

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE DOUTORADO**

**RECONHECIMENTO DE SOLOS E VARIABILIDADE DE SEUS
ATRIBUTOS, EM ÁREAS DE PRODUÇÃO DE SISAL, NO SEMIÁRIDO
BAHIANO**

JOSÉ AUGUSTO AMORIM SILVA DO SACRAMENTO

**CRUZ DAS ALMAS – BAHIA
DEZEMBRO – 2014**

**RECONHECIMENTO DE SOLOS E VARIABILIDADE DE SEUS
ATRIBUTOS, EM ÁREAS DE PRODUÇÃO DE SISAL, NO SEMIÁRIDO
BAHIANO**

JOSÉ AUGUSTO AMORIM SILVA DO SACRAMENTO

Engenheiro Agrônomo

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – 2009

Tese submetida ao colegiado de Curso do programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor, Área de Concentração: Agricultura Irrigada e Sustentabilidade de Sistemas Hidroagrícolas.

ORIENTADOR: PROF. DR. JORGE ANTONIO GONZAGA SANTOS
CO-ORIENTADOR: PROF. DR. OLDAIR DEL'ARCO VINHAS COSTA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
DOUTORADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CRUZ DAS ALMAS – BAHIA – 2015

FICHA CATALOGRÁFICA

S123r

Sacramento, José Augusto Amorim Silva do.

Reconhecimento de solos e variabilidade de seus atributos, em áreas de produção de sisal, no Semiárido Bahiano / José Augusto Amorim Silva do Sacramento. _ Cruz das Almas, BA, 2015.

92f.; il.

Orientador: Jorge Antonio Gonzaga Santos.

Coorientador: Oldair Del'Arco Vinhas Costa.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas.

1.Solos – Manejo. 2.Solos – Classificação. 3.Semiárido (BA) – Análise. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.Título.

CDD: 631.43



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias

COMISSÃO EXAMINADORA DA DEFESA DE TESE DE
JOSÉ AUGUSTO AMORIM SILVA DO SACRAMENTO

Oldair Del'Arco V. Costa

Membro Presidente: Prof. Dr. Oldair Del' Arco Vinhas Costa
Instituição: UFRB

P/ Oldair Del'Arco V. Costa

Membro Interno do Programa: Prof. Dr. Jorge Antonio Gonzaga Santos
Instituição: UFRB

Francisco Alisson da Silva Xavier

Membro Externo à Instituição: Prof. Dr. Francisco Alisson da Silva Xavier
Instituição: Embrapa Mandioca e Fruticultura

Júlio César Azevedo Nóbrega

Membro Externo ao Programa: Prof. Dr. Júlio César Azevedo Nóbrega
Instituição: UFRB

Diego Campana Loureiro

Membro Externo à Instituição: Prof. Dr. Diego Campana Loureiro
Instituição: UFS

Homologada em / / .

A minha esposa **Alide** e a minha filha **Beatriz** pela compreensão e amor;

Aos meus pais **Neuza** e **José Rocha**, a base de tudo;

As minhas irmãs e amigas **Chirlane**, **Crsitiane**, **Djane** e **Tatiane** e ao meu irmão e amigo **Marcelo**;

A minha tia **Maria** e ao seu esposo **Moisés**, pilares motivacionais e financeiro.

Com todo amor e carinho.

Dedico.

“Não existe arte no mundo para a qual se necessite mais entendimento do que a agricultura e eu lhe asseguro que se esta atividade for realizada sem entendimento, constituirá uma violação diária da terra. Na verdade, eu imagino que a terra e os produtos não exigem vingança de alguns assassinos, homens ignorantes e mal agradecidos, que, sem nenhuma razão, depredam e destroem árvores e plantas. Ouso também afirmar que, se a terra for adequadamente cultivada, cuidadosamente lavrada como deve ser, um diarista produzirá mais do que dois poderão com os métodos atuais... Aborrece-me ver os grandes, que deveriam ser inteligentes, deixar suas fazendas nas mãos de ignorantões...”.

(BERNARD PALISSY - 1563, Recepte Véritable, p. 3)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar sempre presente em todos os momentos da minha vida.

A minha esposa, amiga e companheira Alide Mitsue Watanabe Cova por muitas vezes abrir mão dos seus sonhos em prol dos meus. Esta vitória é nossa! Muito obrigado!

A minha filha Beatriz Miyuki, que por muitas vezes com um simples gesto me fez levantar e retomar novamente essa batalha.

Aos meus pais José Rocha Sacramento e Neuza Amorim da Silva Sacramento, pela educação dada.

As minhas irmãs e amigas, Chirlane, Cristiane, Djane e Tatiane pelo companheirismo e apoio de sempre.

Ao meu irmão Marcelo, pela paciência em me ouvir nos momentos de confidência.

Aos meus tios e tias, em especial minha Tia Maria Sacramento Aquino e ao seu esposo Moysés Peixoto Aquino, que foram meus verdadeiros pilares motivacionais e financeiros. Muito obrigado!

Ao professor e orientador Jorge Antonio Gonzaga Santos, pela confiança e autonomia dada para o desenvolvimento da pesquisa. Muito obrigado!

Ao professor e co-orientador Oldair Del'Arco Vinhas Costa, pela fundamental contribuição para o desenvolvimento da pesquisa.

A extinta EBDA através da pesquisadora Kátia Leão, pelo fundamental apoio na escolha das áreas de estudo.

Aos pesquisadores e professores Francisco Alisson da Silva Xavier, Diego Campana Loureiro e Júlio César de Azevedo Nóbrega, pelo apoio no início e fim do projeto.

A professora Rafaela Simão Abrahão Nóbrega, pelo apoio e sugestões na coleta de amostras de solo no campo.

Novamente ao professor Oldair Del'Arco Vinhas Costa, por ter me dado a oportunidade de cursar suas disciplinas e aprender algo mais.

Ao senhor Rito e Hélio, pela grande colaboração e responsabilidade nas viagens entre Cruz das Almas e Valente, Bahia.

A todos que frequentam o laboratório de metais e traços, pelos bons momentos de descontração e pela boa convivência, obrigado!

A todos os docentes da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia e da Universidade Federal do Ceará, sem a ajuda deles, com certeza este sonho ficaria mais distante.

A CAPES, pelo apoio financeiro.

SUMÁRIO

Página

RESUMO GERAL

ABSTRACT

INTRODUÇÃO GERAL 01

Capítulo 1

GÊNESE DE SOLOS DO PEDIPLANO SERTANEJO CULTIVADO COM SISAL NO SEMIÁRIDO BAIANO 07

Capítulo 2

VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM NEOSSOLO REGOLÍTICO CULTIVADO COM SISAL NO SEMIÁRIDO BAIANO¹ 36

Capítulo 3

VARIABILIDADE ESPACIAL E MUDANÇAS NOS ESTOQUES DE CARBONO DE UM NEOSSOLO REGOLÍTICO CULTIVADO COM SISAL NO SEMIÁRIDO BAIANO 62

CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 80

RECONHECIMENTO DE SOLOS E VARIABILIDADE DE SEUS ATRIBUTOS, EM ÁREAS DE PRODUÇÃO DE SISAL, NO SEMIÁRIDO BAHIANO

Autor: José Augusto Amorim Silva do Sacramento

Orientador: Prof. Dr. Jorge Antonio Gonzaga Santos

RESUMO GERAL: O estudo avaliou solos sob cultivo de sisal no semiárido baiano, com o objetivo de fazer o reconhecimento de classes de solos e determinar a variabilidade espacial de seus atributos. O estudo foi dividido em três capítulos: o primeiro capítulo investigou a gênese de solos do Pediplano Sertanejo. Para tanto, foram descritos cinco perfis, nos municípios de Retirolândia, Araci, São Domingos e Valente, todos sob cultivo de sisal, no semiárido baiano. Foram feitas a descrição morfológica e a caracterização, física, química e mineralógica dos solos. Os solos foram classificados, até o quarto nível categórico, como: Neossolo Regolítico Eutrófico léptico (RRe); Planossolo Háptico Eutrófico típico (SXe) e Cambissolo Háptico Ta Eutrófico vertissólico (CXve). O segundo e terceiro capítulos foram desenvolvidos no município de Valente, Bahia. Em uma área de 2,5 hectares foi amostrado solo em 85 pontos, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, nas seguintes áreas: Vegetação de Caatinga (CA), uma área cultivada com sisal no sistema tradicional (SCT) e uma área cultivada com sisal no sistema de cultivo alternativo (SCA). No segundo capítulo Foram mensurados os atributos químicos e mineralógicos do solo, a densidade real e da partícula do solo, a porosidade total e o espaço poroso preenchido com água. Com os resultados analíticos determinou-se a variabilidade espacial dos atributos químicos dos solo. A maioria dos atributos químicos do solo apresentaram variabilidade de baixa a média, em todas as áreas de estudo, com exceção para o fósforo e o alumínio que apresentaram alta variabilidade. O sódio foi o único elemento que não apresentou dependência espacial em nenhuma das áreas de estudo. Os outros elementos se ajustaram aos modelos esférico, exponencial e gaussiano. O terceiro e último capítulo foi

desenvolvido após a determinação da variabilidade espacial dos estoques de carbono do solo, calculado pela multiplicação dos teores de COT. Além da variabilidade espacial objetivou-se, também, determinar as mudanças nos estoques de carbono, após a conversão da vegetação de caatinga para uso agrícola e avaliar seu impacto na emissão de gases considerando dois cenários, tempo zero e sisal cultivado por 20 anos. Os estoques de carbono apresentaram dependência espacial e os mapas de isolinhas possibilitaram analisar a variabilidade nas profundidades de 0-20 e 0-40 cm. A conversão da vegetação de caatinga para o cultivo de sisal no sistema de cultivo tradicional ocasiona uma redução de 30% nos estoques de carbono do solo. Por outro lado, o sistema de cultivo alternativo ocasiona um incremento de 11% nos estoques de carbono do solo. O fator de emissão ou absorção de carbono, devido à mudança de uso do solo após 20 anos, é de 0,66 Mg de carbono ano⁻¹ para o sistema de cultivo tradicional e de -0,25 Mg de carbono ano⁻¹ para o sistema de cultivo alternativo.

Palavras-chave: Caatinga, manejo do solo, geoestatística, fator emissão de carbono.

ABSTRACT: The study evaluated soils under sisal cultivation in Bahia, with the goal of making the recognition of soil classes and determine the spatial variability of its attributes. The study was divided into three chapters: the first chapter investigated the genesis of pediplano Sertanejo soils. To this end, five profiles were described in the municipalities of Retirolândia, Araci, St. Dominic and Valente, all under sisal cultivation, in Bahia. Morphological description and characterization, physical, chemical and mineralogical soil were made. The soils were classified until the fourth category level, as Entisol Eutrophic Inceptisol (RRE); Planossolo Haplic typical Eutrophic (SXE) and Cambisol Ta Eutrophic vertissólico (CXve). The second and third chapters were developed in the municipality of Valente, Bahia. In an area of 2.5 hectares was soil sampled at 85 points, at 0-20 and 20-40 cm in the following areas: Caatinga vegetation (CA), an area planted with sisal in the traditional system (TCS) and an area planted with sisal on the alternative crop system (ACS). In the second chapter were measured chemical and mineralogical soil properties, the actual density and soil particle, the total porosity and the pore space filled with water. With the analytical results determined the spatial variability of the chemical attributes of the

soil. Most soil chemical properties had an average low variability in all areas of study, except for phosphorus and aluminum which showed high variability. The sodium was the only element that did not present spatial dependence in any of the study areas. The other elements are set to spherical models, exponential and Gaussian. The third and final chapter was developed after determining the spatial variability of soil carbon stocks, calculated by multiplying the TOC. In addition to the spatial variability aimed to also determine changes in carbon stocks, after the conversion of savanna vegetation for agricultural use and assess their impact on greenhouse gas emissions considering two scenarios, zero time and sisal cultivated for 20 years. Carbon stocks spatial correlation and contour maps made it possible to analyze the variability at 0-20 and 0-40 cm. The conversion of savanna vegetation for sisal cultivation in traditional farming system causes a 30% reduction in soil carbon stocks. Moreover, alternative culture system causes an increase of 11% in soil carbon stocks. The emission factor or carbon absorption due to changes in land use after 20 years, is 0.66 Mg year⁻¹ carbon to the traditional farming system and -0.25 Mg yr⁻¹ for carbon alternative culture system.

Keywords: Caatinga, alternative farming, geostatistics, carbon emission factor.

INTRODUÇÃO GERAL

O sisal (*Agave sisalana* Perrine) é originário da península de Yucatan, no México. A cultura adaptou-se muito bem a região semiárida do Nordeste brasileiro, onde é cultivado em largas extensões (Dias et al., 2012). A primeira colheita ocorre entre 24 a 36 meses após o plantio no campo e, em seguida, a cada 6 a 9 meses (De Paula et al., 2012). A região sisaleira na safra 2008/2009 exportou 78,6 mil toneladas de fibra de sisal gerando uma receita de 88,6 milhões de dólares. O Brasil, (47%), Tanzânia (15%), China (15%) e Quênia (12%) são os maiores produtores mundiais de sisal, enquanto os Estados Unidos e China são os principais importadores, absorvendo 45% e 22% da produção brasileira, respectivamente (Secex, 2012). Cerca de 80% de todo o sisal produzido no Brasil é exportado.

A região produtora de sisal é caracterizada pela predominância de pequenas propriedades, com cultivos agrícolas de subsistência e com base na mão-de-obra familiar e pecuária, baseada no pastoreio da vegetação nativa. A produção de sisal é conduzida quase que de forma extrativista, na qual o produtor apenas planta o sisal, normalmente utilizando o espaçamento de 2 x 1 ou em fileira dupla, mas sem fazer a remoção dos rebentos laterais da planta e sem adubação química ou orgânica dos plantios. A capina manual, feita esporadicamente, e a colheita anual das folhas para a retirada da fibra são as únicas práticas de manejo da cultura. Nos últimos anos a produtividade da cultura tem decrescido devido a fatores climáticos e possivelmente a exaustão da fertilidade do solo. Na década de 1980 a produção média girou na casa das 200 mil t, caindo para 100 mil na década de 1990 e batendo em cerca de 60 mil t em 2010 (Conab, 2012). Nas condições da Tanzânia, o sisal exporta entre 27-33, 5-7, 59-69, 42-70 e 34 kg/t de fibra/ano de N, P₂O₅, K₂O, Ca e Mg, respectivamente (Hartemik, 2002). Essa exportação de nutrientes do solo, sem

reposição pela adubação, pode exaurir a fertilidade natural do solo em dois ou três ciclos de cultivo, aproximadamente 25 anos (Silva et al., 2008).

