e a meta é apresentar levantamento para 30% do Bioma até o final de 2015. Mais informação sobre o projeto está disponível em: http://www.geopro.crn2.inpe.br/desmatamento.htm.

Como forma de trabalhos futuros para estimativas através do modelo INPE-EM, sugere-se a inclusão da dinâmica de desmatamento da vegetação secundária, visto que já se afirma que a maior parte da Caatinga é coberta por vegetação secundária, em diversas fases de sucessão, dependendo das práticas e intervenções passadas (Castelletti et al., 2003; Gariglio et al., 2010; Araújo Filho, 2013).

Outro fato a ser considerado para reduzir as incertezas na quantificação das emissões será a organização de campanhas experimentais para medição dos fatores de emissão para gases do efeito estufa na vegetação de Caatinga, visto que os apresentados até o momento são para savana e gramíneas, sem conhecimento sobre o Bioma Caatinga.

Agradecimentos

A CAPES pela concessão da bolsa de Doutorado. Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas - PPGCC da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN. Ao Centro de Ciência do Sistema Terrestre - CCST/INPE, São José dos Campos, SP.

Referências

Aguiar, A.P.D., Ometto, J.P., Nobre, C., Lapola, D.M., Almeida, C., Vieira, I.C., Soares, J.V., 2012. Modeling the spatial and temporal heterogeneity of deforestation-driven carbon emissions: the INPE-EM framework applied to the Brazilian Amazon. Global Change Biology 18, 3346-3366.

Alves, J.J.A., Araújo, M.A., Nascimento, S.S., 2009. Degradação da Caatinga: Uma Investigação Ecogeográfica. Revista Caatinga 22, 126-135.

Andreae, M.O., Merlet, P., 2001. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. Global Biogeochemical Cycles 15, 955-966.

Araújo, E.L., Silva, K.L., Ferraz, E.M.N., Sampaio, E.V.S.B., Silva, S.I., 2005. Diversidade de herbáceas em microhabitats rochoso, plano e ciliar em uma área de caatinga, Caruaru, PE. Acta Botanica Brasilica 19, 285-294.

Araújo Filho, J.A., 2013. Manejo pastoril sustentável da caatinga. Projeto Dom Helder Camara. Recife.

Araújo, K.D., Parente, H.N., Correia, K.G., Dantas, R.T., Andrade, A.P., Pazera Jr., E., 2009. Liberação de Dióxido de Carbono (CO_2) em Área de Caatinga no Semi-árido da Paraíba. Revista Geoambiente 1, 42-53.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente, 2008. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Departamento de Florestas. Programa Nacional de Florestas. Unidade de Apoio do PNF no Nordeste. Manejo sustentável dos recursos florestais da Caatinga / MMA. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Departamento de Florestas. Programa Nacional de Florestas. Unidade de Apoio do PNF no Nordeste, Natal, p. 28.

Bustamante, M.M.C., Nobre, C.A., Smeraldi, R.,Aguiar, A.P.D., Barioni, L.G., Ferreira, L.G., Longo, K., May, P., Pinto, A.S., Ometto, J.P.H.B., 2012. Estimating greenhouse gas emissions from cattle raising in Brazil. Climatic Change.

Castelletti, C. H. M., Silva, J. M. C. D., Tabarelli, M., & Santos, A. M. M., 2003. Quanto ainda resta da Caatinga? Uma estimativa preliminar. Ecologia e conservação da caatinga, 777-796.

Chiang J.C.H., Koutavas A., 2004. Tropical flip-flop connections. Nature 432, 684-685.

da Mata, M. V. M., 2015. Estimativa das Emissões de Dióxido de Carbono Associadas às Mudanças no Uso e Cobertura da Terra do Bioma Caatinga no Estado do Rio Grande do Norte (Tese de Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas, Universidade de Federal do Rio Grande do Norte, Natal, p. 114.

de Oliveira, M. B. L., Santos, A., Manzi, A. O., Alvalá, R. D. S., Correia, M. D. F., & de Moura, M. S. B. 2006. Trocas de Energia e Fluxo de Carbono entre a Vegetação de Caatinga e Atmosfera no Nordeste Brasileiro. Revista Brasileira de Meteorologia, 21, 166-174.

Vieira, R. M. S. P., Tomasella, J., Alvalá, R. C. S., Sestini, M. F., Affonso, A. G., Rodriguez, D. A., ... & Santana, M. O., 2015. Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian northeast. Solid Earth 6, 347-360.

Fidalgo, E.C.C., Benites, V.M., Machado, P.L.O.A., Madari, B.E., Coelho, N.R., Moura, I.B., Lima, C.X., 2007. Estoque de Carbono nos Solos do Brasil. Embrapa Solos, Rio de Janeiro.

Gariglio, M.A., Sampaio, E.V.S.B., Cestaro, L.A., Kageyama, P.Y., 2010. Uso Sustentável e Conservação dos Recursos Florestais da Caatinga. MMA-Ministério do Meio Ambiente; Serviço Florestal Brasileiro, Brasília.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Censo demográfico 2010. Disponível: http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=rn. Acesso: 14 jun. 2012.

IDEMA. Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente, 2002. Perfil do Estado do Rio Grande do Norte. Disponível: http://www.idema.rn.gov.br/governo/secretarias/idema/perfilrn/Aspectos-fisicos.pdf. Acesso: 14 jun. 2012.

IPCC. International Panel on Climate Change, 2014. Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Leal, I.R., Silva, J.M.C., Tabarelli, M., Lacher Jr., T.E., 2005. Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil. Megadiversidade 1, 139-146.

Le Quéré, C., Raupach, M.R., Canadell, J.G., Marland, G., 2009. Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. Nature Geoscience published [online].

Maia, S.M.F., Xavier, F.A.S., Oliveira, T.S., Mendonça, E.S., Araújo Filho, J.A., 2007. Organic carbon pools in a Luvisol under agroforestry and conventional farming systems in the semiarid region of Ceará, Brazil. Agroforestry Systems 71, 127-138.

MCTI. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2013. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil. Brasília.

Ometto, J. P. H., Nobre, A. D., Rocha, H. R., Artaxo, P., & Martinelli, L. A., 2005. Amazonia and the modern carbon cycle: lessons learned. Oecologia 143, 483-500.

Ometto, J.P., Dutra Aguiar, A.P., Martinelli, L.A., 2011. Amazon deforestation in Brazil: effects, drivers and challenges. Carbon Management 2, 575-585.

Pereira Jr., J.S., 2007. Nova Delimitação do Semi-Árido Brasileiro. Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados.

PROBIO. Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira, 2007. Subprojeto - Levantamento da Cobertura Vegetal e do Uso do solo do Bioma Caatinga. Disponível em: http://mapas.mma.gov.br/geodados/brasil/vegetacao/vegetacao2002/Caatinga/documentos/relatorio_final.pdf. Acesso em: 20 Out. 2014.

Ramankutty, N., Gibbs, H.K., Achard, F., Defries, R., Foley, J.A., Houghton, R.A., 2007. Challenges to estimating carbon emissions from tropical deforestation. Global Change Biology 13, 51-66.

Rodal, M.J.N., Sampaio, E.V.S.B., 2002. A vegetação do bioma caatinga, in: Sampaio, E.V.S.B., Giulietti, A.M., Virgínio, J., Gamarra-Rojas, C.F.L. (Eds.), Vegetação & Flora da Caatinga. Associação Plantas do Nordeste/ Centro Nordestino de Informações sobre Plantas, Recife, pp. 11-24.

Sampaio, E.V.S.B., 1995. Overview of the Brazilian caatinga, in: Bullock, S.H., Mooney, H.A., Medina, E. (Eds.), Seasonally Dry Tropical Forests. University Press, Cambridge, pp. 35-63.

Sampaio, E.V.S.B., 2003. Caracterização da caatinga e fatores ambientais que afetam a ecologia das plantas lenhosas, in: Sales, V.C. (Org.), Ecossistemas Brasileiros: manejo e conservação. Expressão Gráfica e Editora, Fortaleza, pp. 129-142.

Sampaio, E.V.S.B., Costa, T.L., 2011. Estoques e Fluxos de Carbono no Semi-Árido Nordestino: Estimativas Preliminares. Revista Brasileira de Geografia Física 6, 1275-1291.

Silva, E., Dantas, A., Lucena, D., Viana, J., Silva, J., Lima, M., ... & Nascimento, V., 2008. Diagnóstico do Uso da Lenha nas atividades agroindustriais do território do Seridó. Agência de Desenvolvimento Sustentável do Seridó-ADESE & Cooperação Técnica Alemã-GTZ. Caicó/RN. Disponível em: http://adese.com.br/documentos/Publicacoes/Diagnostico_Uso_Lenha_Atividades_Agroindustriais.pdf.

Thonicke, K., Venevsky, S., Sitch, S., & Cramer, W., 2001. The role of fire disturbance for global vegetation dynamics: coupling fire into a Dynamic Global Vegetation Model. Global Ecology and Biogeography 10, 661-677.

Vieira, G., Sanquetta, C.R., Klüppel, L.W., Barreiro, L.S.S., 2009. Teores de carbono em espécies vegetais da Caatinga e do Cerrado. Revista Acadêmica Ciência Agrária Ambiental 7, 145-155.

Vieira, R. M. D. S. P., Cunha, A. P. M. D. A., Alvalá, R. C. D. S., Carvalho, V. C., Ferraz Neto, S., & Sestini, M. F., 2013. Land use and land cover map of a semiarid Region of Brazil for meteorological and climatic models. Revista Brasileira de Meteorologia 28, 129-138.