
METODOLOGIA PARA O MAPEAMENTO E QUANTIFICAÇÃO DO ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO DO BIOMA CAATINGA NA REGIÃO AGRESTE DE PERNAMBUCO

THIAGO ANTONIO RODRIGUES FREIRE LIMA¹
ANA LÚCIA BEZERRA CANDEIAS²
RAFAEL RODRIGUES DA SILVA³
RÔMULO SIMÕES CEZAR MENEZES⁴

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG

¹Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas

²Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE

^{3,4}Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares/UFPE

tarflima@yahoo.com.br, analucia@ufpe.br, rodriguesrs19@gmail.com, romuloscmenezes@gmail.com

RESUMO - As emissões antrópicas de dióxido de carbono (CO₂) para a atmosfera tem crescido ao longo dos últimos 20 anos, com um acréscimo de 39% durante este período. Essas emissões contribuem para o aumento da concentração de gases de efeito estufa (GEE) responsáveis pelas mudanças climáticas. A remoção e sequestro do carbono no solo e na vegetação é uma das estratégias de mitigar esses impactos. O presente trabalho visa exemplificar e gerar um mapeamento temático da quantidade de carbono (C) nas diferentes classes de solos no bioma Caatinga sob os principais tipos de uso da terra, tendo como estudo de caso uma área na região Agreste de Pernambuco. Com o uso da geotecnologia, a análise e modelagem da quantificação do C na Caatinga se torna mais acessível e possível, servindo para outros estudos futuros.

ABSTRACT - Carbon dioxide (CO₂) has been significantly released to the atmosphere due to anthropogenic influences over the past 20 years, with an increase of 39% over this period. These processes contribute to the increase of greenhouse gases (GHGs) responsible for climate changes. This work aims to exemplify and generate a thematic mapping of the amount of carbon (C) in different soil classes in the Caatinga biome under the main types of land use. The study will be developed in an area in the Agreste region of Pernambuco. The use of geotechnology and modeling will make the quantification of C in soils and vegetation of Caatinga more accessible and possible, serving as basis for other future studies.

1 INTRODUÇÃO

O uso do geoprocessamento e imagens de satélites multitemporais possuem papel fundamental na pesquisa de mudanças climáticas relacionada ao fluxo e estoque de carbono (C) e o seu mapeamento em diferentes ecossistemas. As estimativas, por exemplo, da distribuição de biomassa da vegetação dependem de técnicas de sensoriamento remoto por causa, principalmente, da grande extensão geográfica das florestas, acessibilidade difícil, e a utilidade limitada de inventários de campo devido à variabilidade espacial natural da biomassa florestal (SAATCHI et al., 2011).

Atualmente é debatido amplamente no âmbito científico e político sobre sequestro de C, mudanças climáticas, aquecimento global e sustentabilidade, temas que estão diretamente interligados. O sequestro de C pela vegetação e seu posterior estoque no solo é um dos resultados ligados à sustentabilidade e ao manejo florestal em um determinado ecossistema ou bioma. Ações humanas voltadas a manter o equilíbrio entre os fluxos e estoques de C poderão trazer resultados positivos à preservação da biodiversidade e da melhoria da qualidade de vida do homem na Terra.

Segundo dados recentes, a emissão de dióxido de carbono (CO₂) antropogênico para a atmosfera têm aumentado significativamente ao longo dos últimos 20 anos. Mais especificamente, as emissões anuais passaram de 6,3 Gt (Giga tonelada) de C em 1994 para 8,7 Gt de C em 2008 (Boden et al., 2011), obtendo um aumento de 39% ao longo deste período.

A cada ano são emitidos no mundo aproximadamente 2 Gt de C como CO₂ decorrente da mudança de uso da terra, incluindo o desmatamento, queima de florestas, degradação dos solos e a consequente perda de carbono orgânico do solo (COS) (SOMMER & BOSSIO, 2014). Ainda de acordo com Sommer & Bossio (2014) o CO₂ é o gás de efeito

estufa (GEE) mais importante, e vários estudos sugerem que seu enriquecimento na atmosfera vem provocando um aumento na temperatura global, promovendo mudanças climáticas. Formas e mecanismos por meio de pesquisas científicas e políticas ambientais são de grande importância para mitigar as mudanças climáticas pela redução de emissões de GEE e, também, pelo sequestro de C na atmosfera para a biomassa acima do solo.

Os dados sobre os estoques de carbono em solos na região Nordeste do Brasil são escassos (Menezes et al., 2012; Sampaio e Costa, 2011) e não permitem estimativas confiáveis dos estoques de C nos solos e vegetação da região e, também, de estimativas de emissões e remoções decorrentes das mudanças climáticas e de uso da terra.

Este trabalho está integrado ao projeto intitulado “Consolidação de rede de pesquisa sobre estoques e fluxos de carbono em solos e vegetação na Região Nordeste do Brasil (Biomassa Caatinga, Mata Atlântica e Cerrado) e modelagem dos impactos associados às mudanças climáticas e de cobertura e uso”, aprovado na chamada MCTI/CNPq/ANA N° 23/2015 – Pesquisa em Mudança do Clima. O projeto inclui colaboradores de várias instituições de pesquisa nesse tema na região Nordeste: UFPE, UFRPE, Embrapa Semiárido, IPA-PE, UFPB, IFPB, UFC, UFAL, UFS, Embrapa Tabuleiros Costeiros e UNEB. Todos os integrantes deste artigo estão inseridos neste projeto.

O presente trabalho tem em vista gerar um mapeamento temático na escala 1:100.000 da quantidade de C nas diferentes classes de solos no bioma Caatinga sob os principais tipos de uso da terra, tendo como estudo de caso uma área na região Agreste de Pernambuco, delimitada pela Folha de Venturosa. Espera-se que os resultados sirvam de parâmetros para as demais quantificações em todo o Estado de Pernambuco, assim como para o mapeamento na escala do Bioma Caatinga.

2 METODOLOGIA DO TRABALHO

A Figura 1 apresenta a localização dos pontos amostrais dos dados de estoques de C já coletados e distribuídos na área da Folha de Venturosa no Agreste de Pernambuco. Será usado o geoprocessamento para o mapeamento na área de estudo das classes já coletadas e das que ainda irão ser coletadas. Os demais dados de C das classes de solos que não foram coletadas dentro da Folha, mas que completam a área desta, de acordo com o ZAPE (2001), estão distribuídas fora do limite administrativo do Agreste e espalhadas em outras áreas do Estado como Sertão Oeste e Mata Atlântica. Estas classes de solos nas demais áreas serão representadas no decorrer do projeto para a quantificação do CO₂ da região Nordeste e que não foram aqui expressas, por este trabalho tratar especificamente da Folha de Venturosa e áreas dentro do perímetro do Agreste.

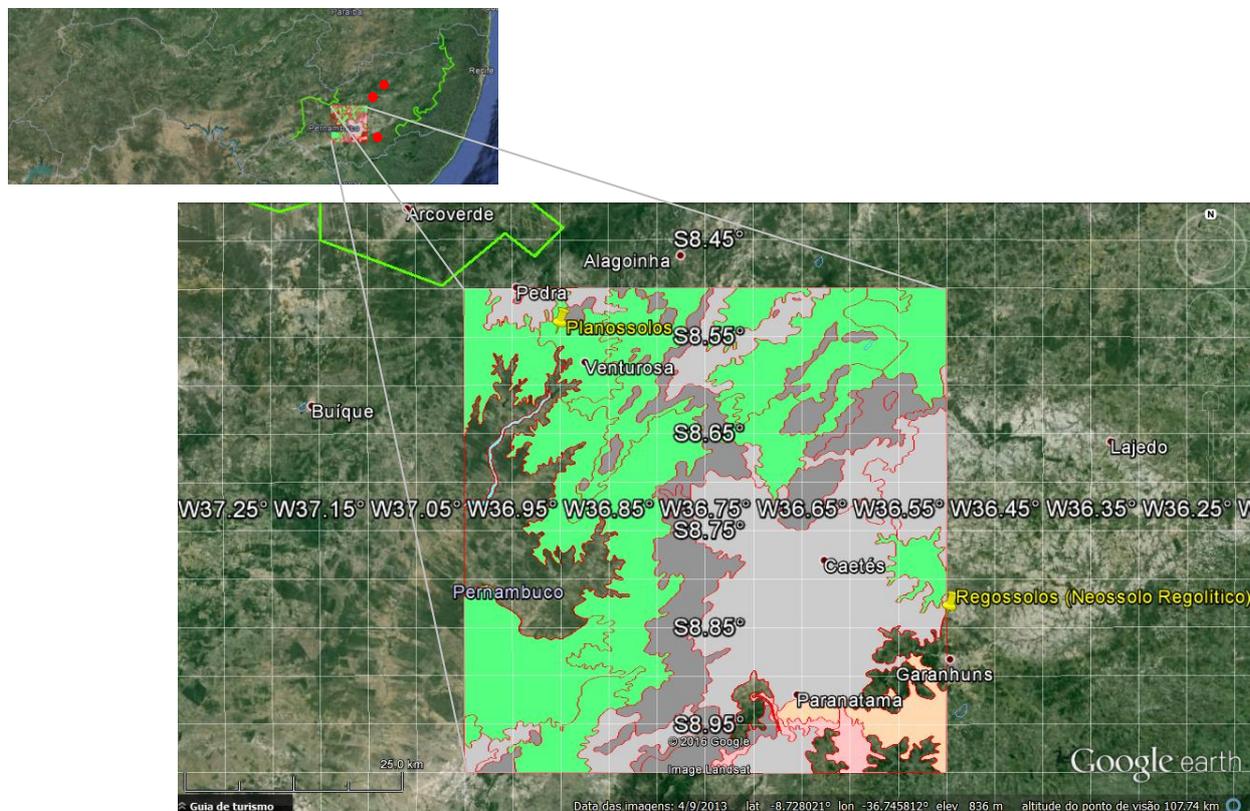


Figura 1 – Localização dos pontos amostrais distribuídos ao longo da Folha de Venturosa em Pernambuco na Mesorregião do Agreste de Pernambuco na Região Nordeste do Brasil.

Destaca-se na Figura 1 que as áreas em verde, cinza claro, cinza escuro, laranja claro e rosa claro representam as classes Planossolos, Regossolos (Neossolo Regolítico), Solos Litólicos (Neossolo Litólico), Podzólico Amarelo (Argissolos) e Podzólico Vermelho-Amarelo (Argissolos), respectivamente. Duas classes que encontram-se dentro da Folha estão destacadas em amarelo, as demais pontuadas de vermelho no mapa menor estão fora da Folha, mas dentro do perímetro do Agreste.

A imagem sobreposta a imagem do Google Earth, na Figura 1, foi obtida pela conversão de arquivo *shapefile* das classes de solos da Folha de Venturosa para arquivo *kml* no programa Quantum GIS 2.14.2 (QGIS) e, posteriormente, sobreposta a imagem do Google Earth, já que este programa importa formato *kml*. Após sobrepor a imagem vetorial da Folha de Venturosa, foi colorida a área de cada classe de solo que faz parte da Folha e que está dentro do perímetro da região do Agreste.

Na Tabela 1 são especificadas as classes de solos que estão dentro da área da Folha de Venturosa para a posterior modelagem e quantificação de C no decorrer do projeto. Nessa tabela, as palavras das classes de solos entre parênteses representam a nova nomenclatura das classes de solos. De acordo com Jacomine (2008-2009), a nova Classificação Brasileira de Solos divulgou a 1ª Edição em 1999 e a 2ª Edição em 2006.

Tabela 1 – Classes de solos e suas características, (JACOMINE, 2008-2009; EMBRAPA, 2016).

Classes	Características	
Latossolos	Solos constituídos por material mineral, com horizonte B latossólico. São solos em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, como resultado de enérgicas transformações do material constitutivo, não-hidromórficos e profundos (normalmente superiores a 2 m).	
Podzólico Amarelo (Argissolos)	Solos constituídos por material mineral, que têm como características diferenciais a presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa, ou alta conjugada com saturação por bases baixa ou caráter alético. Geralmente apresentam baixos teores de ferro, porém, com amplo predomínio do óxido de ferro <i>goethita</i> .	
Podzólico Vermelho-Amarelo (Argissolos)	Com as mesmas características básicas do Podzólico Amarelo (Argissolos), mas diferenciando na cor. Com cores vermelho-amareladas devido à presença da mistura dos óxidos de ferro <i>hematita</i> e, também, da <i>goethita</i> .	
Bruno Não Cálcico (Luvissolos)	Compreende solos minerais, não-hidromórficos, com horizonte B textural com argila de atividade alta e saturação de bases elevada, imediatamente abaixo do horizonte A ou horizonte E. São normalmente pouco profundos (60 a 120 cm).	
Planossolos	Solos minerais que apresentam desargilização (perda de argila) vigorosa da parte superficial e acumulação ou concentração intensa de argila no horizonte subsuperficial, conferindo um horizonte endurecido ou acimentado quando seco. Imperfeitamente ou mal drenados, com horizonte superficial ou subsuperficial eluvial, de textura mais leve, que contrasta abruptamente com o horizonte B.	
Gleissolos	Solos hidromórficos, constituídos por material mineral, que apresentam horizonte glei dentro de 150 cm da superfície do solo, imediatamente abaixo de horizontes A ou E (com ou sem gleização). O processo de gleização implica na manifestação de cores acinzentadas, azuladas ou esverdeadas, devido à redução e solubilização do ferro.	
Neossolos	Solos constituídos por material mineral, ou por material orgânico pouco espesso, não hidromórficos, pouco desenvolvidos e que não apresentam horizonte B diagnóstico.	
	Solos Aluviais (Neossolo Flúvico)	Solos derivados de sedimentos aluviais e que apresentam caráter flúvico. Apresentam espessura e granulometria bastante diversificadas, ao longo do perfil do solo, devido à diversidade e as formas de deposição do material originário.
	Regossolos (Neossolo Regolítico)	Apresentam alta erodibilidade principalmente em declives mais acentuados. Solos com contato lítico a uma profundidade maior que 50 cm e horizonte A sobrejacente a horizonte C. Podem ser húmicos, lépticos, distróficos e eutróficos.
	Solos Litólicos (Neossolo Litólico)	Compreendem solos rasos, onde geralmente a soma dos horizontes sobre a rocha não ultrapassa 50 cm, estando associados normalmente a relevos mais declivosos.

Segundo dados da CPRM (2008) a área de estudo, Figura 2, está situada na Mesorregião do Agreste, mais especificamente no Agreste Meridional que possui área de 10.828,0 km², representando 10,96% do território estadual e compreende as Microrregiões de Garanhuns, Vale do Ipanema e Vale do Ipojuca do Estado de Pernambuco. Localizada

entre as coordenadas geográficas de longitude 36°00' e 37°00' W e de latitude 08°30' e 09°00' S, compreendendo uma área de aproximadamente 3.040 km², calculada no QGIS. De acordo com a classificação de *Koppen*, 80% da área, localizada na parte central, norte, nordeste, oeste, sul e sudoeste da Folha, ocorrem o clima tipo *As'*, quente e úmido, e chuvas de outono e inverno. A temperatura média anual é de 23°C, com média máxima de 26°C em janeiro ou fevereiro e média mínima de 22°C, coincidindo com as maiores precipitações. Na área sudeste e leste da Folha que está inserida na Microrregião de Garanhuns, devido à influência de cotas entre 800m e 1.000m, e dentro do tipo de clima anterior, ocorre um microclima, tipo *Csa*, mesotérmico úmido, com chuvas de inverno e temperatura média anual mais amena, em torno de 20°C. As precipitações pluviométricas variam entre 500 e 1.100 mm por ano. Na Folha Venturosa ocorrem as bacias do Rio Ipanema, afluente do Rio São Francisco, e a bacia do Rio Una, que desagua diretamente no oceano Atlântico. Os demais rios e riachos da área são de caráter intermitente. Dentro dos aspectos socioeconômicos a maior e mais expressiva atividade econômica do Agreste Meridional, onde está inserida a Folha, é a pecuária de corte e leite.

Como observada na Figura 2, a quadrícula da Folha de Venturosa identificada como SC24-X-B-V, foi sobreposta ao mapa dos biomas do Estado de Pernambuco utilizando o software QGIS *Desktop* com uso de arquivos no formato *shapefile*.

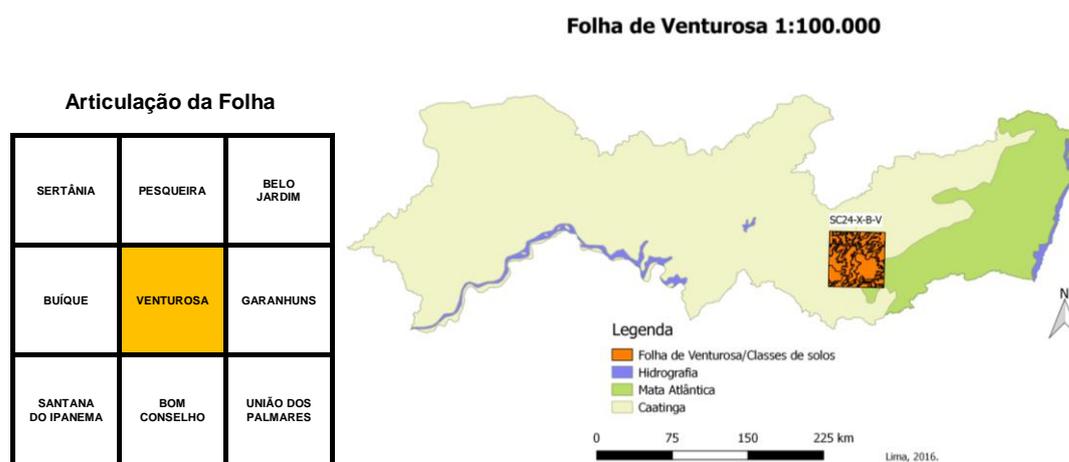


Figura 2 – Localização da Folha de Venturosa em Pernambuco banhada por dois biomas.

O processo de representação espacial dos estoques de C será realizado a partir da combinação das informações espaciais de solos, provenientes do mapeamento de solos na escala 1:100.000 do ZAPE (Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco), Figura 3, e do mapa de cobertura e uso do Estado, pela EMBRAPA, 2001.

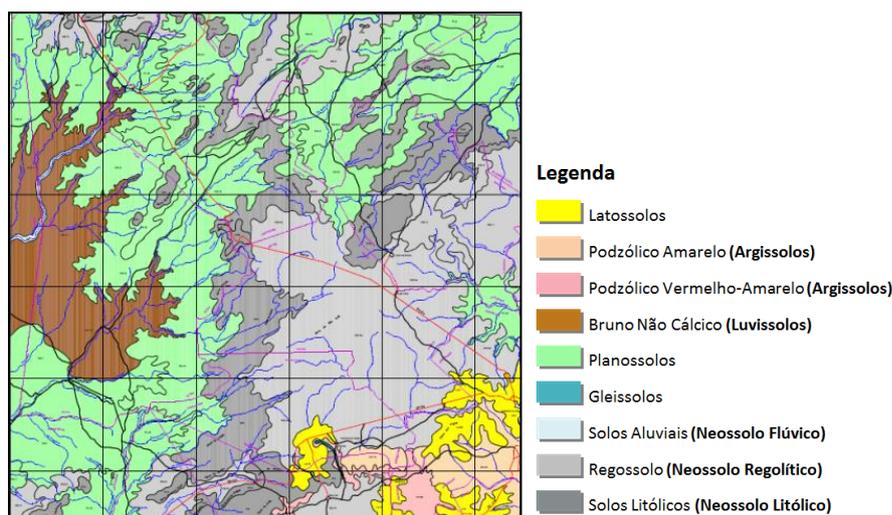


Figura 3 – Mapa das classes de solos da Folha de Venturosa, Escala 1:100.000, Projeção UTM.

Fonte: <http://www.uep.cnps.embrapa.br>, 2001.

No presente trabalho foram usados os mapas de uso e cobertura da terra para os anos de 1987 e 2013 da Folha de Venturosa, elaboradas através da classificação visual de imagens, seguindo alguns critérios para a seleção das imagens, entre elas: Época de aquisição, dando preferências às imagens mais antigas e mais recentes para obtenção do maior

intervalo de tempo possível para a análise, e a seleção das cenas órbita-ponto 215-066 com datas de passagem em 09 de maio de 1987 e 14 de abril de 2013 dos sensores Landsat 5 TM e Landsat 8 OLI, respectivamente.

Utilizou-se apenas, para este trabalho, quatro (04) das oito (08) classes de uso e cobertura da terra da Figura 4, que são: Agricultura, Caatinga Aberta, Caatinga Densa e Pastagem.

Na metodologia do trabalho empregou-se:

- Análise dos dados de Campo de 0 a 100 cm (Disponíveis no Departamento de Energia Nuclear (DEN) e sob a responsabilidade do 4º autor) e onde para a retirada das amostras de solo e de densidade, foi aberta uma trincheira em cada sítio com 0,7 x 0,7 x 1 m.
 - a) As amostras foram secas em estufa a 110°C por 72 horas para posterior determinação da massa. Inicialmente as amostras foram secas ao ar e tamisadas em peneira de 2 mm e, posteriormente, sub amostras foram maceradas e tamisadas em peneira de 100 mesh.
 - b) As sub-amostras foram submetidas às análises de C e realizadas por meio de auto analisador de C - LECO modelo CHN 600.
 - c) Os estoques de C em Mg C ha^{-1} (Megagrama de C por hectare), $01 \text{ Mg} = 01 \text{ tonelada}$, foram obtidos pelo uso da expressão: teor de C (g.kg^{-1}) x densidade do solo (kg.dm^{-3}) x espessura da camada do solo (cm)/10.
- Mapeamento das classes de solos da Folha de Venturosa, Escala 1:100.000 sobreposta ao Google Earth (*kml*)
- Avaliação das mudanças de uso e cobertura da terra dos anos de 1987 e 2013
- Comparação entre as classes de solos e o uso e cobertura das terras versus o estoque de C para os pontos amostrados no campo

Foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Programa Quantum GIS Essen 2.14.2 (QGIS);
- Notebook HP Processador Core™ i3-5005U, CPU 2.00 GHz, HD 500Gb e Memória RAM 4Gb;
- Material cartográfico;
- Imagens de satélite Landsat 5 TM, Landsat 8 OLI e Google Earth;
- Dados de campo (já coletados e disponíveis no Departamento de Energia Nuclear (DEN) e caso necessário, dados a serem coletados na área).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em comparação as mudanças de uso e cobertura da terra dos anos de 1987 e 2013, na Figura 4, houve uma redução da Caatinga Densa e Caatinga Aberta para Pastagem nos mapas de uso e cobertura da terra de 1987 e 2013 da Folha de Venturosa.

É verificado em termos de valores na mudança de uso e cobertura das terras na Folha de Venturosa em porcentagem (%) e hectares (ha) na Tabela 2. Onde 40,6% de Caatinga Aberta no ano de 1987 foram substituídas por Pastagem em 2013, ratificando o que é mostrado em destaque, como exemplo de alteração de área, nas imagens da Figura 4 dos anos de 1987 (a) e 2013 (b).

Tabela 2 – Comparação de valores na mudança de uso e cobertura das terras, com distribuição relativa (%) e absoluta (ha). Imagens dos anos de 1987 e 2013 da Folha de Venturosa. Nomenclatura: Ag (Agricultura), Pa (Pastagem), C.D (Caatinga Densa), C.A (Caatinga Aberta), S.E (Solo Exposto) e Água.

Cobertura 1987	Unidade	Cobertura 2013						Total 1987
		Ag	Pa	C.D	C.A	S. E	Água	
Ag	ha	24.190	12.440	515	1.565	922	15	39.649
	%	61,0	31,4	1,3	3,9	2,3	0,04	12,0
Pa	ha	9.657	55.276	14.703	23.887	8.941	115	112.580
	%	8,6	49,1	13,1	21,2	7,9	0,1	34,1
C.D	ha	700	21.520	38.964	27.644	4.965	77	93.871
	%	0,7	22,9	41,5	29,4	5,3	0,1	28,4
C.A	ha	2.681	26.114	10.697	20.211	4.527	48	64.278
	%	4,2	40,6	16,6	31,4	7,0	0,1	19,5
S.E	ha	2.525	8.025	1.600	3.281	3.367	22	18.819
	%	13,4	42,6	8,5	17,4	17,9	0,1	5,7
Água	ha	15	219	208	122	115	125	804
	%	1,8	27,3	25,8	15,1	14,3	15,6	0,2
Total	ha	39.770	123.595	66.686	76.710	22.839	402	
2013	%	12,0	37,4	20,2	23,2	6,9	0,1	

Fonte: Alves et al. (2014).

A Figura 4 mostra um exemplo de alteração de uso e cobertura da área da Folha de Venturosa para os anos de 1987 e 2013. Observa-se que grande parte da Caatinga Aberta foi substituída por Pastagem.

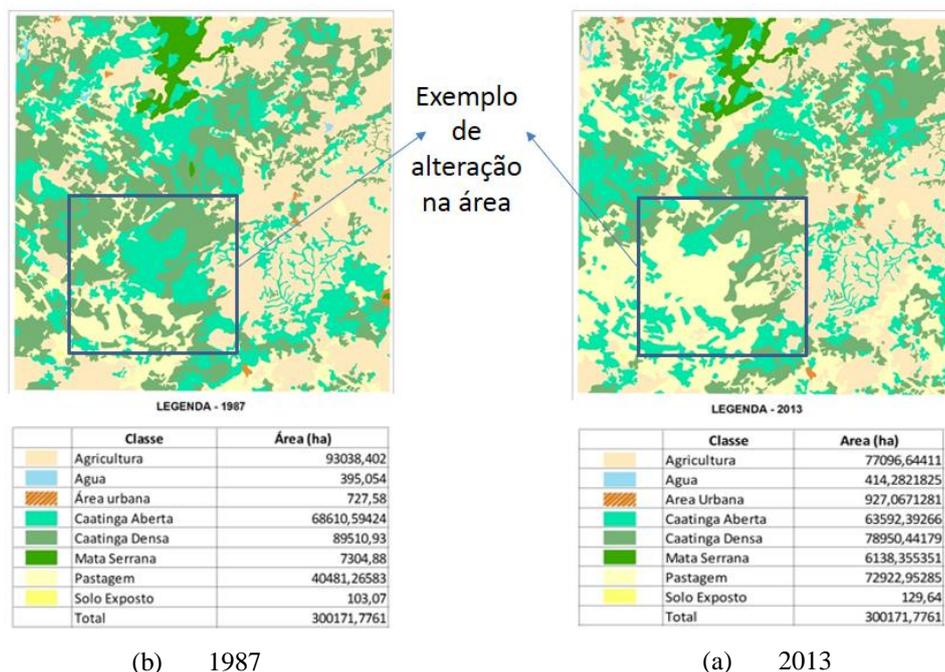


Figura 4 – Mapas de uso e cobertura da terra de 1987 e 2013 da Folha de Venturosa. Fonte: Alves, 2014.

No Gráfico 1 é apresentado um comparativo entre as classes de solos e o uso e cobertura das terras versus o estoque de C. Isto será utilizado em toda a Folha de Venturosa para obterem-se os resultados desse comparativo.

No Gráfico 1 (a) é observado nos valores de C em que na medida que vai aumentando a profundidade, a partir do maior valor de C na camada inicial de 00-10 cm, existe uma redução gradual nas camadas subsequentes 10-20, 20-30 e 30-40 cm, com um aumento na camada 40-60 cm, lembrando que nesta última camada, assim como 60-80 e 80-100 cm nos demais casos, a diferença é de 20 cm (o dobro) e não de 10 cm, possibilitando um maior valor. Caso fosse 10 cm, continuaria o decréscimo de C. Esta diminuição gradual se dá pelo acúmulo de serapilheira na superfície do solo e na medida em que aumenta a profundidade no perfil do solo esses valores tendem a baixar (MACHADO, 2005; MORAIS et al., 2013). O valor de C em 40-60 cm da superfície pode ocorrer pela deposição de matéria orgânica de raízes a esta profundidade e/ou pela lixiviação de elementos como o C dentro do perfil do solo. A soma dos valores de Mg C ha⁻¹ nas três primeiras camadas 00-10, 10-20, 20-30 cm é de 43,468. Comparando-se com dados de Costa et al. (2009) sendo de 55,14 Mg C ha⁻¹ para a classe, também, de Argissolo Amarelo distrófico no município de Itabela, estado da Bahia na Região Nordeste, com correção da densidade e textura do solo na profundidade de 00-30 cm numa área de Mata Atlântica, existe uma diferença de 11,67 Mg C ha⁻¹. O contraste entre os dois biomas, um de clima tropical úmido (Mata Atlântica) e outro tropical semiárido (Caatinga) poderia distinguir ainda mais no estoque de C em relação às duas áreas. Levanto em consideração as variáveis de precipitação, densidade do solo, temperatura e cobertura florestal a diferença de pouco mais de 11 Mg C ha⁻¹ não chega a ser abrupta, já que estamos comparando com uma área de uso e cobertura da terra de Caatinga Aberta. No entanto, pode a área de Caatinga Aberta em Saloá estar sendo beneficiada topograficamente em relação à altitude, interferindo diretamente no estoque de C total. Segundo Dieleman et al. (2013) o valor de COS (Carbono Orgânico do Solo) tende a aumentar de acordo com a elevação da altitude de uma região em relação a florestas tropicais e pastos, com aumento de 51 Mg C ha⁻¹ a cada 1.000 m de altitude de valores em amostras com profundidades de um (01) metro no solo. Onde a área de amostra no município de Saloá-PE, segundo a altitude gerada no Google Earth pelas coordenadas em graus decimais -8.992499964, -36.37490688, é de 746 m ao nível do mar. Já o local de estudo no município de Itabela-BA, de acordo com as coordenadas do trabalho de Costa et al (2009), dadas em graus, minutos e segundos 16° 39' 00"S, 39° 30' 00"W, possui altitude de 121 m, elevação segundo o Google Earth.

No Gráfico 1 (b) o valor significativo na camada 00-10 cm de 35,7263 Mg C ha⁻¹ pode estar relacionado a quantidade de raízes da pastagem a essa profundidade. De acordo com Teixeira & Bastos (1989) 46% das raízes da pastagem se encontram na camada superficial até 10 cm com um decréscimo à medida que vai aprofundando no perfil com uma distribuição regular. Para a queda acentuada na camada 30-40 cm relaciona-se à textura mais arenosa nessa camada, facilitando a lixiviação e deposição do C para as camadas mais profundas, mesmo sendo um solo da classe Argissolo, onde geralmente após a camada A existe um aumento da fração argila na camada B textural. De acordo com

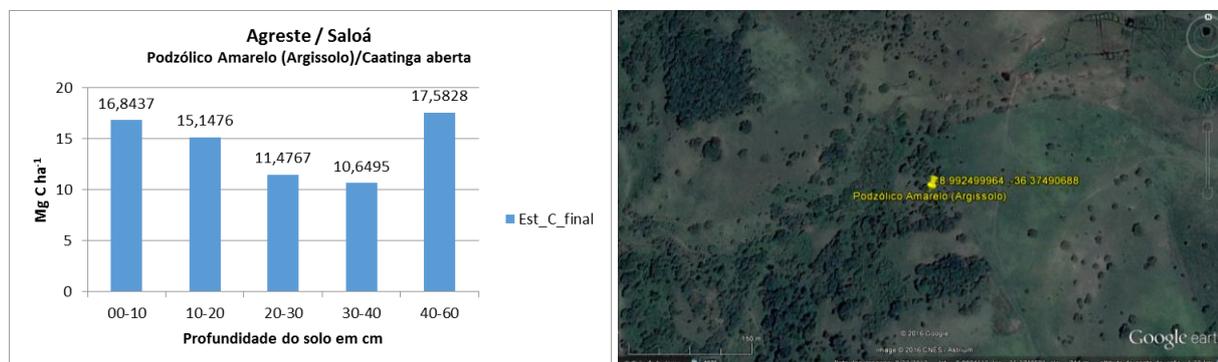
EMBRAPA (2006, p. 49) em um Argissolo, também, será considerada como B textural a ocorrência de lamelas, de textura franco-arenosa ou mais fina, que, em conjunto, perfaçam 15 cm ou mais de espessura, admitindo-se que entre as mesmas possa ocorrer material de textura arenosa. Para Trumbore & Camargo (2009) o conteúdo de argila da textura do solo é um dos fatores determinantes na quantidade de C de ciclo lento, influenciando diretamente no estoque de C.

No Gráfico 1 (c) existem valores significativamente menores de C em relação ao (b) sobre a mesma classe de uso e cobertura, levando em consideração o mesmo bioma e clima parecidos, fica evidente a influência da classe de solos na capacidade de estocar C. Neste caso, não seja só a classe o fator decisivo, mas as práticas agrícolas convencionais ao longo de anos expõe o solo e, como consequência, promove a perda de C, pela respiração acelerada dos microrganismos, por oxidação do C em CO₂ e erosão. Segundo Schlesinger & Bernhardt (2013), a perda de C por CO₂ é mais intensa quanto menor for a latitude, ou seja, mais próximo for do equador devido a temperaturas mais altas.

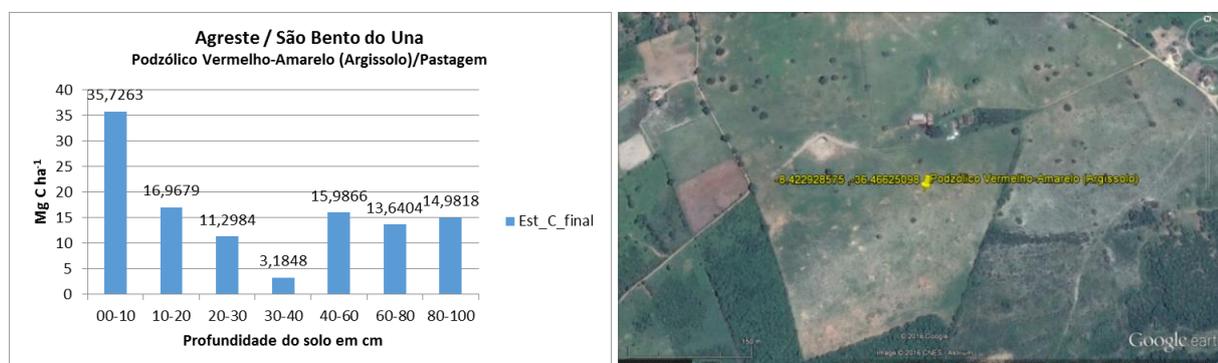
O Gráfico 1 (d) assim como já falado anteriormente, existe um decaimento da quantidade de C na medida que vai aprofundando o perfil do solo, é observado dos cinco (05) gráficos que este contém os maiores valores de estoque de C em todas as camadas, ainda que a classe representada seja de um Neossolo, subordem Neossolo Regolítico, que são normalmente pobres em fertilidade, baixa capacidade de troca catiônica (CTC) e baixa retenção de C pela própria estrutura física, já que é um solo de textura arenosa. É notória a influência da vegetação nativa, Caatinga Densa, no solo, permitindo a este uma maior capacidade de armazenamento do C. De acordo com Giongo et al. (2011) as árvores evitam, através da proteção natural do dossel, a erosão, a oxidação do C no solo, a exposição da camada superficial e dos microrganismos aos raios solares e, através da queda de suas folhas, galhos e os demais órgãos vegetais fazem a deposição de matéria orgânica no solo por meio da serapilheira.

No Gráfico 1 (e) em comparação com o (d) de mesma classe de solo de 1º nível categórico (ordem), Neossolos, percebe-se uma diferença nos valores de C nas camadas de 00-60 cm de 92,4052 Mg C ha⁻¹, quantidade esta muito significativa. Através das imagens é nítida a densidade de vegetação entre os dois locais de amostras, a (d) com Caatinga Densa e a (e) aparentemente com uma área degradada. Quando os solos são colocados sob cultivo, o teor de matéria orgânica no solo diminui. A maioria dos cultivos reduzem as entradas de detritos vegetais frescos, onde estes aumentariam a taxa de decomposição de matéria orgânica do solo, obtendo como resultado, melhores condições de aeração e de umidade do solo. As perdas de muitos solos variam de 20 a 30% durante as primeiras décadas de cultivo (SCHLESINGER & BERNHARDT, 2013).

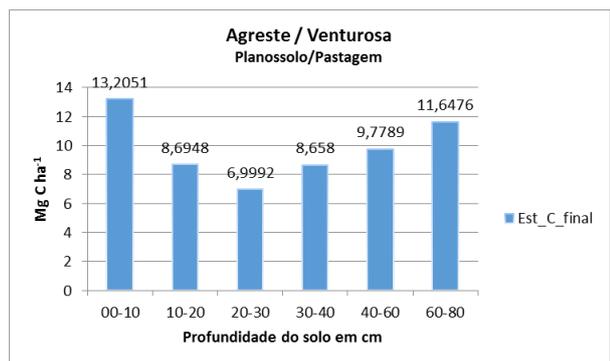
Gráfico 1 - Exemplo do Solo versus Estoque de Carbono.



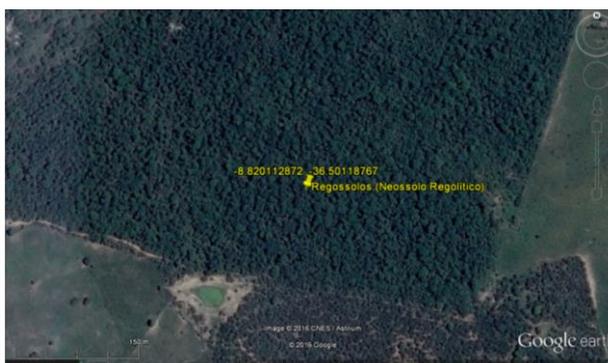
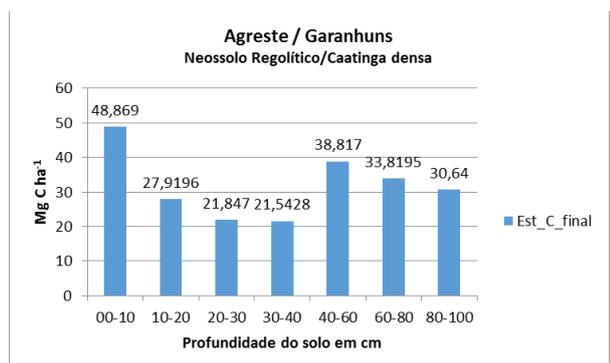
(a) – Município de Saloá, coordenadas em graus decimais -8.99249964 , -36.37490688.



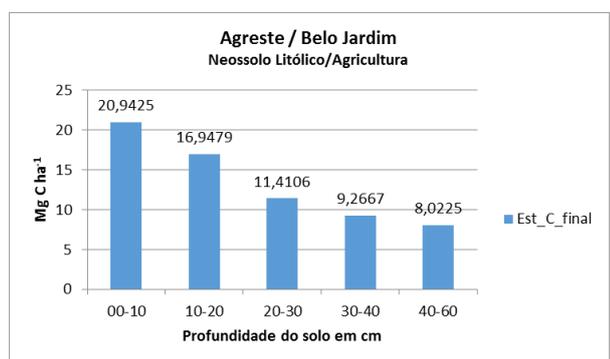
(b) – Município de São Bento do Una, coordenadas em graus decimais -8.422928575 , -36.46625098.



(c) – Município de Venturosa, coordenadas em graus decimais -8.545901047 , -36.90428462.



(d) – Município de Garanhuns, coordenadas em graus decimais -8.820112872 , -36.50118767.



(e) – Município de Belo Jardim, coordenadas em graus decimais -8.334240194 , -36.3744784.

Espera-se, com este trabalho, gerar mapas e planilhas com informações de quantificação do Carbono, no passado e presente auxiliando as demais pesquisas na área com foco em clima tropical árido e semiárido, e contribuindo com banco de dados na elaboração de projetos voltados na minimização de emissão de gases de efeito estufa.

Através do uso da geotecnologia pode-se obter resultados mais completos e detalhados na pesquisa de mudanças climáticas relacionada ao sequestro e estoque de carbono. Com utilização de imagens de satélites e o geoprocessamento torna-se melhor entendidas as informações e os valores gerados em análises. Por meio dos efeitos visuais gerados pela radiação das ondas eletromagnéticas captadas pelos sensores orbitais e seu processamento nos computadores, pode-se apoiar os dados obtidos em números e, os produzidos visualmente, auxiliando no entendimento e comparação dos valores relacionados obtidos em laboratórios e dos que ocorrem em campo.

4 CONCLUSÃO

Diante das mudanças climáticas, a aquisição de dados sobre o uso e cobertura da terra nos biomas, especificamente, aqueles mais frágeis e com uma crescente invasão antrópica como a Caatinga, se faz necessária para nos mostrar a sua contribuição no resgate de carbono. A integração das ciências biogeoquímicas e geotecnológicas para o entendimento das interações entre biosfera-atmosfera tem se mostrado uma aliança forte para o conhecimento ambiental e, monitorar as ações antrópicas.

O trabalho visou apresentar um mapeamento temático da quantidade de C nas diferentes classes de solos no bioma Caatinga sob os principais tipos de uso da terra, tendo como estudo de caso uma área na região Agreste de Pernambuco.

Observou-se que as geotecnologias podem auxiliar na análise e modelagem da quantificação do C na Caatinga. Utilizou-se aqui a Folha de Venturosa SC24-X-B-V que se localiza no Agreste Pernambucano. Obteve-se os gráficos de solo e suas profundidades versus estoque de carbono. O comportamento do estoque de carbono varia com o tipo de solo e sua profundidade. Nota-se em alguns solos o decaimento seguido de um leve crescimento do valor de carbono. Isso foi visto para o ponto estudado com o tipo de solo Podzólico Vermelho-Amarelo (Argissolo) sob Pastagem nas camadas 40-60, 60-80 e 80-100 cm, com uma pequena variação, no município de São Bento do Una. Porém para os demais tipos de solos os gráficos apresentaram apenas a tendência decrescente com a profundidade do solo. Lembrando que nas profundidades a partir de 40 cm as camadas são de 20 cm, devendo-se, então, dividir por dois para que a comparação dos valores de C entre as primeiras camadas sejam proporcionais, como já explicado anteriormente.

Como próximos passos tem-se o mapeamento temático dos dados obtidos no Gráfico 1 apresentado os *layers* de resgate de carbono com a profundidade do solo. Além disso: O processo de representação espacial dos estoques de C será realizado a partir da combinação das informações espaciais de solos, provenientes do mapeamento de solos na escala 1:100.000 do ZAPE (Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco) e utilizando a nova nomenclatura vigente.

5 AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação (PPGCGTG) no Departamento de Engenharia Cartográfica (DECART), ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares (PROTEN) no Departamento de Energia Nuclear (DEN), pela infraestrutura concedida ao apoio da pesquisa, a José Augusto Alencar de Sá aluno de graduação do 7º período de Engenharia Cartográfica da UFPE pela contribuição no artigo, ao CNPq pelo projeto de mudanças climáticas e a CAPES pela concessão da bolsa.

REFERÊNCIAS

- ALVES, E. da S.; et al. Mudanças no Uso e na Cobertura do Solo em uma Área Piloto da Mesorregião Agreste de Pernambuco. Anais do Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto - GEONORDESTE 2014, p. 487-493. Aracaju, Brasil, 18-21 novembro, 2014.
- BODEN, T., ANDRES, B., MARLAND, G., 2011. Global CO₂ Emissions from Fossil-Fuel Burning, Cement Manufacture, and Gas Flaring: 1751-2008. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Tennessee 37831-6290, http://cdiac.ornl.gov/ftp/ndp030/global.1751_2008.ems.
- COSTA, O. V.; et al. Estoque de Carbono do Solo Sob Pastagem em Área de Tabuleiro Costeiro no Sul da Bahia. R. Bras. Ci. Solo, 33:1137-1145, 2009.
- CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil. Geologia da Folha de Venturosa SC.24-X-B-V. Pernambuco: UFPE /CPRM, 71 p., 2007. Publicado em Abril de 2008.
- DIELEMAN, W. I. J.; VENTER, M.; RAMACHANDRA, A.; KROCKENBERGER, A. K.; BIRD, M. I. Soil carbon stocks vary predictably with altitude in tropical forests: Implications for soil carbon storage. Geoderma, v. 204-205, p. 59-67, April 2013.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Árvore do Conhecimento: Solos Tropicais. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_6_2212200611537.html#>. Acesso em: 05 de Maio de 2016.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 1. Solos - Classificação - Brasil. I Título. I Série. 2 ed. – Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 306p. 2006.
- GIONGO, V.; CUNHA, T. J. F.; MENDES, A. S. M.; GAVA, A. T. Carbono no Sistema Solo-Planta no Semiárido Brasileiro. Revista Brasileira de Geografia Física 06, p. 1233-1253, 2011.
- JACOMINE, P. K. T. A Nova Classificação Brasileira de Solos. Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica, Recife, vols. 5 e 6, p.161-179, 2008-2009.
- MACHADO, P. L. O. de A.; Carbono do Solo e a Mitigação da Mudança Climática Global. Embrapa Solos, Rio de Janeiro – RJ. Quim. Nova, Vol. 28, No. 2, 329-334, 2005.
- MORAIS, V. A.; SILVA, C. A.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M de; ARAÚJO, E. J. G. de; ASSIS, E. A. de; Modelagem do teor de carbono orgânico em solos de fragmentos de cerrado de Januária e Bonito de Minas, Minas Gerais. Pesq. flor. bras., Colombo, v. 33, n. 76, p. 343-354, out./dez. 2013. DOI: 10.4336/2013.pfb.33.76.507.
- MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B.; GIONGO, V.; PÉREZ-MARIN, A. M. Biogeochemical cycling in terrestrial ecosystems of the Caatinga Biome. Brazilian Journal of Biology (Impresso), v. 72, p. 643-653, 2012.

- MENEZES, R. S. C. Consolidação de rede de pesquisa sobre estoques e fluxos de carbono em solos e vegetação na Região Nordeste do Brasil (Biomass Caatinga, Mata Atlântica e Cerrado) e modelagem dos impactos associados às mudanças climáticas e de cobertura e uso. Proposta de projeto. MCTI/CNPq/ANA N ° 23/2015 – Pesquisa em Mudança do Clima, na Linha Temática 3: Análise dos estoques e fluxos de carbono no solo e na vegetação do Brasil. 2015.
- SAATCHI, S. S. et al. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. Edited by Susan E. Trumbore, University of California, Irvine, CA, and approved May 5, 2011. p. 9899-9904.
- SAMPAIO, E. V. S. B.; COSTA, T. L. Estoques e fluxos de carbono no semi-árido nordestino: estimativas preliminares. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 6, p. 1275-1291, 2011.
- SCHLESINGER, W. H.; BERNHARDT, E. S. *Biogeochemistry: An analysis of global change*. 3rd Edition. Elsevier. 225 Wyman Street, Waltham, MA 0245, USA, 688p., p. 166, 2013.
- SOMMER, R.; BOSSIO, D. Dynamics and climate change mitigation potential of soil organic carbon sequestration. International Center for Tropical Agriculture (CIAT), ICIPE Duduville Campus, Kasarani, P.O. Box 823-00621, Nairobi, Kenya. *Journal of Environmental Management* 144 (2014) p. 83-87.
- TEIXEIRA, L.B. & BASTOS, J.B. *Matéria orgânica nos ecossistemas de floresta primária e pastagem na Amazônia central*. Belém, Embrapa-CPATU, 1989. 26p. (Boletim de Pesquisa, 99).
- TRUMBORE, S.; CAMARGO, P. B. de. *Dinâmica do Carbono do Solo*. Amazonia and Global Change Geophysical Monograph Series 186, by the American Geophysical Union, 2009. DOI: 10.1029/2008GM000741.
- ZAPE – Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco. Folha de Venturosa. EMBRAPA, 2001. Disponível em: <<http://www.uep.cnps.embrapa.br/zape/cartas/Venturosa.pdf>>. Acesso em: 20 de Maio de 2016.