Os solos da região sisaleira são pouco estudados e na literatura são escassos os trabalhos que enfoquem as implicações deste recurso natural. Os recursos hídricos da região são limitados devido ao regime pluviométrico irregular, com chuvas mal distribuídas temporal e espacialmente. A preponderância de solos rasos com baixa capacidade de retenção de água; A produtividade média das atividades agropecuárias nessa região é muito baixa, chegando a níveis baixíssimos em períodos de seca (Padilha, 2000).

Dado a heterogeneidade de chuva, do solo e vegetação, a região sisaleira representa um enorme desafio para o uso e o manejo sustentáveis desses recursos (Melo Filho e Souza, 2006).

No que se refere à geologia, a região sisaleira é dividida em três áreas de acordo com a natureza do material de origem: áreas do cristalino; áreas do cristalino recobertas por materiais mais ou menos arenosos; e áreas sedimentares (Jacomine, 1996). Entre as classes de solos existentes, destacam-se os Latossolos, Neossolos Litólicos, Argissolos e Luvisolos, que juntos representam aproximadamente 66% da área total (Salcedo & Sampaio, 2008). De acordo com informações contidas no mapa exploratório de reconhecimento dos municípios, na região sisaleira as principais classes existentes pertencem às ordens dos Planossolos e Neossolos (Embrapa, 2006).

Os Planossolos são solos com sequência de horizontes A-AB-Bt-Btn ou A-E (álbico ou não)-Bt-Btn e textura argilosa no horizonte subsuperficial (Embrapa, 2013). Verticalmente são solos muito diferenciados. Apresentam um horizonte pobre em argila que recobre outro rico, deste mesmo mineral. Essa estrutura muitas vezes provocam um encharcamento superficial e um avanço no processo de gleização (Jordanova et al., 2011). Apesar de possuírem, na maioria, condições químicas natural de razoáveis a boas, às condições físicas, e a suscetibilidade a erosão e a degradação limitam o uso agrícola desse solo (Parahyba et al., 2010).

Os Neossolos são solos com horizontes A ou hístico, assentado diretamente sobre a rocha ou sobre um horizonte C ou Cr e R e apresentam textura variável de arenosa a média (Embrapa, 2013). Por ocorrerem em ambientes de baixa pluviosidade, o clima limita os processos pedogenéticos (Santos et al., 2012). As

informações e o conhecimento disponível sobre os Neossolos da região sisaleira, é relativamente escassa, restringindo-se aquelas contidas em levantamentos em nível exploratório ou de reconhecimento (Oliveira et al., 2009). Existem demandas sobre avaliação pedológica na região assim como estudo da relação destes solos com a paisagem (Pedron et al., 2012). Pesquisas sobre caracterização e classificação de solos em regiões semiáridas, do ponto de vista pedológico, além de disponibilizarem informações mais precisas a respeito das diversas ordens de solo ao longo do território nacional permitem sistematizar informações sobre as propriedades físicas, químicas e mineralógicas dos solos. Essas informações poderão servir de subsídio para o desenvolvimento de práticas de manejo, o uso sustentável do recurso natural solo, e auxiliar os produtores a obterem maiores produtividades e um melhor desenvolvimento agrícola para a região semiárida, em especial a região sisaleira (Santos et al., 2012).

O carbono desempenha papel importante na nutrição das plantas e nas questões ambientais por fazer parte da estrutura de dois principais gases causadores do efeito estufa, o metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2). A dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS) influencia de forma marcante na taxa de liberação de C- CO_2 para a atmosfera. Estudo de estoque de carbono podem ser visto como um bom índice de monitoramento da sustentabilidade e qualidade ambiental, relativo aos manejos das culturas que impactam a MOS. No cálculo dos estoques, leva-se em consideração a espessura da camada amostrada, a densidade do solo de cada camada e o teor do nutriente, é um dado relativamente fácil de ser obtido e que traz importantes informações a respeito da dinâmica do carbono no sistema solo-planta-atmosfera.

O solo é o ambiente de sustentação e de fornecimento de nutrientes para os organismos, habitat para os macro e micro-organismos e é o regulador dos fluxos de água e gases. Todas estas funções são cruciais para manutenção da produtividade e sustentabilidade do ambiente natural. Todas essas características do solo o qualificam a ser o primeiro fator a ser investigado tanto nos processos de redução de produtividade das culturas como nos estudos de monitoramento e de qualidade ambiental. Este projeto permitirá ampliar os conhecimentos dos solos cultivados com sisal, por meio da caracterização física, química e mineralógica, bem como da sua classificação; conhecer a variabilidade espacial dos atributos físicos, químicos e

biológicos; determinar e avaliar a qualidade do solo e sua relação com o desenvolvimento do sisal, e por fim obter os estoques de carbono do solo e sua relação com a qualidade ambiental dos diferentes sistemas. O estudo parte da hipótese que, a depender da escala que esses levantamentos foram feitos, outras ordens de solos, que existem em uma menor extensão, não foram registradas, por exemplo, os Cambissolos.

Este estudo avaliou solos sob cultivo de sisal, no semiárido baiano, com o objetivo de fazer o reconhecimento de classes de solos e determinar a variabilidade espacial de seus atributos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORTOLON, E. S. O.; MIELNICZUK, J.; TORNQUIST, C. G.; LOPES, F.; FERNANDES, F. F. Simulação da dinâmica do carbono e nitrogênio em um Argissolo do Rio Grande do Sul usando modelo Century. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 33, p.1635-1646, 2009.

DE PAULA, M. P.; LACERDA, T. M.; ZAMBON, M. D.; FROLLINI, E. Adding value the Brazilian sisal: acid hydrolysis of its pulp seeking production of sugars and materials. *Cellulose*, v. 19, p.975-992, 2012.

DIAS, F. S.; BONSUCCESSO, J. S.; OLIVEIRA, L. C.; SANTOS, W. N. L. Preconcentration and determination of cooper in tobacco leaves samples by using a mini column of sisal fiber (*Agave sisalana*) loaded with Alizarin fluorine blue by FAAS. *Talanta*, v. 89, p.276-279, 2012.

MELO FILHO, J. F.; SOUZA A. L. V. O manejo e a conservação do solo no Semiárido baiano: desafios para a sustentabilidade. *Bahia Agrícola*, v. 7, 11p. 2006.

PADILHA, J. A. Base Zero Ano 2000: mudança de paradigma na produção agroambiental nos trópicos secos. In: Pedro Sisnado Leite *et al.* (orgs.). *Reforma*

agrária e desenvolvimento sustentável. Brasília, Ministério do Desenvolvimento Agrário/ NEAD. 2000.

SECRETÁRIA DE COMÉRCIO EXTERIOR – SECEX. Exportações Brasileiras, 2012. Disponível em: www.desenvolvimento.gov.br: Acesso em: 17 de junho de 2012.

SANTOS, J.C.B.; SOUZA JÚNIOR, V.S.; CORRÊA, M.M.; RIBEIRO, M.R.; ALMEIDA, M.C. & BORGES L.E.P. Caracterização de Neossolos Regolíticos da região semiárida do Estado de Pernambuco. R. Bras. Ci. Solo, 36:683-695, 2012.

SALCEDO, I.H. & SAMPAIO, V.S.B. Matéria orgânica do solo no Bioma Caatinga. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A.O. (Eds) Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo, Ecossistemas Tropicais e Subtropicais. Porto Alegre, Gênese, 2008.p. 419-441.

OLIVEIRA, L.B.; FONTES, M.P.F.; RIBEIRO, M.R. & KER, J.C. Morfologia e classificação de Luvisolos e Planossolos desenvolvidos de rochas metamórficas no semiárido do nordeste brasileiro, R. Bras. Ci. Solo, 33:1333-1345, 2009.

PARAHYBA, R.B.V.; SANTOS, M.C.; ROLIM NETO, F.C. & JACOMINE, P.K.T. Pedogênese de Planossolos em topossequência do Agreste pernambucano, R. Bras. Ci. Solo, 34:1991-2000, 2010.

PEDRON, F.A.; SAMUEL-ROSA, A. & DALMOLIN, R.S.D. Variação das características pedológicas e classificação taxonômica de Argissolos derivados de rochas sedimentares, R. Bras. Ci. Solo, 36:1-9, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA SOLOS. Recife, 2006. Disponível em: www.uep.cnps.embrapa.br/solos/index.html: Acesso em: 06 de maio de 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3 ed. Rio de Janeiro, 2013. 353p.

JACOMINE, P.K.T. Solos sob caatinga – características e uso agrícola. In: ALVAREZ, V.H.; FONTES, L.E.F. & FONTES, M.P.F. (Eds) O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e desenvolvimento sustentado. Viçosa-Mg: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996, p. 95-111.

JORDANOVA, N.; JORDANOVA, D. & PETROV, P. Magnetic imprints of pedogenesis in Planosols and stagnic Alisol from Bulgaria, *Geoderma*, 160:477-489, 2011.

HARTEMINK, A.E. Input and output of major nutrients under monocropping sisal in Tanzania. London, *Land Degradation & Development*, v.8, p.305-310, 1997.

HARTEMINK, A.E. Soil fertility decline in the tropics: with case studies on plantations. Cambridge, 2002. 360p.

SILVA, O. R. R. F.; COUTINHO, W. M.; SOFIATTI, V.; SILVA FILHO, J. L. S.; CARVALHO, O. S.; COSTA, L. B. Cultivo do sisal no Nordeste brasileiro. Circular Técnica, ISSN 0100-6460, 123, Ministério da Agricultura , Pecuária e Abastecimento, 2008.

CAPÍTULO 1

GÊNESE DE SOLOS DO PEDIPLANO SERTANEJO CULTIVADO COM SISAL NO SEMIÁRIDO BAIANO¹

¹Artigo a ser ajustado e submetido ao Comitê Editorial do periódico Revista Brasileira de Ciência do Solo.

Gênese de solos do Pediplano Sertanejo cultivado com sisal no semiárido baiano

RESUMO: As informações e o conhecimento disponível sobre os solos presentes no Pediplano Sertanejo são relativamente escassas, restringindo-se a informações produzidas pelos levantamentos em nível exploratório ou de reconhecimento. Pesquisas pedológicas de caracterização e classificação de solos contribuem para o conhecimento das diversas ordens de solo de uma região e permitem sistematizar informações sobre as propriedades físicas, químicas e mineralógicas dos solos. O estudo objetivou avaliar a gênese de solos do Pediplano Sertanejo, por meio da caracterização das propriedades químicas e mineralógicas e classificação destes solos representativos da região sisaleira. Cinco perfis de solos localizados em Araci, Retirolândia, São Domingos e Valente, municípios pertencentes à região sisaleira, semiárido baiano foram abertos, descritos morfologicamente e analisados para os atributos químicos (pH em água e KCl, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Al^{3+} , H+Al, P e C) e mineralógicos. A maioria das classes de solos avaliadas são formadas por descontinuidade litológica de material. Os principais processos envolvidos na formação de tais classes de solos são: a cumulização, agradação e lessivagem. Os solos foram classificados, até o quarto nível categórico, como: Neossolo Regolítico Eutrófico léptico (RRe); Planossolo Háplico Eutrófico típico (SXe) e Cambissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico (CXve).

Palavras-chave: Neossolos Regolíticos, Planossolos, Cambissolos, mineralogia.

ABSTRACT: The information and the available knowledge of the Soils at pediplano Sertanejo are relatively scarce and restricted to the information produced by surveys in exploratory level or recognition. Soil research characterization and soil classification contribute to the knowledge of the different soil orders of a region and allow systematize information on the physical, chemical and mineralogical soil. The study aimed to evaluate the genesis of pediplano Sertanejo soil, through the characterization of the chemical and mineralogical properties and classification of soils of the sisal region. Five soil profiles located in Araci, Retirolândia, St. Dominic

and Valente, cities from the sisal region, Bahia semiarid were opened, described morphologically and analyzed for chemical attributes (pH in water and KCl, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Al^{3+} H + Al, P and C) and mineralogical. Most evaluated soil classes are formed by lithological discontinuity of material. The main processes involved in the formation of such soil classes are: cumulização, aggradation and lessivagem. The soils were classified until the fourth category level, as Entisol Eutrophic Inceptisol (RRE); Planossolo Haplic typical Eutrophic (SXE) and Cambisol Ta Eutrophic vertissólico (CXve).

Keywords: Neosols, Planosols, Inceptisols, mineralogy.

INTRODUÇÃO

As informações e o conhecimento disponível sobre os solos presentes no Pediplano Sertanejo são relativamente escassas, restringindo-se a informações produzidas pelos levantamentos em nível exploratório ou de reconhecimento (Oliveira et al., 2009). Pesquisas pedológicas de caracterização e classificação de solos contribuem para o conhecimento das diversas ordens de solo de uma região e permitem sistematizar informações sobre as propriedades físicas, químicas e mineralógicas dos solos. O levantamento de solos possui informações importantes que permitem a utilização do solo de maneira racional e eficiente, inclusive para o uso agrícola, as informações podem servir de subsídio para o desenvolvimento de práticas de manejo mais sustentáveis e auxiliar os produtores a obterem maiores produtividades agrícola (Santos et al., 2012). Estudos dessa natureza são importantes para a região semiárida, em especial a região sisaleira.

A geologia da região sisaleira é constituída de áreas com material originário cristalino; cristalino recoberto por materiais mais ou menos arenosos; e sedimentares. É constituído, também, por rochas ígneas e metamórficas de graus metamórficos variando de granulito a xisto-verde, de idades arqueanas e proterozóica inferior (Jacomine, 1996; Melo, 2001).

Os Latossolos (19%), Neossolos Litólicos (19%), Argissolos (15%) e Luvisolos (13%), representam juntos, aproximadamente 66% dos solos da área total (Salcedo & Sampaio, 2008). De acordo com informações contidas no mapa exploratório de

reconhecimento dos municípios, na região sisaleira, as principais classes existentes pertencem às ordens dos Planossolos e Neossolos (Embrapa, 2006a).

Os Planossolos são solos com sequência de horizontes A-AB-Bt-Btn ou A-E (álbico ou não)-Bt-Btn e textura argilosa no horizonte subsuperficial (Embrapa, 2013). Verticalmente são solos muito diferenciados, apresentando um horizonte pobre em argila que recobre outro rico, desta mesma fração textural. Apesar de possuírem, na maioria, condições químicas natural de razoáveis a boas, apresentam sérias limitações ao uso agrícola devido as condições físicas e à suscetibilidade à erosão e degradação (Parahyba et al., 2010). A pedogênese destes solos é pouco ou não discutida, principalmente quando se trata do ambiente em estudo, havendo dúvidas, por exemplo, no entendimento das associações com os Neossolos Regolíticos (Parahyba et al., 2010).

Os Neossolos apresentam horizontes A ou hístico, assentado diretamente sobre a rocha ou sobre um horizonte C ou Cr e R e textura variável de arenosa a média (Embrapa, 2013). Geralmente, a escassez de chuva da região semiárida, isoladamente ou em conjunto limitam a intensidade dos processos pedogenéticos (Santos et al., 2012).

No levantamento exploratório contido em Brasil (1983), folha Aracaju/Sergipe, a região que abrange os municípios que fazem parte da região sisaleira é composta, aproximadamente, por 90% de Planossolos e 10% de Neossolos Regolíticos. Dados semelhantes são apresentados nos levantamentos da companhia de pesquisa de recursos minerais (CPRM, 1989) e da Embrapa Solos, unidade Recife (Embrapa, 2006a).

Assim, o trabalho parte da hipótese que, a depender da escala que esses levantamentos foram realizados, outras ordens de solos que existem em uma menor extensão não foram registradas, por exemplo, os Cambissolos. Isso porque, as diferenças nos fatores de formação, principalmente relacionados à geologia local e ao relevo, bem como aos diferentes fatores de formação (cumulização, agradação e lessivagem), levaram a gênese de outros solos, sendo inclusive cultivados com sisal. Na região sisaleira, isso se deve a reduzida espessura e/ou a descontinuidade do material que recobre as rochas da região. Por exemplo, em locais onde o material sedimentar apresenta uma camada cimentada por argila que impede a infiltração de água e conseqüentemente o intemperismo do material rochoso formou os Neossolos

Regolíticos. Já nos locais onde os sedimentos são mais permeáveis, houve a formação de um B Plânico (Planossolos). Por outro lado, onde não houve cobertura sedimentar, o material rochoso (cristalino) sofreu intemperismo, formando os Cambissolos com caráter vértico ou Vertissolos.

O estudo da gênese destes solos complementam as informações do levantamento exploratório de solos existentes na região sisaleira, ajudando assim, a disponibilizar informações mais detalhadas para o planejamento de ocupação e uso do solo. Este trabalho objetivou estudar a gênese de solos do Pediplano Sertanejo sob o cultivo de sisal no semiárido baiano.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização e localização das áreas de estudo

As trincheiras foram abertas na região de cultivo de sisal, nos municípios de Retirolândia, Araci, Valente e São Domingos, pertencentes à região semiárida baiana. Foram abertas duas trincheiras em Retirolândia (Perfis 1 e 2); uma em Araci (Perfil 3); uma em Valente (Perfil 4) e uma em São Domingos (Perfil 5). Esses perfis foram denominados P1, P2, P3, P4 e P5, respectivamente (Figura 1). As trincheiras foram abertas no terço médio da encosta, por ser este o segmento mais representativo da região.

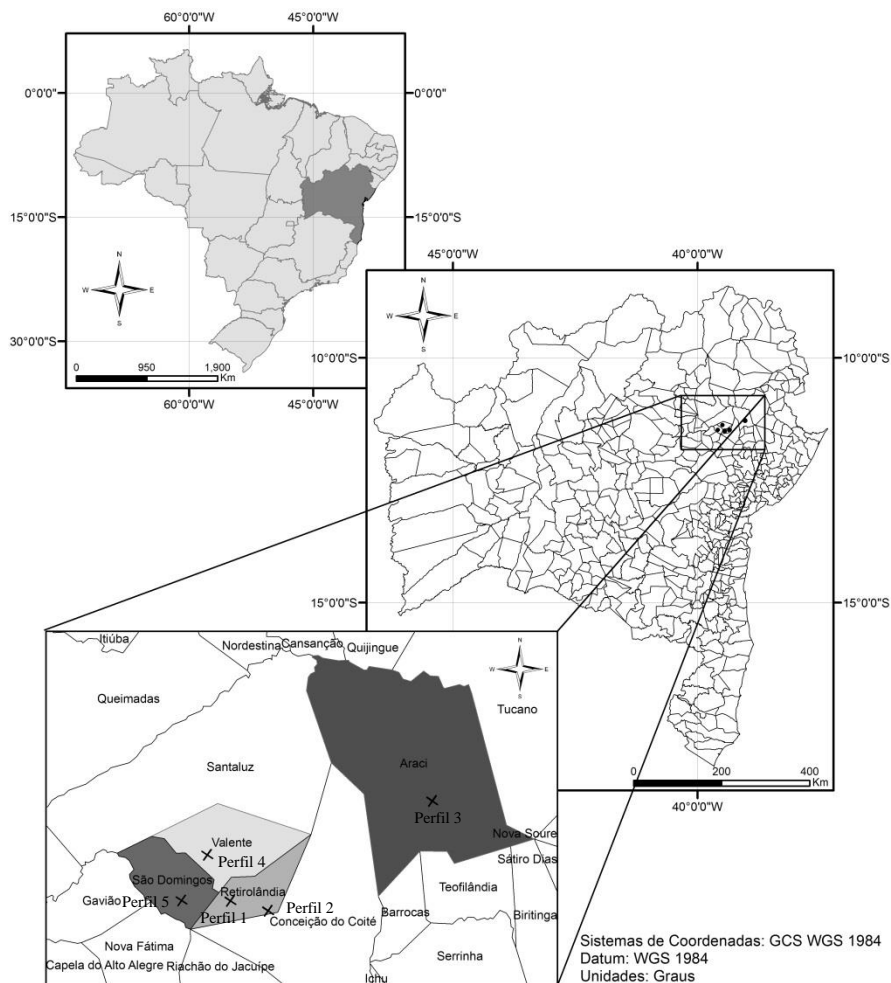


Figura 1 – Locais de abertura dos perfis, região de cultivo de sisal.

O clima da região sisaleira é do tipo semiárido, com pluviosidade média anual entre 500 a 800 mm. Novembro e dezembro são os meses mais chuvosos e a temperatura média anual varia entre 20,7 e 26,8°C.

A geologia está constituída por rochas ígneas e metamórficas de graus metamórficos variando de granulito a xisto-verde, de idades arqueana e proterozóica inferior. Apresenta relevo arrasado com formas suavemente onduladas, aplanadas e rampeadas, de altitude variando de 400 a 240m, com elevações residuais que marcam desníveis de até 300m, evidenciando os intensos processos de desnudação e aplainamento aos quais foi submetida a região. O relevo é bastante movimentado, graças à presença de inúmeros pontões e inselbergs, estruturados por ortognaisses granulíticos e granitoides, e relevos residuais em forma de cristais, onde afloram rochas calcissilicáticas e quartzíticas (Melo, 2001).

A geomorfologia é composta por depressões interplanálticas, patamar colinoso marginal, que é uma superfície de aplanamento retocada inumada, planos inclinados, uniformizados por coberturas de origem diversas, resultante de retoques e remanejamentos sucessivos, indicando predominância de processos de erosão areolar (Brasil, 1983).

A vegetação original dominante na região é a caatinga arbórea aberta (Sei, 2014), pertencente ao bioma caatinga.

Algumas características das áreas onde foram abertos os perfis são apresentados no quadro 1.

Coleta de amostras e procedimentos analíticos

Os perfis foram descritos segundo Santos et al. (2005). Amostras de solo deformadas coletadas de cada horizonte foram secas ao ar e passadas em peneiras com malha de 2 mm de diâmetro, quantificando-se a fração grosseira cascalho, com diâmetro > 2 mm e a terra fina seca ao ar (TFSA). As amostras foram analisadas quimicamente para $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ e pH_{KCl} , (relação solo:água 2:1), carbono orgânico total (COT), P, K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} e H+Al determinados por metodologia compilada pela Embrapa (2011). Baseado nos resultados analíticos calculou-se a capacidade de troca de cátions (CTC), soma de bases (SB), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%).

As amostras foram analisadas fisicamente para textura (método do densímetro). A identificação dos minerais foi feita na argila natural e sem tratamento. Para tanto, após a separação da argila por sedimentação, as partículas foram desagregadas por peneiramento seguido de trituração da fração com um almofariz de ágata e a mineralogia da fração argila total ($\text{Ø} < 2 \mu\text{m}$) das amostras foi determinada utilizando um difratômetro de raio X (DRX) Pan Analytical – Modelo X'pert PRO com um tubo de raio-x de Cobalto, velocidade de varredura $0,02^\circ (2\theta)$ e analisado na faixa de 4 a $70^\circ (2\theta)$. Os minerais dos difratogramas foram interpretados conforme Chen (1997). Os teores de compostos de ferro, alumínio e silício das amostras foram avaliadas em extrato de ataque sulfúrico (Embrapa, 2011). Baseado nos resultados obtidos, o estágio de intemperismo dos solos foi avaliado utilizando os índices Ki e Kr.

A partir dos atributos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos, os solos foram classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (Embrapa, 2013).

Quadro 1. Informações gerais dos pontos de caracterização dos perfis de solos em áreas cultivadas com sisal no semiárido baiano.

Perfil	Coord. (UTM)	Situação paisagem	Relevo local	Material de origem	Vegetação atual	Altitude (m)	Drenagem	Pedregosidade e rochosidade
P1	24L 0459181/872 6158	Terço médio	Suave ondulado	Sedimento arenoso recobrimdo o cristalino	Sisal consorciado com pastagem nativa	314	Excessivamente drenado	Endopedregoso e ausente
P2	24L 0450560/872 8466	Terço médio	Suave ondulado	Produto de alteração do cristalino granulito	Sisal	269	Imperfeitamente drenado	Ligeiramente pedregoso e ligeiramente rochoso
P3	24L 8751628/496 730	Terço médio	Suave ondulado	Produto de alteração de sedimentos quaternários arenosos recobrimdo o cristalino	Sisal	298	Imperfeitamente drenado	Moderadamente pedregoso e ligeiramente rochoso
P4	24L 0445227/873 9022	Terço médio	Suave ondulado	Produto de alteração de sedimentos quaternários arenosos	Sisal	315	Acentuadamente drenado	Pedregoso e não rochoso
P5	24L 0439716/333 306	Final de terço médio	Suave ondulado	Produto de alteração de rocha do cristalino	Sisal com pasto sujo	230	Moderadamente drenado	Ausente

OBS: Os dados de (H + Al) e Titânio, referentes ao capítulo 1 da tese, estão sendo reavaliados, e caso necessário serão substituídos na composição do arquivo final para serem submetidos aos periódicos científicos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Atributos morfológicos e físicos do solo

O P1 apresenta a sequência de horizontes A-AC-C1-C2-C3 e 2Cr, com profundidade superior a 105 cm, predominância de areia nos horizontes superficiais, apresenta contato lítico a uma profundidade superior a 50 cm, mais de 5% do volume de massa dos horizontes C1 e C2 apresentando fragmentos de rocha semi-intemperizadas. O horizonte C3, com base nas observações morfológicas, apresenta textura cascalhenta endurecida, de quartzo (90%) arredondado e arestado, entremeado a material pulverulento esbranquiçado. Este material recobre o cristalino que apresentou pouca alteração na parte superficial com indícios de presença de argila 2:1, observada pela presença de poucas rachaduras no perfil de solo. O pó esbranquiçado entre os cascalhos de quartzo é igual ao horizonte C2.

O P2 apresenta sequência de horizontes A-AB-Biv-BC e Cr, com horizonte diagnóstico subsuperficial incipiente, profundidade inferior a 100 cm e a quantidade de argila decresce no perfil do solo, sendo maiores nos horizontes A-AB e Biv, textura argilosa, associados à argila de atividade alta (Ta), CTC superior a 17 cmol_c/kg de argila e alta saturação de bases ($V > 95\%$), (Quadro 4).

O P3 apresenta sequência de horizontes A-AE-E-2Bt e 2Cr, com textura areia franca e franco-arenosa nos horizontes A-AE e E e argilo-arenosa no 2Bt, com formação de argila no horizonte subsuperficial, o suficiente para caracterizar uma mudança textural, e nesse caso mudança textural abrupta (Quadro 3).

O P4 apresenta semelhanças com o P1 e tem sequência de horizontes A-C1-C2 e 2Cr, com mais de 100 cm de profundidade e textura arenosa em todos os horizontes (Quadro 3).

O P5 apresenta sequência de horizontes A-Bi1-Bi2 e BC, com profundidade de aproximadamente 80 cm e menor quantidade de argila em todos os horizontes, quando comparado ao P2, que também recebeu a mesma classificação (Quadro 3).

Entre si, os perfis estudados apresentaram diferenças nas características morfológicas, apesar de estarem distribuídos ao longo do semiárido baiano sob as mesmas condições climáticas. A variação morfológica dos perfis parece estar mais intimamente relacionada com a geologia e ao relevo, que condiciona o movimento de água no perfil do solo e processos erosivos de deposição de material sedimentar.

Apesar de os mapeamentos geológicos da região evidenciarem apenas a formação geológica do cristalino, gnaisse e migmatitos do complexo Santa Luz (CPRM, 1989), na área estudada em grande parte este material é recoberto por uma fina camada de sedimentos arenosos, que estão presentes em regiões próxima e que foram descritas por CPRM (1989), como coberturas detríticas terciárias/quartenárias, que recobrem discordantemente as mais diversas litologias dos domínios tectono-estruturais identificados. Estes materiais apresentam areia quartzosa e cascalho de quartzo arredondado, entremeado, muitas vezes a fragmentos de rochas do material do cristalino recém alterado. Desta forma, os solos são formados na sua maioria por descontinuidade litológica ou em menor proporção pela alteração de apenas um destes materiais de origem.

Brasil (1983), também descreveu na região Planossolos com e sem descontinuidade litológica demonstrando a presença de coberturas sedimentares acima do material do cristalino em processo de alteração.

A coloração predominante do P1 e P4 é o bruno e bruno escuro, respectivamente (Quadro 2). Estas colorações são características de solo com pouca presença de matéria orgânica e condizentes com os resultados encontradas por Santos et al. (2012), quando caracterizaram Neossolos Regolíticos na região semiárida do sertão pernambucano. As cores bruno-escuro e bruno muito escuro predominam nos horizontes superficiais do P2 e P5, respectivamente e as cores mais avermelhadas predominam na subsuperfície. Em P3 predominam cores bruno-acinzentado e bruno-acinzentado-escuro. As cores mais avermelhadas na subsuperfície do P2 e P5 é um indicativo da presença do ferro, proveniente do material do cristalino e que dão origem a classes de solos diferentes dos Planossolos e Neossolos Regolíticos, apontadas pelos levantamentos exploratórios encontrados para a região sisaleira.

Quadro 2. Distribuição dos horizontes e atributos morfológicos de solos cultivados com sisal no semiárido

P	Hz.	Prof. (cm)	Cor	Estrutura	Consistência		Transição	
					Úmida	Molhada		
Neossolo Regolítico Eutrófico léptico – RRe								
	A	0-14	BA	bsa, me, fr e gs	Solto e macio	Solto	Não plástico e não pegajoso	pg
	AC	14-29	BAE	bsa, meg e fr	Solto e macio	Solto	Não plástico e não pegajoso	pd
	C1	29-41	BA	bsa, gr e fr	Macio	Muito friável	Não plástico e não pegajoso	pg
P1	C2	41-56/(48-65)	BA	bsa, gr e fr	Macio e ligeiramente duro	Muito friável	Não plástico e não pegajoso	oa
	C3	56-81/(65-98)	-	Maciço	Duro	Firme	Muito plástico e pegajoso	ic
	2Cr	81-105 ⁺	-	Maciço	-	-	-	-
Cambissolo Háptico Ta Eutrófico vertissólico – CXve								
	A	0-14	BE	bsa, pem e mo	Duro	Firme	Muito plástico e pegajoso	
	AB	14-29	B	bsa e ba, me e mo	Duro a muito duro	Firme	Muito plástico e pegajoso	
P2	Biv	29-41	BAvE	ba, gr e mo	Muito duro	Muito firme	Muito plástico e pegajoso	
	BC	41-55	-	-	-	-	-	
	Cr	55-70 ⁺	-	-	-	-	-	
Planossolo Háptico Eutrófico típico – SXe								
	A	0-12	BAE	gra e grs, me e fr	Macia	Muito friável	Não plástico e Não pegajoso	pg
	AE	12-33	BA	bsa, gr e fr	Ligeiramente duro	Muito friável	Não plástico e não pegajoso	pg
P3	E	33-51	CC	bsa, gr e fr	Ligeiramente duro	Friável	Não plástico e não pegajoso	pa
	2Bt	51-65/67	BAE	bsa, gr, fr e mo	Dura a muito friável	Friável e firme	Ligeiramente plástico e pegajoso	ig
	2Cr	65/67-79 ⁺	-	-	-	-	-	-
Neossolo Regolítico Eutrófico léptico - RRe								
P4	A	0-18	BAm	bsa e grs, fr e me	Macia	Muito friável	Não plástica e não pegajosa	pc
	C1	18-42/53	BAm	bsa e grs, fr e me	Ligeiramente duro	Muito friável	Não plástica e ligeiramente pegajosa	oc

	C2	42/53-72	B	bsa e grs, fr e me	Ligeiramente duro	Muito friável	Não plástica e ligeiramente pegajosa	og
	2Cr	72-100 ⁺	BAmE	bsa e grs, fr e me	Ligeiramente duro	Muito friável	Não plástica e Não pegajosa	-
Cambissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico - CXve								
	A	0-6	BME	bsa, pem e mo	Dura	Firme	Plástica	pc
	Bi1	6-12	CAE	bsa, mgr e mogr	Muito duro	Firme a muito firme	Muito plástica e pegajosa	pd
P5	Bi2	12-49/(43-56)	VEA	bsa, fr e me	Dura a muito dura	Firme	Muito plástica e pegajosa	pg
	BC	49-80 ⁺	CAE	-	Muito duro	Firme	Plástico e pegajoso	-

BA = Bruno Acinzentado; BAE = Bruno Acinzentado Escuro; BE = Bruno Escuro; B = Bruno; BAvE = Bruno Avermelhado Escuro; CC = Cinzento Claro; BAmE = Bruno Amarelado Escuro; BME = Bruno Muito Escuro; CAE = Cinzento Avermelhado Escuro; VEA = Vermelho Escuro Acinzentado; gra = granular; grs = grãos simples; me = média; fr = fraca; bsa = blocos subangulares; mo = moderada; pem = pequena a moderada; mgr = muito grande e mogr = moderada a grande; pg = plana e gradual; pd = plana e difusa; ao = ondulada e abrupta; ic = irregular e clara; pa = plana e abrupta; pc = plana e clara; oc = ondulada e clara; ig = irregular e gradual; og = ondulada e gradual..

O horizonte Cr se encontra na profundidade de 55 e 65 cm no P2 e P3 e nas profundidades de 98 e 72 cm, nos perfis P1 e P4 respectivamente. A diferença de profundidade do horizonte Cr nos perfis avaliados pode está relacionado com a posição dos perfis no relevo e a textura, predominantemente, arenosa, ou seja, os perfis que se encontram em maiores altitudes e com teor de areia, em todos os horizontes, variando de 77 a 83%, como os perfis P1 e P4 (Quadro 2), apresentam uma maior infiltração de água. O horizonte 2Cr apresenta massa de solo misturado a fragmentos da rocha, sendo a massa maciça e porosa com a cor cinzento-oliváceo.

Quanto à composição granulométrica da TFSA de todos os horizontes, observou-se um predomínio da fração areia, com os teores variando de 383 a 836 g kg⁻¹ (Quadro 3). O predomínio da fração areia, principalmente, nos três primeiros horizontes é característico dos P1 e P4 e do P3 (Oliveira et al., 2008; Santos et al., 2012). A maior quantidade de areia dos horizontes superficiais, associado à descontinuidade litológica entre os horizontes superficiais e 2Bt, com camada arenosa mais permeável recobrando material do cristalino, no Planossolo, favorece a infiltração de água no perfil, formando um horizonte B textural *in situ* e não apenas, pelo processo de eluviação/iluviação ou remoção preferencial de argila dos horizontes superficiais (Mota et al., 2008; Oliveira et al., 2008; 2009). Esse processo é diferente da formação dos Neossolos Regolíticos da região sisaleira, no qual a camada sedimentar é mais argilosa e compacta, o que dificulta a percolação de água para camadas inferiores. A distinção entre estas duas classes de solo tem sérias implicações no manejo do solo e na produtividade das culturas. Ambos os solos são constituídos, predominantemente pela fração areia e os baixos teores de carbono orgânico conferem baixa capacidade de troca de cátions a esses solos, o que favorece uma forte lixiviação dos nutrientes durante as estações chuvosas (Santos et al., 2012). Somado a isso, nos Planossolos, a presença do horizonte B textural especial (B plânico), dificulta a infiltração de água no perfil do solo, favorecendo a remoção do horizonte superficial mais rico em nutrientes, deixando exposto um horizonte subsuperficial mais endurecido.

Quadro 3. Atributos físicos de solos cultivados com sisal no semiárido baiano

Perfil	Horizonte	Cascalho	TFSA	Areia Total	Silte	Argila	Classe Textural	Silte/Argila
Neossolo Regolítico Eutrófico léptico–RRe								
P1	A	-	1000	826	22	152	Franco-arenosa	0,14
	AC	-	1000	832	17	151	Franco-arenosa	0,11
	C1	-	1000	821	29	150	Franco-arenosa	0,19
	C2	-	1000	810	15	175	Franco-arenosa	0,08
	C3	900	100	836	14	150	Franco-arenosa	0,09
	2Cr	900	100	42	6	52	Argila	0,10
Cambissolo Háptico Ta Eutrófico vertissólico–CXve								
P2	A	-	1000	421	77	502	Argila	0,15
	AB	-	1000	383	115	502	Argila	0,23
	Biv	-	1000	384	114	502	Argila	0,22
	BC	700	300	154	26	120	Argilo-arenosa	0,21
	Cr	-	1000	781	44	175	Franco-arenosa	0,25
Planossolo Háptico Eutrófico típico –SXe								
P3	A	-	1000	822	28	150	Franco-arenosa	0,18
	AE	-	1000	792	32	176	Franco-arenosa	0,18
	E	-	1000	793	32	175	Franco-arenosa	0,18
	2Bt	-	1000	576	22	402	Argilo-arenosa	0,05
	2Cr	-	1000	-	-	-	-	-
Neossolo Regolítico Eutrófico léptico - RRe								
P4	A	-	1000	794	56	150	Franco-arenosa	0,37
	C1	500	500	400	26	74	Franco-arenosa	0,34
	C2	700	300	233	22	75	Franco-arenosa	0,48
	2Cr	900	100	79	4	17	Franco-arenosa	0,22
Cambissolo Háptico Ta Eutrófico vertissólico - CXve								
P5	A	-	1000	565	134	301	Franco-argilo-arenosa	0,44
	Bi1	-	1000	468	131	401	Argilo-arenosa	0,32
	Bi2	-	1000	559	90	351	Argilo-arenosa	0,25
	BC	-	1000	569	30	401	Argilo-arenosa	0,07

Os perfis analisados, com exceção do P5, apresentaram frações maiores que 2 mm na massa de solo dos horizontes subsuperficiais.

A fração silte apresentou os menores teores entre todos os perfis avaliados, em relação às demais frações. Os teores variaram de 4 a 115 g kg⁻¹ e podem ser explicados pela composição arenosa dos sedimentos que recobriam o cristalino. Esses valores estão condizentes com os encontrados para solos desenvolvidos de rochas cristalinas em regiões semiáridas (Souza et al., 2010; Santos et al., 2012).

Os teores de argila variaram de 50 a 502 g kg⁻¹, os maiores valores foram encontrados em P2 e P5. A ausência de B textural expressivo em P2 e P5 é explicada pelo grau de intemperização a que estes solos estão submetidos. Por se tratar de solos jovens, os fatores, principalmente baixa precipitação e processos de formação não atuaram de modo a provocar mudanças perceptíveis, principalmente na diferenciação textural em profundidade (Mota et al., 2008). Para Santos et al. (2012), teores de argila variando de 350 a 500 g kg⁻¹, em todo o perfil, não são condizentes com a classe dos Planossolos e Neossolos Regolíticos, reforçando o indicativo da presença de uma variedade maior de classes de solos encontradas para a região sisaleira.

Atributos químicos

Com relação ao pH (Quadro 4), os solos apresentaram reação ácido (5,4 a 6,5); neutro (6,6 a 7,3) e alcalino (7,4 a 8,3) (Embrapa, 2006b). Tendo em vista que as áreas são cultivadas de forma extrativista, sem aplicação de corretivos e fertilizantes, supõe-se que essa diferença no pH seja resultante de pequenas variações na composição do material de origem ou motivadas pela posição no relevo, a qual influencia nos processos de perdas e aportes de materiais na superfície (Souza et al., 2010). Os valores de ΔpH foram negativos, indicando predominância de cargas negativas na superfície dos colóides. Todos os solos avaliados apresentaram teores baixos ou nenhum teor de Al³⁺, e porcentagem de saturação por bases entre 71 a 99,6%. A elevada saturação por bases, associada à ausência de alumínio trocável, contribuem para manutenção de valores de pH próximo a 6,5 (Oliveira et al., 2009).

Quadro 4. Atributos químicos de solos cultivados com sisal no semiárido brasileiro.

P	Hz	pH		Δ pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	SB	Al^{3+}	H + Al	CTC	V	P	COT
		H ₂ O	KCl												
Neossolo Regolítico Eutrófico léptico - RRe															
P1	A	6,0	5,3	-0,7	1,3	0,4	0,39	0,01	2,11	0,0	3,4	5,51	38,0	5,0	5,8
	AC	5,9	5,4	-0,5	1,1	0,4	0,34	0,01	1,84	0,0	0,2	2,04	90,0	2,0	2,3
	C1	6,4	5,7	-0,7	1,2	0,3	0,27	0,01	1,77	0,0	0,2	1,97	90,0	2,0	1,7
	C2	6,5	5,8	-0,7	0,9	0,3	0,23	0,02	1,44	0,0	0,6	2,04	71,0	2,0	1,2
	C3	6,7	5,9	-0,8	0,8	0,3	0,20	0,03	1,33	0,0	0,2	1,53	87,0	2,0	1,2
	2Cr	7,0	5,7	-1,3	6,0	11	0,16	1,12	18,2	0,0	0,4	18,6	98,0	4,0	1,7
Cambissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico – Cxve															
P2	A	6,1	4,2	-1,9	18,1	9,0	0,19	0,17	27,5	0,0	0,1	27,7	99,0	42	13,9
	AB	6,2	4,2	-2,0	14,1	10,0	0,16	0,22	24,5	0,0	0,7	25,3	97,0	40	7,5
	Biv	8,0	6,5	-1,5	18,9	7,0	0,13	0,30	24,3	0,0	1,4	25,7	95,0	14	4,1
	BC	6,8	5,0	-1,8	16,5	10,0	0,19	0,50	27,1	0,0	1,0	28,1	96,5	10	6,0
	Cr	7,7	7,0	-0,7	11,0	6,3	0,12	0,26	17,7	0,0	0,8	18,4	95,8	13	4,0
Planossolo Háplico Eutrófico típico – Sxe															
P3	A	6,4	4,2	-2,2	1,0	0,3	0,29	0,03	1,63	0,0	0,1	1,83	89,0	4,0	5,8
	AE	8,1	3,6	-4,5	0,8	0,2	0,17	0,02	1,2	0,0	0,1	1,4	86,0	2,0	2,9
	E	6,7	3,9	-2,8	0,7	0,4	0,13	0,05	1,28	0,0	0,1	1,8	86,0	2,0	1,2
	2Bt	7,8	5,0	-2,8	4,2	6,0	0,04	0,65	10,9	0,0	0,2	11,1	98,0	4,0	1,7
	2Cr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Neossolo Regolítico Eutrófico léptico – Rre															
P4	A	6,4	4,3	-2,1	3,0	0,7	0,25	0,06	4,06	0,0	0,5	4,63	87,5	17	3,5
	C1	5,9	4,4	-1,5	3,3	1,1	0,15	0,10	4,69	0,0	1,1	5,88	79,7	15	2,9
	C2	6,1	4,4	-1,7	2,5	1,1	0,10	0,09	3,80	0,0	0,9	4,85	78,4	14	2,3
	2Cr	6,2	4,4	-1,8	2,4	1,3	0,09	0,10	3,82	0,0	0,1	4,15	92,1	9,0	1,6
Cambissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico – Cxve															
P5	A	6,0	4,7	-1,3	12,6	10,0	0,35	0,39	23,3	0,0	2,0	25,6	91,2	103	12,2
	Bi1	7,0	5,4	-1,6	18,1	14,5	0,34	1,72	34,7	0,0	0,8	35,4	97,9	68	4,6
	Bi2	7,5	6,0	-1,5	14,8	14,5	0,33	2,45	32,1	0,0	0,1	32,2	99,6	88	2,3
	BC	7,6	6,7	-0,9	13,2	12,7	0,28	2,49	28,6	0,0	0,3	28,9	99,0	95	4,0

P = perfil; Hz. = horizonte; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca catiônica; V = saturação por bases; P = fósforo disponível

O Ca^{2+} e Mg^{2+} foram os cátions predominantes no complexo sortivo, principalmente em P2 e P5, cujos valores chegaram a 18,9 $\text{cmol}_c \text{ dm}^3$, para o Ca^{2+} e 14,5 $\text{cmol}_c \text{ dm}^3$, para o Mg^{2+} . Esses resultados contribuiriam notadamente para os altos valores de saturação por bases (V%), determinando a característica eutrófica

($V > 50\%$) para quase todos os perfis avaliados, com exceção do P1, horizonte A (Quadro 4). Vale ressaltar que, para os solos originados do cristalino, no caso P2 e P5, os teores dos elementos são mais altos. Marques et al. (2008), encontraram resultados semelhantes para Cambissolos Háplicos com características semelhantes aos deste estudo, e considerada as áreas como sendo as melhores para aproveitamento agrícola. Por outro lado, Souza et al. (2010) encontraram valores para Ca^{2+} entre 2,8 a 0,5 $\text{cmol}_c \text{ dm}^3$ de solo, também em Cambissolo Háplico, porém com argila de atividade baixa, e, em alguns casos, os valores de Mg^{2+} foram superiores aos encontrados para o Ca^{2+} .

Os valores de saturação por base desses solos, entretanto, podem levar a interpretação errônea sobre a fertilidade dos mesmos e o uso da terra. Os altos valores de V é mais função da ausência ou altos teores de cátions básicos. Por exemplo, solos com teores de Ca e Mg menores do que 2,0 $\text{cmol}_c \text{ dm}^3$ são considerados baixos e maiores que 4 alto (Comissão Estadual de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999). Baseado nesses valores, o cultivo no P1 e P4 devem resultar em produtividades distintas já que a maioria das cultura requerem uma concentração de $\text{Ca} + \text{Mg} > 2,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^3$ para seu desenvolvimento. O P3 também apresenta baixos teores de Ca e Mg. O problema se deve ao fato do valor V ser dado pela relação entre a SB e a CTC potencial, ou seja, quando ambos são baixos o valor V fica elevado dando uma falsa impressão de tratar de solos com alta fertilidade. Fósforo é outro elemento que apresenta valores divergentes entre os Neossolos. De acordo com Comissão Estadual de Fertilidade do Solo do estado de Minas Gerais (1999) os P1 e P3 apresentam muito baixa concentração de P ($P < 10 \text{ mg dm}^3$) enquanto o P4 apresenta baixa concentração de P ($10,1 < P < 20 \text{ mg dm}^3$) e os P2 e P5 média a altas concentrações (Quadro 4).

Nos horizontes diagnósticos de P2 e P5 os altos valores da atividade de argila permitiram classificá-los como atividade de argila alta (Ta). Já os solos formados pelo material sedimentar, no caso P1, P3 e P4, a atividade de argila é baixa (Tb). A atividade de argila alta influencia em uma maior retenção de água e nutrientes para as plantas. É responsável, em parte, pela coesão e adesão das partículas do solo, refletidas pela consistência e com grande importância para o manejo do solo.

Os teores de sódio no P5 foram mais elevados entre os solos estudados, entretanto, a porcentagem de saturação por sódio variou de 2 a 9% (Quadro 4) na seção de controle que define a classe, horizonte Bi2, caracterizando o caráter solódico deste solo, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013).

Os teores de carbono orgânico são baixos, mesmo quando se considera os horizontes superficiais, que segundo Embrapa (2006a) seriam classificados como A fraco. Este fato foi observado em P1, P3 e P4, caracteristicamente mais arenosos (Oliveira et al., 2009). Os maiores valores foram observados nos horizontes superficiais dos P2 e P5. Os teores chegaram a 13,9 e 12,2 g kg⁻¹, respectivamente no horizonte A, sendo estes classificados como A moderado. Resultados semelhantes são encontrados nos relatórios do Levantamento Exploratório de Solos do Nordeste, com valor médio de 12,3 g kg⁻¹ de carbono para os Cambissolos (Jacomine et al., 1971; 1972; 1973; 1975; 1977). Esse fato pode estar relacionado à maior quantidade nos teores de argila observados em P2 e P5, contribuindo para adsorver os compostos orgânicos a superfície deste mineral; a maior proteção física a matéria orgânica, dada pelas condições estruturais dos solos e; também pelo relevo, que determina o regime hídrico do solo e influencia na distribuição da serapilheira na superfície do solo (Salcedo & Sampaio, 2008). Em P1, P3 e P4, além da baixa contribuição de material vegetal, a constituição essencialmente arenosa destes solos também contribuem para os baixos valores de carbono orgânico (Souza et al., 2010; Santos et al., 2012).

No que se refere às condições de fertilidade, de acordo com a Comissão Estadual de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (1999), o P1 e P3 apresentam teores baixos e médios de fósforo, cálcio e magnésio trocáveis. Estes resultados são consistentes com os apresentados por Silveira et al. (2006), que estudaram a distribuição de fósforo em sete diferentes ordens de solos no semiárido da Paraíba e Pernambuco e concluíram que, Neossolos Regolíticos e Planossolos apresentaram valores mais baixos, justificando a afirmativa que o fósforo é limitante em grande parte da região semiárida nordestina. Por outro lado, o P4 que detem a mesma classificação do P1 apresenta, segundo a Comissão Estadual de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (1999), valores mais elevados de Ca, Mg e P,

sendo classificado como bom e baixo, respectivamente. Este fato, possivelmente, pode estar relacionado à composição do material originário que foi recoberto pelos sedimentos arenosos. A análise desses parâmetros demonstra que os dois solos estudados (P1 e P3) apresentam baixo potencial agrícola, e que, na mesma região solos com classificação semelhante, P4, apresenta fertilidade distinta, quimicamente P2 e P5 também são distintos, o que pode indicar que tais solos são originários de rochas diferentes, reforçando ainda mais a importância de estudos que visem ampliar o conhecimento sobre as diferentes classes de solos existentes na região semiárida, chamando à atenção de produtores e dos órgãos governamentais com relação ao seu uso e manejo, visando aumentar a produtividade da cultura do sisal e manter a sustentabilidade do sistema agrícola e do ecossistema como um todo.

Os resultados dos elementos pelo ataque sulfúrico indicam que os valores da relação Ki estão entre 1,73 e 5,60 e os da relação Kr entre 1,48 e 4,06, para todas as classes e perfis avaliados (Quadro 5). Os altos valores de Ki e Kr sugerem baixo grau de pedogênese, com exceção do Planossolo que apresentou os menores valores para o horizonte AE. Esses baixos valores de Ki e Kr, no horizonte AE dos Planossolos, parecem ser decorrentes da natureza do material de origem sedimentar. O maior valor do óxido de alumínio (Al_2O_3) em relação ao óxido de ferro (Fe_2O_3) indica o predomínio para as formas de alumínio em todos os perfis estudados. Para Pereira et al. (2010), esse fato reforça a presença da illita na fração argila dos solos, pela presença das micas dioctaedrais em detrimento das micas trioctaedrais. No presente estudo este fato pôde ser notado nos horizontes C2 e Bi do P1 e P2, respectivamente.

Quadro 5. Teores de óxidos e índices Ki e Kr determinados pelo ataque sulfúrico de horizontes selecionados de solos cultivados com sisal no semiárido baiano.

Perfil	H _z	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	Ki	Kr	
		%							
P1	C3	3,90	1,84	0,39	0,11	0,01	3,60	3,17	
	2Cr	23,1	12,6	3,12	0,50	0,01	3,12	2,69	
P2	Bi	19,3	8,00	6,69	0,86	0,09	4,10	2,67	
	BC	16,4	6,78	5,35	5,52	0,04	4,11	2,73	

P3	AE	2,70	2,65	0,7	0,15	0,01	1,73	1,48
	E	2,80	1,84	0,58	0,13	0,01	2,59	2,15
	2Bt	12,9	8,21	1,94	0,38	0,01	2,67	2,32
P4	C1	7,00	3,47	0,93	2,04	0,01	3,43	2,93
	C2	8,30	2,96	0,81	2,11	0,01	4,77	4,06
P5	Bi1	16,5	5,51	4,52	6,03	0,06	5,09	3,34
	Bi2	14,8	4,49	3,71	5,27	0,05	5,60	3,67
	BC	13,9	5,81	3,67	6,16	0,05	4,07	2,90

Hz = horizonte; Ki = $(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3) \times 1,7$; Kr = $(\text{SiO}_2 \times 1,7)/(\text{Al}_2\text{O}_3 + (0,64 \times \text{Fe}_2\text{O}_3))$.

Nos solos onde se observou, morfológicamente, haver descontinuidade de material, a diferença nos teores dos elementos (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 e TiO_2) presentes nos sedimentos, P1 horizonte C3 e P3 horizontes superficiais (AE e E), são bastante inferiores aos encontrados para os teores destes mesmos elementos presentes no cristalino, P1 horizonte 2Cr e P3 horizonte 2Bt, confirmando a presença de descontinuidade litológica nestes solos. No único perfil de Planossolo, descrito pelo RadamBrasil para a região sisaleira também foi encontrado descontinuidade litológica de material.

A mineralogia da fração argila observada é mais complexa e composta de uma variedade de minerais, com predomínio da caulinita e bayerita. Além destes, também foram encontrados: goethita, hematita, ilita, hematita/goethita, pirofillita e goethita/hematita em todos os perfis estudados, tanto no sedimento, horizontes P1 C2 e P4 C1, como no cristalino, horizontes P1 2Cr, P2 Bi, P3 2Cr e P5 Bi (Figuras 2a, 2b, 2c 2d e 2e).

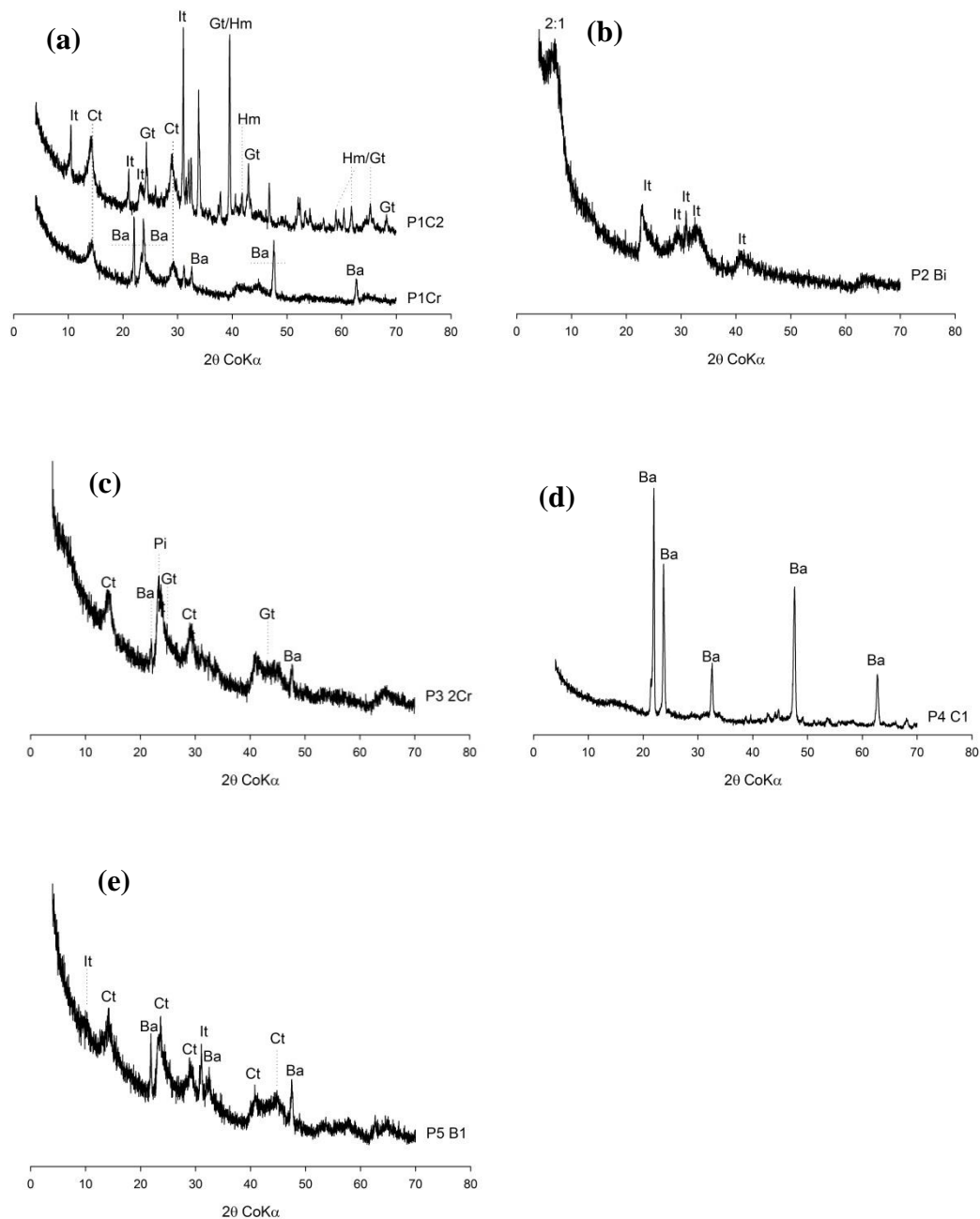


Figura 2 – Difratogramas de raio x da fração argila dos perfis P1 (C2 e Cr), P2 (Bi), P3 (2Cr), P4 (C1) e P5 (B1). Ct = Caulinita; Gt = Goethita; Hm = Hematita; It = Ilita; Hm/Gt = Hematita/Goethita; Gt/Hm = Goethita/Hematita; Ba = Bayerita e Pi = Pirofilita.

A presença de minerais como a ilita assumem grande importância para solos de regiões semiáridas, que são mais arenosos e possuem baixa capacidade para reter cátions. A ilita aliada à presença de minerais facilmente intemperizados, principalmente nas frações mais finas, favorecem a sorção de ânions e outros

materiais, tornando-os importante fonte de reserva mineral no solo (Costa & Bigham, 2009; Santos et al., 2012). Essa pode ser uma explicação para a classificação do caráter eutrófico no grande grupo de todos os perfis estudados.

A ocorrência da pirofilita na fração argila de solos tropicais pode está relacionada às características do material de origem e ao incipiente grau de desenvolvimento do solo (Santos et al., 2012).

Vale salientar, também, a presença da bayerita, com exceção do P2Bi, em todos os difratogramas da fração argila. A bayerita é um hidróxido de alumínio (β -Al(OH)₃) constituído pela mesma estrutura fundamental da gibbsita e nordstrandita (Kämpf et al., 2009). Na bayerita, o empacotamento é mais denso, pois os íons OH de uma lâmina situa-se nas lâminas subsequentes (Kämpf et al., 2009). É um mineral raro de ser encontrado no ambiente e sua identificação ocorre ocasionalmente em materiais calcários (Kämpf et al., 2009).

Reportando-se ao quadro 3, observa-se os baixos teores da fração argila na maioria dos horizontes do P1 e P3 dos solos estudados, a caracterização mineralógica da fração argila permitiu observar um importante processo de monossilização nos perfis formados por sedimentos, indicado pela constituição caulínica, e bissialitização em P2 e P5, perfis formados pela intemperização incipiente do cristalino, indicado pela constituição da ilita, a presença destes diferentes processos de formação reforçam a hipótese da existência de classes de solos distintas daquelas presentes nos levantamentos exploratórios de solos da região sisaleira, encontrados no RadamBrasil, CPRM e Embrapa solos, unidade Recife.

Classificação dos solos

O P1 e P4 foram identificados como um Neossolo, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2013). No nível de subordem, foi classificado como Neossolo Regolítico, ou seja, solo pouco evoluído e sem qualquer tipo de horizonte B diagnóstico, com horizonte A sobrejacente ao C ou Cr e contato lítico a uma profundidade superior a 50 cm. Quanto ao grande grupo, o P1 foi classificado como Eutrófico, solos com saturação por bases maior ou igual a 50%

(Quadro 4). Já no nível de subgrupo, o perfil foi identificado como léptico, por apresentar contato lítico entre 50 e 100 cm da superfície do solo (Embrapa, 2013).

O P2 e P5 foram identificados no primeiro nível categórico como um Cambissolo, da subordem Háptico. Para o grande grupo e subgrupo, o perfil foi classificado como Ta Eutrófico vertissólico.

O P3 foi classificado como Planossolo, da subordem Háptico. Nos níveis de grande grupo e subgrupo, foi classificado como Eutrófico típico.

CONCLUSÕES

A maioria das classes de solos avaliadas são formadas por descontinuidade litológica de material.

Os principais processos envolvidos na formação de tais classes de solos são: a cumulização, agradação e lessivagem.

Os solos foram classificados, até o quarto nível categórico, como: Neossolo Regolítico Eutrófico léptico (RRe); Planossolo Háptico Eutrófico típico (SXe) e Cambissolo Háptico Ta Eutrófico vertissólico (CXve).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e a CAPES pelas bolsas de estudos fornecidas. Aos funcionários da Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola (EBDA) pelo apoio na escolha e identificação das áreas. Ao produtor Dermival pela acolhida e disponibilidade para uso de sua propriedade.

LITERATURA CITADA

- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretária-Geral. Projeto RADAMBRASIL. Folhas SC. 24/25 Aracajú/Recife; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1983, 856 p.
- CHEN, P.Y. Table of key-lines in X-ray power diffraction patterns of minerals in clay and associated rocks. Bloomington, Department of Natural Resources, 1977. 67p. (Geological survey occasional paper, 21).
- COELHO, M. R.; FIDALGO, E. C. C.; ARAÚJO, F. O.; SANTOS, H. G.; SANTOS, M. L. M.; PÉREZ, D. V.; MOREIRA, F. M. S. Levantamento pedológico de uma Área-Piloto relacionada ao projeto BiosBrasil (Conservation and sustainable management of below-ground biodiversity: phase I), município de Benjamin Constant (AM): Janela 6. Embrapa Solos (Boletim de pesquisa e desenvolvimento) ISSN 1678-0892, 68, 2005.
- COMISSÃO ESTADUAL DE FERTILIDADE DO SOLO. Manual de adubação e calagem para o estado da Bahia. 2 ed. Salvador, 1989. 176p.
- COSTA, A.C.S.; BIGHAM, J.M. Óxidos de ferro. In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. (Eds) Química e Mineralogia do Solo, Parte I. Viçosa, SBCS, 2009. P. 506-520.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA SOLOS. Recife, 2006a. Disponível em: www.uep.cnps.embrapa.br/solos/index.html: Acesso em: 06 de maio de 2013.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2 ed. Rio de Janeiro, 2006b. 306p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3 ed. Rio de Janeiro, 2013. 353p.

EMPRESA BRASILEIRADE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análises de solos. 2. ed. Revisada. Rio de Janeiro, 2011.

HUS, P.H. Aluminium oxides and oxyhydroxides. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B., eds. Minerals in soil environments. 2.ed. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p.331-378.

JACOMINE, P.K.T. Solos sob caatinga – características e uso agrícola. In: ALVAREZ, V.H.; FONTES, L.E.F. & FONTES, M.P.F. (Eds) O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e desenvolvimento sustentado. Viçosa-Mg: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996, p. 95-111.

JACOMINE, P.T.K.; ALMEIDA, J.C. & MEDEIROS, L.A.R. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Ceará. Recife, (DNPEA/DPP. Boletim Técnico, 28-SUDENE/DRN. Série Pedologia, 16), 1973. 301p.

JACOMINE, P.T.K.; RIBEIRO, M.R. & MONTENEGRO, J.O. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado Da Paraíba. II-Interpretação da aptidão agrícola do solos do Estado da Paraíba, (EPE/EPFS. Boletim Técnico, 15-SUDENE/DRN. Série Pedologia, 8), Rio de Janeiro, 1972. 683p.

JACOMINE, P.T.K.; SILVA, F.B.R.; FORMIGA, R.A.; ALMEIDA, J.C.; BELTRÃO, V.C.; PESSOA, S.C.P. & FERREIRA, R.C. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Rio Grande do Norte. Recife, (DNPEA/DPP. Boletim Técnico, 21-SUDENE/DRN. Série Pedologia, 9), 1971. 531p.

JACOMINE, P.T.K.;CAVALCANTI, A.C.; PESSOA, S.C.P. & SILVEIRA, C.O. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado de Alagoas. Recife, (EMBRAPA/PPP. Boletim Técnico, 35-SUDENE/DRN. Série Recursos de Solos, 5), Recife, 1975. 532p.

JACOMINE, P.T.K.;CAVALCANTI, A.C.; SILVA, F.B.R.; MONTENEGRO, J.O.; FORMIGA, R.A.; BURGOS, N. & MELO FILHO, H.F.R. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos da margem direita do rio São Francisco, Estado da Bahia. v.I. (EMBRAPA/SNLCS. Boletim Técnico, 52-SUDENE/DRN. Série Recursos de Solos, 10), Recife, 1977. 372p.

JORDANOVA, N.; JORDANOVA, D. & PETROV, P. Magnetic imprints of pedogenesis in Planosols and stagnic Alisol from Bulgaria, *Geoderma*, 160:477-489, 2011.

KÄMPF, N.; CURI, N.; MARQUES, J.J. Óxidos de alumínio, silício, manganês e titânio. In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. (Eds) *Química e Mineralogia do Solo, Parte I*. Viçosa, SBCS, 2009. P. 574-599.

MARQUES, F. A.; RIBEIRO, M. R.; BITTAR, S. M. B.; LIMA NETO, J. A.; LIMA, J. F. W. F. Caracterização e classificação de Cambissolos do Arquipélago de Fernando de Noronha, Pernambuco. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1023-1034, 2008.

MELO, ROBERTO CAMPÊLO. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. – PLGB. Serrinha – Folha SC.24-Y-D. Estado da Bahia. Escala 1:250.000./ Organizado por Roberto Campêlo de Melo [e] Luíz Henrique Monteiro Pereira – Brasília : CPRM/DIEDIG/DEPAT, 2001.

MOTA, J.C.A.; ASSIS JÚNIOR, R.N.; AMARO FILHO, J. & LIBARDI, P.L. Algumas propriedades físicas e hídricas de três solos na Chapada do Apodi, RN, cultivados com melão. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:49-58, 2008.

OLIVEIRA, J.B. *Pedologia Aplicada*. 3. ed. Piracicaba, FEALQ, 2008a. 592p.

OLIVEIRA, L.B.; FONTES, M.P.F.; RIBEIRO, M.R. & KER, J.C. Micromorfologia e gênese de Luvisolos e Planossolos desenvolvidos de rochas metamórficas no semiárido. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:2407-2423, 2008b.

- OLIVEIRA, L.B.; FONTES, M.P.F.; RIBEIRO, M.R. & KER, J.C. Morfologia e classificação de Luvisolos e Planossolos desenvolvidos de rochas metamórficas no semiárido do nordeste brasileiro, R. Bras. Ci. Solo, 33:1333-1345, 2009.
- PARAHYBA, R.B.V.; SANTOS, M.C.; ROLIM NETO, F.C. & JACOMINE, P.K.T. Pedogênese de Planossolos em topossequência do Agreste pernambucano, R. Bras. Ci. Solo, 34:1991-2000, 2010.
- PEDRON, F.A.; SAMUEL-ROSA, A. & DALMOLIN, R.S.D. Variação das características pedológicas e classificação taxonômica de Argissolos derivados de rochas sedimentares, R. Bras. Ci. Solo, 36:1-9, 2012.
- PEREIRA, T.T.C.; KER, J.C.; SCHAEFER, E.G.R.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L.; ALMEIDA, C. C. Gênese de Latossolos e Cambissolos desenvolvidos de rochas pelíticas do Grupo Bambuí – Minas Gerais. . R. Bras. Ci. Solo, 3:1283-1295, 2010.
- SALCEDO, I.H. & SAMPAIO, V.S.B. Matéria orgânica do solo no Bioma Caatinga. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A.O. (Eds) Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo, Ecossistemas Tropicais e Subtropicais. Porto Alegre, Gênese, 2008.p. 419-441.
- SANTOS , R.D.; LEMOS , R.C.; SANTOS , H.G.; KER, J.C. ANJOS, L.H.C. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 5.ed. Viçosa, MG Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100p.
- SANTOS, J.C.B.; SOUZA JÚNIOR, V.S.; CORRÊA, M.M.; RIBEIRO, M.R.; ALMEIDA, M.C. & BORGES L.E.P. Caracterização de Neossolos Regolíticos da região semiárida do Estado de Pernambuco. R. Bras. Ci. Solo, 36:683-695, 2012.

SEI. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. Disponível em:
<http://www.sei.ba.gov.br/side/frame_tabela.wsp?tm_volta=sg46&tmp.tabela=t106>.
Acesso em: 22 abr. 2014.

SILVEIRA, M. M. L.; ARAÚJO, M. S. B.; SAMPAIO, E. V. S. B. Ordens de solo do semi-árido da Paraíba e de Pernambuco. R. Bras. Ci. Solo, 30:281-291, 2006.

SOUZA, R.V.C.C.; RIBEIRO, M.R.; SOUZA JÚNIOR, V.S.; CORRÊA, M.M.; ALMEIDA, M.C.; CAMPOS, M.C.C.; RIBEIRO FILHO, M.R. & SHULZE, S.B.B. Caracterização de solos em um topoclimossequência no maciço de Triunfo – Sertão de Pernambuco. R. Bras. Ci. Solo, 34:1259-1270, 2010.

CAPÍTULO 2

VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM NEOSSOLO REGOLÍTICO CULTIVADO COM SISAL NO SEMIÁRIDO BAIANO¹

¹Artigo a ser ajustado e submetido ao Comitê Editorial do periódico Revista Brasileira de Ciência do Solo.

Variabilidade espacial dos atributos químicos de um Neossolo Regolítico cultivado com sisal no semiárido baiano

RESUMO: O objetivo do presente estudo foi caracterizar a variabilidade espacial e a alteração dos atributos químicos de um Neossolo Regolítico Eutrófico léptico cultivado com sisal no semiárido baiano. A propriedade onde o estudo foi realizado localiza-se no município de Valente, BA e produz sisal. Em uma área de 2,5 hectares foi amostrado solo em 85 pontos, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, nas seguintes áreas: Vegetação de Caatinga (CA), uma área cultivada com sisal no sistema tradicional (SCT) e uma área cultivada com sisal no sistema de cultivo alternativo (SCA). Foram mensurados os atributos químicos e mineralógicos do solo. Realizou-se análise descritiva e geoestatística para caracterizar as amostras e identificar a dependência espacial dos atributos estudados. Para o COT, pH, SB, H+Al, Ca e T foi possível estabelecer uma estrutura de dependência espacial definida por um semivariograma ajustado aos modelos esférico e exponencial. Foram encontrados dependência de moderada a forte, com valores de alcance de 24,4 a 84,7 m. O Cálcio foi o nutriente que apresentou o maior alcance demonstrando maior continuidade espacial. O sistema de cultivo alternativo apresentou os maiores teores de nutrientes do solo nas profundidades de 0 a 20 e 20-40 cm, sendo uma alternativa viável para melhoria da qualidade química do solo em ambiente semiárido.

Palavras-chave: Cultivo alternativo, Cultivo tradicional, Caatinga, Geoestatística.

ABSTRACT: The aim of this study was to characterize the spatial variability and changing the chemical properties of a Typic Regolithic Eutrophic Inceptisol cultivated with sisal in Bahia. The property where the study was conducted is located in the municipality of Valente, BA and produces sisal. In an area of 2.5 hectares was soil sampled at 85 points, at 0-20 and 20-40 cm in the following areas: Caatinga vegetation (CA), an area planted with sisal in the traditional system (TCS) and an area planted with sisal on the alternative crop system (ACS). Chemical and mineralogical soil properties were measured. A descriptive and geostatistical analysis

to characterize the samples and identify the spatial dependence of the studied attributes. For TOC, pH, SB, H + Al, Ca and T was possible to establish a spatial dependence structure defined by a set semivariogram to spherical and exponential models. Dependence of moderate found strong, with a range of values from 24.4 to 84.7 m. Calcium was the nutrient that showed the longest range demonstrating greater spatial continuity. The alternative cropping system showed the highest levels of soil nutrients in the depths 0-20 and 20-40 cm, and a viable alternative to improve the chemical quality of the soil in semi-arid environment.

Keywords: Alternative farming, traditional farming, Caatinga, Geostatistics.

INTRODUÇÃO

O sisal, (*Agave sisalana* Perrine), é uma cultura originária da península de Yucatan, no México, que se adaptou bem as regiões semiáridas do Nordeste brasileiro onde é cultivado em largas extensões (Dias et al., 2012). O Nordeste é a única região brasileira produtora de sisal e o Estado da Bahia responde por cerca de 94% da produção nacional do produto (Conab, 2008). Atualmente existem aproximadamente 288.860 ha de sisal plantados, distribuídos em 74 municípios (Conab, 2008; Sindifibras, 2012) garantindo a sobrevivência de cerca de 700.000 pessoas.

Os Estados Unidos (45%) e China (22%) são os principais importadores da produção brasileira (Secex, 2012). Atualmente, cerca de 80% de todo o sisal produzido no Brasil é exportado. No período correspondente a safra 2008/2009 foram exportados 78,6 mil toneladas de fibra de sisal, o que gerou uma receita de 88,6 milhões de dólares. Nos últimos anos os produtores vêm sofrendo com queda considerável de produção da cultura, que pode estar atrelada ao esgotamento e a variabilidade dos recursos naturais. Principalmente, do recurso solo.

A região sisaleira abrange áreas com relevo variável, o que propicia a existência de um grande número de paisagens, um dos fatores responsáveis para a formação de diferentes classes de solo (Salcedo e Sampaio, 2008). Os solos da região semiárida, de modo geral, são pouco evoluídos e pouco profundos, com

presença de minerais facilmente alteráveis nas frações grosseiras (Santos et al., 2012).

O solo apresenta variação espacial e temporal de seus atributos nas três dimensões, resultante da interação dos fatores responsáveis por sua formação (Montezano et al., 2006; Cavalcante et al., 2007). A variabilidade espacial dos atributos do solo é influenciada por fatores de formação do solo: material de origem, relevo, clima, organismos e tempo, fatores intrínsecos (Cambardella et al., 1994); e por insumos utilizados nas práticas de uso e manejo do solo: adubação, calagem, gessagem, dentre outros, fatores extrínsecos (Cavalcante et al., 2003). O cultivo do solo com diferentes espécies vegetais constitui uma fonte adicional de heterogeneidade (Carvalho et al., 2003). Mesmo em áreas com pedogênese uniformes, ou seja, com a mesma superfície geomorfológica, material de origem e clima, podem existir variação espacial das propriedades do solo (Vieira et al., 2009).

Técnicas geoestatísticas, como a Krigagem, têm sido utilizadas com sucesso nos últimos 20 anos para descrever e prever a variabilidade espacial de atributos específicos do solo e integrar essas informações por meio de interpolação espacial (Elbasiouny et al., 2014).

O conhecimento sobre a variabilidade espacial e temporal dos atributos do solo é uma ferramenta básica para se estabelecer sistemas de amostragem e manejo eficiente da agricultura de precisão independente da escala da área (Grego e Vieira, 2005; Vieira et al., 2009). O conhecimento da variabilidade espacial possibilita a definição de áreas com manejo diferenciado e, aumenta a eficiência no uso de fertilizantes (Vieira et al., 2009; Elbasiouny et al., 2014).

O presente estudo objetivou caracterizar a variabilidade espacial e a alteração dos atributos químicos de um Neossolo Regolítico Eutrófico léptico cultivado com sisal no semiárido baiano.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e caracterização da área de estudo

O estudo foi conduzido de agosto de 2012 a dezembro de 2013 no município de Valente, o qual situa-se entre as coordenadas geográficas $-11^{\circ}24'44''$ S, $39^{\circ}27'43''$ W e a 358 m de altitude. O clima da área é semiárido, com pluviosidade média anual entre 500 a 800 mm. Novembro e dezembro são os meses mais chuvosos e a temperatura média anual varia entre 20,7 e 26,8°C.

Os Planossolos e os Neossolos Regolíticos, Quartzarênicos e Litólitos são as classes de solos predominantes na região (Sei, 2014). O solo da área experimental apresenta sequência de horizontes A-C1-C2 e 2Cr, com mais de 100 cm de profundidade, textura arenosa em todos os horizontes, pH variando de 5,9 a 6,4, cálcio na faixa de 2,4 a 3,3 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, magnésio entre 0,7 e 1,3 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, potássio entre 0,09 e 0,25 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e carbono orgânico entre 1,6 e 3,5 g kg^{-1} foi classificado como Neossolo Regolítico Eutrófico léptico, de acordo com critérios proposto por Embrapa (2013).

Para compor os tratamentos foram selecionadas uma área com a vegetação de Caatinga, uma área cultivada com sisal no sistema tradicional (aração e gradagem e implantação da cultura) e uma área cultivada com sisal no sistema de cultivo alternativo, no sítio algodões, município de Valente (Figura 3). Essas áreas serão doravante denominadas CA, SCT e SCA, respectivamente.

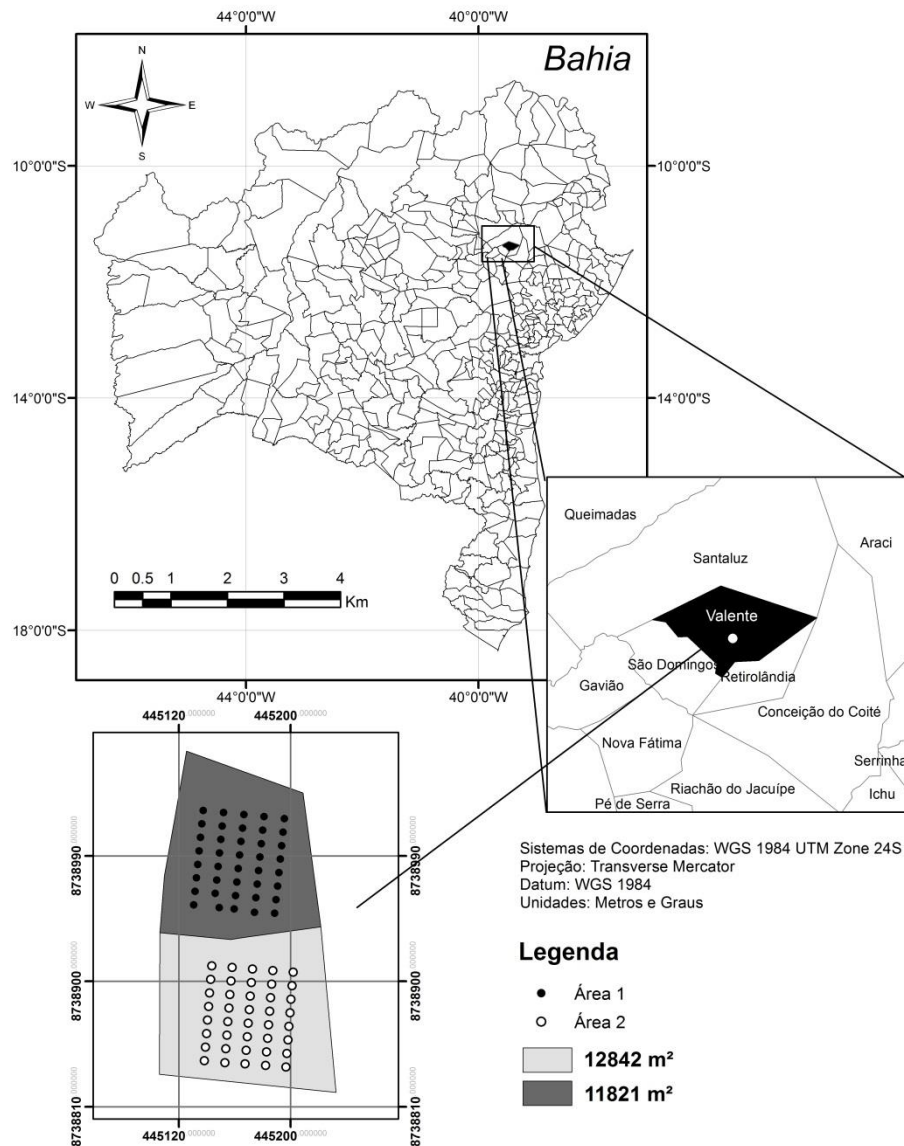


Figura 3 – Mapa de localização e grade amostral de áreas cultivadas com sisal no sítio Algodões, Valente, Bahia.

A caatinga preservada (CA) utilizada no estudo tem uma área de um hectare.

A área cultivada com sisal no sistema tradicional (SCT) possui 1,3 hectares. A área foi arada, gradeada, deixada em pousio por três meses, capinada e cultivada com milho e feijão durante um ano. Após esse processo foi implantado a cultura do sisal. A área não recebeu nenhum tipo de adubação mineral ou orgânica.

A área cultivada com sisal no sistema alternativo (SCA) teve 1,2 hectares. Na implantação da cultura do sisal, a caatinga foi raleada para uma densidade de 150

árvores na área e o cultivo do sisal ocorreu nas entrelinhas das árvores. A área não recebeu nenhum tipo de adubação mineral ou orgânica, a não ser aquela depositada pelas árvores nativas. Além do sisal, as principais espécies que predominam na área são: *Chiconia sp*, *Annona crassiflora*, *Mimosa tenuiflora*, *Amburana cearenses*, *Syagrus coronata*, comumente chamadas de: quina quina, araticum, jurema umburana e licuri, respectivamente.

Georreferenciamento da área

Os limites das áreas de estudo foram determinados por caminhamento e com auxílio do sistema de posicionamento global (GPS). Os pontos georreferenciados no sistema UTM, Datum WGS 84, com precisão sub métrica (GPS – Geodésico/Leica L1 e L2). Os pontos foram pós-processados no software topcontools com o auxílio da Rede Brasileira de Monitoramento (RBMC) base Salvador.

Amostragem e procedimentos analíticos

As áreas experimentais SCT e SCA foram divididas em grades amostrais de 75 x 80 m (6.000 m²). Em cada grade foram coletados 40 pontos de amostragem de solo, com espaçamento entre eles de 15 x 10 m, em duas profundidades (0-20 e 20-40 cm) totalizando 80 amostras por área (Figura 3). Na área CA, por se tratar de ambiente homogêneo, foram coletados cinco pontos para cada profundidade, totalizando 170 amostras nas três áreas do estudo. As amostras de solos foram secas ao ar e passadas em peneiras com malha de 2 mm de diâmetro.

Em cada amostra determinou-se o carbono orgânico total do solo (COT) via úmida através da oxidação do carbono orgânico com dicromato de potássio em meio ácido, com fonte externa de calor e posterior titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,2 mol L⁻¹ (Yeomans & Bremner, 1988). O fósforo, sódio e potássio foram extraídos com a solução Mehlich⁻¹. O teor de fósforo no extrato foi determinado por colorimetria, o de potássio e o de sódio por fotometria de chama. O cálcio, magnésio e o alumínio foram extraídos com a solução de KCl 1 mol L⁻¹. Após extração, cálcio e magnésio foram determinados pelo método complexométrico com o emprego de

EDTA. O alumínio foi determinado pelo método volumétrico com posterior titulação com hidróxido de sódio. O pH foi determinado potenciométricamente em uma mistura solo: água, na proporção 1:2,5 (v/v), todos utilizando metodologia compilada pela Embrapa (2008). Baseado nos resultados analíticos calculou-se a capacidade de troca de cátions (CTC), soma de bases (SB), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%).

Análise estatística

A análise do padrão de distribuição de frequência dos dados foi utilizada para detecção de valores anômalos, organização e resumos dos dados utilizando o pacote estatístico computacional Sisvar (Ferreira, 2011). O teste de normalidade Shapiro-Wilk, medida de distribuição (assimetria e curtose) e as medidas de localização (média), medidas de dispersão (desvio padrão, variância e coeficiente de variação) foram inicialmente utilizados.

Para comparação de médias entre os tratamentos, utilizou-se o delineamento experimental em blocos ao acaso. Os tratamentos foram constituídos de três áreas. Os dados dos atributos químicos do solo foram submetidos à análise de variância (ANOVA), para verificação do efeito dos diferentes sistemas de cultivo. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade utilizando o software ASSISTAT Versão 7.6 beta (2011) (Silva e Azevedo, 2009).

Geoestatística

O padrão da dependência espacial das propriedades químicas do solo foram determinadas utilizando técnicas de modelagem geoestatística, através do software GS+ (Roberston, 1998). Esta etapa compreende o cálculo dos semivariogramas experimentais e a validação cruzada (Jackknife) dos modelos ajustados. A validação cruzada permitiu verificar se as hipóteses de estacionaridade estavam corretas e se o modelo ajustado foi adequado, além de determinar qual vizinhança ideal para realizar estimativas. Foram ajustados os modelos experimentais como: o esférico, exponencial e gaussiano.

O grau de dependência espacial (GD) foi calculado pela equação $GD = (C_1/(C_0+C_1)) \cdot 100$ e classificado, segundo Zimback (2001), da seguinte forma: $GD < 25\%$ Fraca; $25 \leq GD < 75\%$ Moderada e $GD \geq 75\%$ Forte.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estatística descritiva

Na área SCT, profundidade 0-20 cm, os atributos pH, COT, Ca^{2+} , Mg^{2+} , SB e V% apresentaram distribuição normal, segundo o teste de Shapiro-Wilk (Quadro 6). Na área SCA, apenas o COT e o Mg^{2+} apresentaram o mesmo comportamento. Já na área CA, o pH, COT, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , H+Al, T e SB, também, apresentaram distribuição normal (Quadro 6). A normalidade dos dados não é exigência da geoestatística, mas é conveniente apenas que, no gráfico de distribuição normal, o atributo não apresente extremidades de distribuição muito alongadas, o que poderia indicar a presença de dados discrepantes, “outliers”, podendo comprometer a análise (Cressie, 1991). O Fósforo e o potássio foram os únicos nutrientes que não apresentaram distribuição normal em nenhuma das áreas, mas ainda assim obtiveram assimetria positiva. Para Schlotzhauer e Littell (1997), a ocorrência de valores de assimetria positivos nos atributos que não seguem distribuição normal é indicativo da maior frequência de valores menores que a média e poucos valores maiores que ela. Assim, ocorrem no campo alguns locais com menores teores de nutrientes e outro com maiores.

Quadro 6 - Estatística descritiva dos atributos químicos na camada de 0-20 cm de Neossolo Regolítico Eutrófico léptico sob vegetação natural de Caatinga, sisal cultivado no sistema tradicional (SCT) e sisal cultivado no sistema alternativo (SCA), em Valente, Bahia, Brasil.

Atributos	Áreas	Média	DP	Curtose	CV (%)	Variância	d	Assimetria
pH	SCT	5,86a	0,43	0,61	7,37	0,19	0,95 N	0,75
	SCA	5,87a	0,53	-0,29	9,01	0,28	0,94	0,70
	CA	5,64a	0,17	3,28	2,95	0,03	0,79 N	1,74
COT (g kg ⁻¹)	SCT	2,80c	0,88	0,45	31,34	0,77	0,98 N	0,48

	SCA	4,97b	1,90	1,61	38,23	3,61	0,95 N	0,76
	CA	8,81a	3,32	0,80	37,69	11,04	0,95 N	0,84
P (mg dm⁻³)	SCT	0,24b	0,13	5,19	53,26	0,02	0,75	2,01
	SCA	0,35b	0,24	6,09	68,03	0,06	0,78	2,13
	CA	1,16a	1,06	3,83	91,35	1,12	0,76	1,93
	SCT	1,73b	0,34	0,15	19,75	0,12	0,97 N	0,51
Ca²⁺ (cmolc dm⁻³)	SCA	1,87b	0,60	12,41	31,95	0,36	0,76	2,83
	CA	2,12a	1,04	2,95	59,13	1,08	0,83 N	-1,69
	SCT	0,55b	0,22	-0,05	40,70	0,09	0,95 N	0,57
Mg²⁺ (cmolc dm⁻³)	SCA	0,73b	0,35	-0,18	47,23	0,12	0,97 N	0,27
	CA	1,20a	0,51	-1,22	42,49	0,26	0,89 N	0,32
	SCT	0,06b	0,08	7,19	136,34	0,01	0,62	2,92
A³⁺I (cmolc dm⁻³)	SCA	0,13a	0,13	-1,34	95,56	0,02	0,83	0,55
	CA	0,06b	0,04	-0,61	69,72	0,00	0,88 N	-0,51
	SCT	1,58b	0,84	12,80	53,52	0,71	0,76	2,85
H+Al (cmolc dm⁻³)	SCA	2,28b	0,81	0,46	35,47	0,65	0,94	0,78
	CA	2,87a	0,74	3,29	25,89	0,55	0,83 N	1,59
	SCT	0,10a	0,03	14,20	24,40	0,00	0,32	-3,46
Na⁺ (cmolc dm⁻³)	SCA	0,10a	0,05	3,31	52,35	0,00	0,70	0,08
	CA	0,07b	0,07	-2,55	95,15	0,00	0,84 N	-0,22
	SCT	0,16b	0,05	0,39	29,25	0,00	0,94	0,49
K⁺ (cmolc dm⁻³)	SCA	0,20b	0,12	5,74	57,59	0,01	0,69	2,33
	CA	0,46a	0,27	4,38	58,62	0,07	0,73	2,04
	SCT	4,13c	0,92	8,28	22,33	0,85	0,83	2,15
T (cmolc dm⁻³)	SCA	5,19b	1,08	0,61	20,88	1,18	0,89	1,12
	CA	6,76a	1,19	1,81	17,60	1,42	0,90 N	1,20
	SCT	2,55c	0,38	0,37	15,01	0,15	0,96 N	0,34
SB (cmolc dm⁻³)	SCA	2,92b	0,80	4,94	27,55	0,65	0,89	1,59
	CA	3,89a	0,65	0,96	16,60	0,42	0,91 N	-1,09
	SCT	63,34a	10,74	1,34	16,96	115,36	0,97 N	-0,49
V (%)	SCA	56,45b	10,84	-0,41	19,20	117,49	0,98	0,18
	CA	57,74b	5,74	-0,73	9,94	32,95	0,91	0,53
	SCT	3,83ab	4,26	1,06	111,37	18,15	0,81	1,33
m (%)	SCA	5,46a	5,07	-0,78	92,94	25,76	0,88	0,70
	CA	2,53b	1,22	4,11	48,17	1,48	0,70	2,02

DP = Desvio Padrão; CV = Coeficiente de Variação; d = Normalidade dos dados; pH = Potencial Hidrogeniônico; P = Fósforo; K⁺ = Potássio; Ca²⁺ = Cálcio; Mg²⁺ = Magnésio; Na⁺ = Sódio; Al³⁺ = Alumínio; H + Al = Acidez potencial; SB: soma de Bases; T: Capacidade de Troca Catiônica; V: Saturação por Bases; m: Saturação por Alumínio; COT: Carbono Orgânico Total. Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p<0,05).

Quanto a dispersão relativa dos dados, fornecidas pelos valores dos coeficientes de variação (CV%), os atributos que apresentaram os valores de CV% altos (Warrick e Nielsen, 1980) foram fósforo na área SCA e o alumínio nas três áreas (Quadro 6). Valores altos de CV% podem ser considerados como os primeiros indicativos de existência de heterogeneidade nos dados (Frogbrook et al., 2002). As variações encontradas para o fósforo concordam com os resultados encontrados por diversos autores (Machado et al., 2007; Montezano et al., 2009; Flora, 2013). Já as

variações encontradas para o alumínio podem ser atribuídas ao fato que a maioria dos pontos amostrados apresentou valores iguais a zero.

Na profundidade de 20-40 cm, o Mg^{2+} e o V% apresentaram distribuição normal nas três áreas (Quadro 7).

Quadro 7 - Estatística descritiva dos atributos químicos na camada de 20-40 cm de Neossolo Regolítico Eutrófico léptico sob vegetação natural de Caatinga, sisal cultivado no sistema tradicional (SCT) e sisal cultivado no sistema alternativo (SCA), em Valente, Bahia, Brasil.

Atributos	Áreas	Média	DP	Curtose	CV (%)	Variância	d	Assimetria
pH	SCT	5,94a	0,49	0,66	8,40	0,25	0,95 N	0,75
	SCA	5,65a	0,41	-0,94	7,36	0,17	0,90	0,60
	CA	5,99a	0,31	2,72	5,32	0,09	0,86 N	-1,53
COT (g kg ⁻¹)	SCT	2,80c	0,87	0,45	31,32	0,77	0,98 N	0,48
	SCA	4,96a	1,19	1,61	38,21	3,60	0,95	0,76
	CA	4,13b	1,33	-0,46	32,22	1,77	0,88 N	0,98
P (mg dm ⁻³)	SCT	0,23b	0,12	5,18	53,26	0,01	0,74	2,01
	SCA	0,34b	0,23	6,08	68,03	0,05	0,78	2,12
	CA	0,64a	0,93	4,95	0,98	0,86	0,58	2,22
Ca (cmolc dm ⁻³)	SCT	1,72b	0,34	0,14	19,74	0,11	0,97 N	0,51
	SCA	1,87ab	0,59	12,41	31,95	0,35	0,75	2,83
	CA	2,02a	0,47	1,99	23,58	0,22	0,88	1,41
Mg (cmolc dm ⁻³)	SCT	0,54b	0,22	-0,04	40,70	0,05	0,95 N	0,56
	SCA	0,73a	0,34	-0,17	47,22	0,12	0,97 N	0,27
	CA	0,72a	0,32	-0,66	45,43	0,10	0,92 N	0,84
Al (cmolc dm ⁻³)	SCT	0,06b	0,08	7,19	136,34	0,00	0,62	2,61
	SCA	0,13a	0,12	-1,34	95,55	0,02	0,83	0,55
	CA	0,03b	0,04	0,31	149,07	0,00	0,77	1,25
H+Al (cmolc dm ⁻³)	SCT	1,58b	0,84	12,79	53,41	0,71	0,75	2,84
	SCA	2,28a	0,80	0,44	35,41	0,65	0,94	0,78
	CA	1,45b	0,31	-0,01	21,93	0,10	0,97 N	-0,58
Na (cmolc dm ⁻³)	SCT	0,10b	0,02	14,20	24,40	0,00	0,32	-3,46
	SCA	0,12a	0,03	20,10	26,61	0,00	0,37	4,15
	CA	0,11ab	0,00	-3,33	4,80	0,00	0,68	0,60
K (cmolc dm ⁻³)	SCT	0,16b	0,04	0,10	30,05	0,00	0,94	0,49
	SCA	0,20b	0,11	5,66	57,52	0,01	0,69	2,32
	CA	0,28a	0,09	-1,57	32,24	0,00	0,89 N	-0,19
T (cmolc dm ⁻³)	SCT	4,12b	0,92	8,29	22,34	0,85	0,82	2,15
	SCA	5,19a	1,08	0,60	20,88	1,17	0,88	1,11
	CA	4,58b	1,11	-0,11	24,37	1,24	0,85	1,12
SB (cmolc dm ⁻³)	SCT	2,58b	0,38	0,36	14,99	0,14	0,96	0,34
	SCA	2,91a	0,80	4,94	27,51	0,64	0,89	1,58
	CA	3,13a	0,86	0,56	27,56	0,74	0,87	1,19
V (%)	SCT	63,34a	10,74	1,33	16,95	115,36	0,97 N	-0,48
	SCA	56,44b	10,83	-0,40	19,20	117,49	0,97 N	0,17
	CA	68,03a	4,50	0,44	6,62	20,33	0,95 N	-0,72

m (%)	SCT	3,82ab	4,26	1,06	111,34	18,51	0,81	1,33
	SCA	5,46a	5,07	-0,77	92,94	25,75	0,88	0,69
	CA	2,19b	3,34	1,10	152,87	11,21	0,76	1,41

DP = Desvio Padrão; CV = Coeficiente de Variação; d = Normalidade dos dados; pH = Potencial Hidrogeniônico; P = Fósforo; K⁺ = Potássio; Ca²⁺ = Cálcio; Mg²⁺ = Magnésio; Na⁺ = Sódio; Al³⁺ = Alumínio; H + Al = Acidez Total; SB: soma de Bases; T: Capacidade de Troca Catiônica; V: Saturação por Bases; m: Saturação por Alumínio; COT: Carbono Orgânico Total. Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p<0,05).

Comparando os teores dos elementos nas três diferentes áreas, observa-se que o COT, P, Ca²⁺, Mg²⁺ e o K⁺ apresentaram valores crescentes de distribuição, na seguinte ordem: os menores valores na área SCT, valores medianos na área SCA e maiores valores na área CA. Estes resultados foram observados, para o P, Ca²⁺ e o K⁺, nas duas profundidade avaliadas, com os menores valores na profundidade de 20 - 40 cm (Quadros 6 e 7). Na área CA ocorre um equilíbrio na entrada e saída de nutrientes. As árvores deixam o solo menos expostos as chuvas, que carregam solo e nutrientes, e a incidência de raios solares, que acelera o processo de decomposição do material orgânico. Algo semelhante, porém em menor intensidade, ocorre na área SCA. O raleamento da caatinga, e manutenção de aproximadamente 150 árvores por hectare, com posterior plantio da cultura do sisal, proporciona um aporte maior de material orgânico. A área SCT é desprovida de árvores, ficando mais exposta as intempéries, e talvez por isso apresentasse quantidade inferiores de nutrientes, em comparação as outras áreas de estudo.

Para Artur et al. (2014), em áreas com vegetação nativa há maior integração entre a cobertura vegetal e os atributos do solo, uma vez que ocorre decomposição contínua do material orgânico, associado à menores perdas. Este fato confirma os resultados obtidos neste estudo, podendo ser esta uma alternativa de uso para melhoria da qualidade química do solo de regiões semiáridas.

Vale ressaltar que na área SCA, em subsuperfície o COT apresentou teores superiores aos encontrados para a área CA, diferindo desta estatisticamente (p < 0,05). Este fato pode ter relação com a maior quantidade de aporte de resíduos orgânicos que acontece na área SCA, já que, os Neossolos Regolíticos caracteristicamente pobres em quantidades de argila, não favorecem a retenção de cátions do solo pela presença de cargas elétricas (Suzuki et al., 2014). Na ausência de elevadas quantidades de argila, o aporte contínuo de resíduo orgânico passa a ser o fator responsável por elevar os teores de matéria orgânica do solo. Assim, o

carbono orgânico desempenha papel fundamental na geração de cargas, aumentando a capacidade de troca catiônica do solo.

Os teores de COT diminuíram com o aumento da profundidade, com exceção da área SCT onde os teores permaneceram constantes (Quadros 6 e 7). A diminuição nos teores de COT em profundidade é típico de situação sob vegetação nativa e de áreas onde não há revolvimento do solo, pois o aporte de resíduos na superfície do solo promove a decomposição lenta e gradual, a qual garante a constante incorporação de material orgânico ao solo (Fracetto et al., 2012; Gelaw et al., 2014). Por outro lado, estudos demonstram que o preparo do solo pode alterar a distribuição de COT no solo em profundidade, pela incorporação de material orgânico em profundidade (Chen et al., 2009; Gelaw et al., 2013). Os maiores e significativos teores ($p < 0,05$) foram observados na área CA, seguido da área SCA. Os menores teores ($p < 0,05$), nas duas profundidades, foram observados na área SCT (Quadros 6 e 7). Este fato se explica porque, em situações sob vegetação de caatinga, o teor de COT pode ser elevado, porém não complexado às frações minerais do solo (intra-agregados), tornando-se constantemente dependente do aporte de resíduos para sua manutenção, uma vez que durante o período de estiagem haveria aumento no teor do elemento no solo, enquanto no período com chuvas, com a atividade da microbiota ocorreria a decomposição desse resíduo e a mineralização do COT (Fracetto et al., 2012).

Dessa forma, seriam justificáveis os baixos teores de COT na área SCT. Isso se explica, pois, conforme mencionado anteriormente, na área SCT não há reposição dos resíduos vegetais do sisal e de nenhuma outra fonte de resíduo, como ocorrem na área SCA e na área CA. Essa explicação reforça a importância de se buscar sistemas de cultivo alternativos com o objetivo de manter, ou até mesmo elevar os teores de COT em ambientes adversos como a região semiárida.

Santos et al. (2012) estudando a caracterização de cinco perfis de Neossolos Regolíticos Eutróficos, em áreas de caatinga preservada no semiárido Pernambucano encontraram valores para o COT, nos horizontes superficiais, de 6 a 14 g kg^{-1} , resultados semelhantes aos encontrados para este estudo. