

GEOPROCESSAMENTO APLICADO A ANÁLISE DE VARIABILIDADE DOS ESTOQUES DE CARBONO ORGÂNICO NO SOLO SOB SISTEMA AGROFLORESTAL NO SUL DO AMAZONAS

Welison Apurinã¹, Joiada Linhares², Deborah da Silva³, Moises das Neves⁴

¹ Bolsista do Instituto Federal do Amazonas - IFAM Campus Lábrea, Rua 22 de outubro, 3893 – Vila Falcão Lábrea. CEP 69830-000, e-mail welisonapurina@gmail.com; ² Professor do Instituto Federal do Amazonas - IFAM Campus Lábrea, e-mail joiada.silva@ifam.edu.br; ³ Pesquisadora do Instituto Federal do Amazonas – IFAM Campus Lábrea, e-mail deborah.linhares@gamil.com e ⁴ Bolsista do Instituto Federal do Amazonas – IFAM Campus Lábrea.

RESUMO

O sistema agroflorestal (SAF) é o uso da terra que integra no mesmo espaço geográfico cultivo de espécies agrícolas e silviculturais. Este é apontado como estratégico na mitigação das emissões de dióxido de carbono (CO₂). O estudo teve o objetivo analisar a variabilidade espacial dos estoques de carbono orgânico do solo em SAF's do assentamento rural Umari / AM. Foram utilizados quatro métodos: I) preparação de mapa base e imagens LANDSAT; II) descrição do uso da terra e amostragem de solo; III) procedimentos laboratoriais; IV) análises estatística espacial. Houve autocorreção perfeita positiva direta para os estoques de carbono (EC) do solo na camada 0-20cm na floresta nativa – FN ($li=-1.366 / p.v > 0,05$) e nos SAF19 ($li=0.726 / p.v > 0,05$) e $SQF \geq 10^{35a}$ ($li=1.578 / p.v > 0,01$). Os SAF's com maior tempo de implantação promoveram o aumento do EC no solo, fato que refletiu em um alto índice de dependência espacial, quando comparado ao EC registrado na agricultura itinerante (Ai).

Palavras-chave — Solo, agrofloresta, carbono.

ABSTRACT

An agroforestry system (ASF) describes the conjoint use of land for agricultural and forestry purposes. This is plays a strategic role in the mitigation of carbon dioxide. The study evaluate the spatial variability the carbon stocks (SC) organic soil in AFS rural settlement Umari. Four methods were used. Base map preparation and Landsat images, description of land use and soil sampling, laboratory procedures, and spatial statistics analysis. There was perfect direct positive self-correction for carbon stocks (CS) of the soil in the layer 0-20cm in native forest – NF ($li=-1.366 / p.v > 0,05$) it is ASF19 ($li=0.726 / p.v > 0,05$) and Home garden $HG \geq 10^{35a}$ ($li=1.578 / p.v > 0,01$). The ASF with the longest implantation promoted the increase of EC in the soil fact that reflected in a high index of spatial dependence, when compared to EC recorded in migratory agriculture (Ma).

Key words — Soil, agraforestry, carbon.

1. INTRODUÇÃO

O sistema agroflorestal (SAF) é uma categoria de uso e cobertura da terra que combinação no mesmo espaço geográfico, o plantio de espécies arbóreas ou arbustivas perenes lenhosas nativas, com cultivos agrícolas e / ou

pastagens destinadas a criação de animais (ALTIERI, 2012). Este sistema de produção agrícola, dependendo da complexidade da estrutura florística pode desempenhar um papel importante na redução do desflorestamento em pequena propriedade, pois o SAF quebra a predominância do ciclo da agricultura itinerante (corte e queima) e da pecuária extensiva praticada pelos pequenos produtores rurais na Amazônia (SANTOS et al., 2004).

Durante a reunião das Nações Unidas sobre mudanças climáticas (COP-15), ocorrida na cidade de Copenhague (Dinamarca), o sistema agroflorestal foi escolhido como uma das tecnologias de produção agrícola com capacidade de mitigar o aumento de CO₂ na atmosfera. A partir da COP 15, o governo Federal brasileiro passou a incentivar a criação de SAF's como uma das estratégias de políticas públicas para reduzir as emissões CO₂ na atmosfera, oriundas das mudanças de uso da terra na Amazona Legal (TORRES et al., 2014).

Neste contexto, estudos com sistemas agroflorestais têm sido desenvolvidos em diversas partes da região Amazônica, na busca de aferir a sustentabilidade agrícola do SAF's, diante da ineficiência da agricultura itinerante e da pecuária extensiva em garantir uma boa produtividade de alimentos e, uma qualidade física, química e biológica satisfatória do solo (SANTIAGO et al., 2013).

De acordo com Novaes Filho et al. (2007); Mendonça-Santos et al. (2008), as principais classes de solo da Amazônia brasileira são os Argissolos e Latossolos, que representam 30,95 e 37,53% da área total, com média de estoque de carbono do solo (profundidade 0-0,30m) de 44,00 e 50,50 t.ha⁻¹, respectivamente.

No sudoeste da Amazônia Legal, Brito et al. (2012) ao avaliarem a dinâmica de carbono em diferentes uso e cobertura da terra registraram em ambiente de terra firme um estoque 41,19 t.ha⁻¹, entre 0 e 40cm de profundidade em sistema agroflorestal e, 42,34 t.ha⁻¹ na área de pastagem, ambos com 4 anos de implantação.

No sul do Amazonas, Alho et al. (2014) estimaram os estoques de carbono em Cambissolo e Argissolo sob floresta e campos naturais utilizando modelagem geoestatística, e observaram variações de 19,40 t.ha⁻¹ a 19.34 t.ha⁻¹, na profundidade de 0-0,20m. Bernoux et al. (2002), usando dados do Projeto Radambrasil registraram 45.00 t.ha⁻¹ de carbono na camada de 0-0,30m. Nestes estudos observa-se

um alto grau de aleatoriedade e incerteza sobre as estimativas dos estoques de carbono no solo da região Amazônica. Por isso, o objetivo do presente estudo foi analisar em pequena propriedade rural a variabilidade espacial dos estoques de carbono orgânico no solo sob sistemas agroflorestal com dez ou mais de implantação no Assentamento Rural Umari, sul do Amazonas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Assentamento Rural AR - Umari. Este localiza-se no espaço rural do município de Lábrea, sul da Amazônia Legal. Encontra-se delimitado pelas coordenadas geográficas, longitude 64° 40' 14.4" e 64° 34'.26.0" W e latitude 07° 21' 16.5" e 07° 18' 06.4" S.

Para o reconhecimento prévio do solo e das classes de uso da terra foi elaborado o mapa base com dados do levantamento de solo realizado por Linhares et al. (2014). No detalhamento foi utilizada a carta topográfica digital SB.20-Y-C -I V do DSG/IBGE com os vetores de rede de drenagem, rodovias, delimitação dos imóveis rurais e cotas altimétricas, na escala de 1: 100 000 (IBGE, 2003). E uma imagem do satélite LANDSAT 8/TM, 233/65, resolução espacial de 30 X 30 metros. Estas informações foram geoprocessadas no SIG / SPRING 5.2.

Com base no mapa exploratório de uso da terra, em cada sistema agrícola foi instalada uma parcela fixa de 50 X 50m (18 no total), distribuídas no espaço de análise de forma aleatória, da seguinte forma: a) dez (10) parcelas foram montadas no interior de sistemas agroflorestais (SAF); b) três (03) parcelas em áreas de agricultura (Ai); c) duas (02) parcelas em áreas de pastagem (PE) e como testemunho d) três (03) parcelas em floresta nativa (FN). Após demarcadas com estacas de tubo PVC e, identificadas com uma numeração sequencial, estas foram georreferenciadas por sistema de posicionamento global – GPS.

Em cada parcela foram construídos três monólitos de solo medindo 0,25 X 0,25m de largura e 0,20m de profundidade, distribuídos de acordo com as recomendações de Moreira et al. (2010). No total foram construídos 108 monólitos de solo, 54 no período chuvoso e 54 no período de estiagem sul amazônico. Na cada camada 0-10cm e 10-20cm do monólito foi coletada uma fração de 500g de solo (216 no total), para determinar os teores e estoques de carbono orgânico total (COT) no solo. Uma alíquota de 100g de cada amostra foi pesada, destorroada, peneirada e homogeneizada, com propósito de obter a amostra composta. Todas as amostras simples e compostas foram identificadas e armazenadas em sacos plásticos e preservada em ambiente refrigerado para posterior análise Laboratorial.

O carbono orgânico total do solo foi determinado pelo método de oxidação da MO, contida em 0,5g de TFSA. As amostras foram acidificadas por solução de dicromato de potássio 0,4N. Para assegurar total oxidação do carbono, estas foram aquecidas em chapa elétrica até atingir a fervura branda por 5 minutos. Os teores C foram obtidos com base

no volume da solução de sal Mohr de sulfato ferroso amoniacal (0.1N) gasto na titulação da amostra, calculados por meio da equação $C. g/kg = (40 - \text{volume gasto}) \times f \times 0,6$ ($f = 40 / \text{volume sulfato ferroso gasto na prova em branco}$) (EMBRAPA, 1997).

O delineamento estatístico para as análises de variabilidade dos estoques de carbono orgânico do solo foi inteiramente casualizado. Os dados foram analisados em duas etapas. A primeira constituiu da organização de um banco de dados para as variáveis quantitativas discretas e contínuas. Por meio do *programa* Past version 2.17c foram aplicados testes de estatística descritiva (média, mediana, variância, desvio padrão, coeficiente de variação, etc). Na segunda etapa foram aplicadas funções geoestatísticas de variabilidade espacial, com base na teoria de indicadores espaciais de associação local (*Lisa* ou *li*), preconizada por Anselin (1995). Esta é uma decomposição do índice de autocorrelação espacial Global de Moran. Por meio deste método foram estabelecidos os índices de dependência espacial (ICE) para os estoques de carbono orgânicos do solo, e os *Clusters* (agrupamentos espaciais) que possibilitaram a produção de mapas de distribuição espacial da variável analisada. A rotina de elaboração dos mapas foram desenvolvidas através dos SIG's Terraview e Spring 5.2 e, segue os procedimentos estabelecidos por Linhares et al. (2014).

Com base em Anselin (1995); Medeiros et al. (2015) foi elaborado os intervalos de valores e classes temáticas dos *Indicies* de autocorrelação espacial local (ICE). Estes foram utilizados na interpretação dos resultados dos estoques de carbono orgânico do solo. Seis (06) classes de autocorrelação ou dependência espacial, no mapeamento de fenômenos geográficos foram definidas. O detalhamento dos índices ou níveis de dependência espacial e das classes temáticas de representação cartográfica do fenômeno são descritas na tabela 1.

Tabela 1. Critérios de interpretação espacial dos teores de carbono orgânico do solo.

Índice de autocorrelação espacial (ICE) .	Intervalos de valores do ICE	Classes temáticas
Nulo	<i>Li</i> ou ICE = 0	Nulo
Ínfima	$0 > ICE \leq 0.089$	Muito baixo
Fraca	$0.089 > ICE \leq 0.174$	Baixo
Moderada	$0.174 > ICE \leq 0.545$	Médio
Forte	$0.545 > ICE \leq 0.745$	Alto
Perfeita	$0.745 >$	Muito alto

Obs.: *Li* ou ICE significativo $p-v \leq 0.05$. Fonte: Modificada de Medeiros et al. (2015).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise de correlação espacial local – *Lisa* foi possível identificar correlação espacial (ICE) perfeita positiva direta, com nível de significância estatística inferior a 5% para os valores de EC do solo nas parcelas sob quintal agroflorestal com mais de 10 anos de implantação – $SQF \geq 10^{56a}$ e $SQF \geq 10^{35}$, na camada de 0 – 10cm de profundidade no período seco e chuvoso. Resultados semelhantes foram observados para os EC do solo acumulados de 0 – 20cm de profundidade nas parcelas sob floresta nativa (FN) e sistemas agroflorestais (SAF19, $SQF \geq 10^{56}$ e $SQF \geq 10^{35}$) com mais de dez anos de implantação na área avaliada (Figura 1 / D e E). Todos com níveis iguais ou inferiores a 5% de confiança. Foi constatado tendência no aumento no índice dependência espacial (ICE) para os valores de EC do solo na camada 10 - 20cm de profundidade, principalmente nas parcelas sob SAF's.

Os solos amostrados sob sistemas agrícolas itinerante com pousio de 13 anos (Aip13), agricultura itinerante (Ai) e agricultura temporária mecanizada (Atm) apresentaram ICE variando de moderado a fraco, com nível de significância maior que 5% ($p-v > 0,05$), resultados que indicam uma tendência de independência espacial para os estoques de carbono nas camadas de 0 – 10cm e 0 – 20cm de profundidade nos dois períodos avaliados. Entretanto, os ICE para os EC do solo nas parcelas sob os, $SQF15$, $SAF \geq 10^{60}$, $SAF \geq 10^{39}$ e $SQF \geq 10^{35a}$ variaram de moderado a perfeita. Nestes sistemas esperava-se que os níveis de significância permanecessem iguais ou inferiores a 5% ($p-v \leq 0,05$) confiança, uma vez que a composição florística, a classe de solo, a topográfica e a distância entre as parcelas de amostragens apresentam características similares. Novaes Filho et al. (2007), ressaltam que solos sob paisagem aparentemente homogêneas podem apresentar alta variabilidade espacial nos teores e estoques de carbono orgânico, fenômeno que pode ocorrer mesmo em pequenas distâncias. Do mesmo modo Cerri et al. (2004) utilizando técnicas geostatísticas observaram elevada heterogeneidade espacial de alguns atributos físicos e químicos (conteúdo de C e textura do solo) de solos amostrados em uma pequena área de pastagem recuperada na fazenda Nova vida, localizada no município de Ariquemes (Rondônia).

Os mapas de *clusters* gerados a partir do *I Local (Lisa)*, interpolador quântico e algoritmo de densidade espacial do Terraview, permitiu identificar na área de estudo a formação de duas áreas (Figura 1 / F) com características específicas, quanto a distribuição e a variabilidade espacial dos valores de EC orgânico do solo, registrados de 0-10cm de profundidade (Figura 1 / A e B). A primeira área (A1) formou-se por *clusters* com ICE perfeito de EC, ocorrendo na área (parcela) do $SAF \geq 10^{56}$ (Figura 1 / A). Esta encontra-se circundada por áreas (parcelas) como ICE variando de moderado a perfeito para a variável EC, concentrando-se sob os polígonos dos $SAF \geq 10^{55}$ e $SAF \geq 10^{60}$, mas com nível de significância maior que 5% ($p-v > 0,05$). Nas

extremidades da área 1 observou-se valores de correlação espacial para EC do solo abaixo da média vetorial, ocorrendo nas parcelas sob agricultura mecanizada (Atm) e no SAF com três anos de implantação (Figura – 1 / A e B).

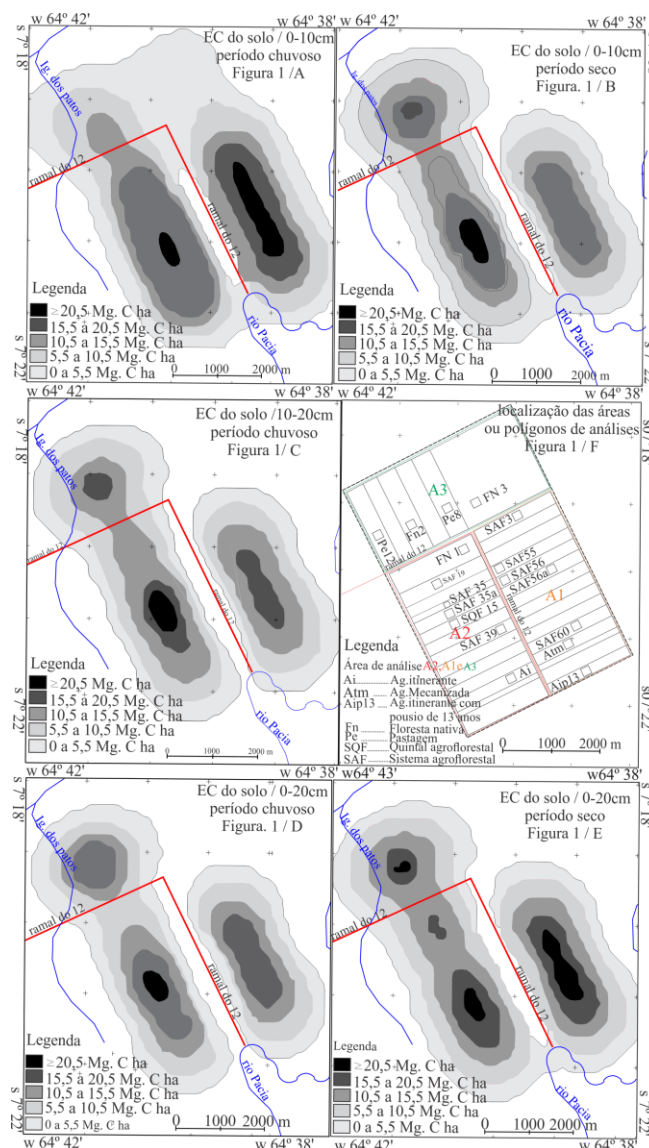


Figura 1. Variabilidade espacial dos estoques de carbono orgânico total no solo de diferentes sistemas de uso e cobertura da terra no assentamento rural Umari / AM.

A segunda área (A2) é formação de *Clusters* com ICE perfeito para os valores de EC, incidindo sob o $SQF \geq 10^{35}$, porém este encontra-se circundado por ICE de EC do solo variando de moderada (PE8 e PE12) a ínfima correlação espacial, em solos amostrados nas parcelas sob agricultura itinerante (Ai). Integram este agrupamento (*Clusters*) os $SAF19$, $SQF15$, $SAF \geq 10^{39}$ e $SQF \geq 10^{35a}$, cujo ICE de EC do solo variaram de perfeito ao fraco, todos com nível de confiança maior que 5% ($p-v > 0,05$).

A fraca correlação espacial associada aos valores de EC do solo observados nas parcelas sob pastagens (PE8 e PE12) e agricultura (Ai, Aip13 e Atm) reforçam a tese que, a modificação da floresta nativa (FN) para implantação de pastagens, destinadas a criação extensiva de gado de corte, e lavoura de subsistência ou manutenção representam fontes líquidas de dióxido de carbono para a atmosfera. Por outro lado, os ICE de EC do solo calculados para as florestas nativas e sistemas agroflorestais, com dez anos ou mais de implantação, existentes no assentamento rural Umari / AM indicam que estes sistemas apresentam um elevado potencial como sumidouros de carbono. Resultado semelhantes foram obtidos por Oliveira et al. (2009) ao registrarem maiores índices de manejo do carbono (IMC) sob sistemas agroflorestais quando comparado com sistemas agrícolas convencionais.

5. CONCLUSÕES

O tipo de manejo, os diferentes agrossistemas analisados, a mudança no uso e cobertura da terra (floresta nativa para agricultura itinerante e posteriormente sistema agroflorestal), o tráfego de máquinas agrícolas entre outros fatores externos de gênese do solo influenciam na variabilidade espacial do estoque de COT no solo.

A derrubada da floresta nativa (FN) para implantação de agricultura itinerante ou corte e queima constituiu perda acentuada de carbono orgânico do solo. Fato que refletiu na ínfima dependência espacial e menor precisão na representação cartográfica do EC nas bordas da área A1.

A transformação das áreas de agricultura itinerante em sistema agroflorestal (SAF) e quintal agroflorestal (SQF) representou a recuperação de matéria orgânica e dos estoques de carbono orgânico no solo e, um alto índice ou grau de dependência espacial, observado na área A2, incidindo com a melhor estrutura espacial e maior precisão na representação cartográfica dos estoques de carbono na área com predominância de uso e cobertura da terra de floresta nativa (FN) e sistemas agroflorestais (SAF's) com mais de dez anos de implantação.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Altieri, M. "Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável". 3 ed. São Paulo: expressão popular, 2012. 400 p.
- [2] Santos, R.M.; Miranda, I.S.; Tourinho, M.M. "Análise florística e estrutural de sistemas agroflorestais das várzeas do rio Juba", Cametá, Pará. Revista Acta Amazonica, v. 34, n. 2, p. 251-263, 2004.
- [3] Torres, C.M.M.E.; Jacovine, L.A.G.; Neto, S.N.O.; Brianezi, D.; Alves, E.B.B. M. "Sistemas agroflorestais no Brasil: uma abordagem sobre a estocagem de carbono". Revista pesquisa floresta brasileira, v. 34, n. 79, p. 235-244, 2014.
- [4] Santiago, W.R.; Vasconcelos, S.S.; Kato, O.R.; Bispo, C.J.C.; Rangel-Vasconcelos, L.G.T.; Castellali, D. C. "Nitrogênio mineral e microbiano do solo em sistemas agroflorestais com palma de óleo na Amazônia oriental". Revista Acta amazônica, v. 43, n. 4, p. 395-406, 2013.
- [5] Novaes Filho, J.P.; Selva, E.C.; Couto, E.G.; Lehmann, Mark, S. J.; Riha, S.J. "Distribuição espacial de carbono em solo sob floresta primária na Amazônia Meridional". Revista árvore, v. 31, n.1, p.83-92,2007.
- [6] Mendonça-Santos, A.L.; Coelho, M.R.; Santos, H.G.; Machado, P.L.O.A. Manzatto, C.V.; Fidalgo, E.C.C. Solos e Ocupação das terras na Amazônia Brasileira. In: MOREIRA, F.M.S; BRUSSAARD, J.O.S.L. "Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros". Lavras: UFLA, 2008. p. 68-116.
- [7] Brito, E.S.; Frade Junior, E.F.F.; Costa, F. S.; Silva, A.G.; Menezes, A.L. "Estoque de carbono e nitrogênio em sistemas de uso e manejo de solos do Acre: sudoeste da Amazônia". In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 19, 2012, Lages. Anais...ages, 2012. 1 CD-ROM.
- [8] Alho, L.C.; Campos, M.C.C.; Silva, D.M.P.; Mantovanelli, B.C.; Souza, Z.M. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e estoque de carbono em cambissolo e Argissolo. Revista Pesquisa agropecuária Tropical, v.44, n.3, p. 246-254, 2014.
- [9] Bernoux, M. "Brazil's soil of the Amazon region". Geoderma, v. 66, p.888-896, 2002.
- [10] IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Projeto RADAMBRASIL. In: "Levantamento de recursos naturais folha SB. 20 Purus". ed. fac-similar. Rio de Janeiro: IBGE, 2003. CD-ROM - Vol. 17.
- [11] Moreira, F.M.S.; Huising, E.J.; Bignell, D.; "Manual de Biologia dos solos tropicais: amostragem e caracterização da biodiversidade". Lavras: UFLA, 2010. 308p.
- [12] EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. "Manual de métodos de análise de solo". 2. ed. Rio de Janeiro: 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos 1).
- [13] Anselin, L. Local "Indicators of Spatial Association". Geographical Analysis, v. 27, n. 2, p. 95-115, 1995.
- [14] Linhares, J.M.S.; Bastos, W.R.; Silva, D.P.L.; Balbimot, E.; Silva, J.O.; Maia, P.V.A. "levantamento de solo em diferentes ambientes geomorfológicos e sistemas de uso da terra na microbacia hidrográfica do rio Pacia – sul do Amazonas". Revista Caminhos de geografia, v. 15, n. 52, p. 21-40, 2014.
- [15] Medeiros, E.R.; Camara, M.R.G.; Caldarelli, C.E.; Sereia, V.J. "Fatores da modernização agrícola no Paraná para os anos de 1995 e 2006". Revista Redes, v. 20, n. 2, p. 400 - 425, 2015.
- [16] Cerri, C.E.P.; Bernoux, M.; Chaplot, V.; Volkoff, B.; Victoria, R. L.; Melilloc, J.M.; Paustian, K.; Cerri, C.C. Assessment of soil property spatial variation in an Amazon pasture: basis for selecting an agronomic experimental area. Journal Geoderma, v. 123, p. 51-68, 2004.
- [17] Oliveira, T.S.; Nogueira, R.S.; Teixeira, A.S.; Campanha, M.M.; Romero, R.E. "Distribuição espacial do índice de manejo do carbono em Luvisolos sob sistemas agrícolas tradicionais e Agroflorestais no município de Sobral – CE". Revista Brasileira de Agroecologia, v. 4, n. 2, p. 589-592, 2009.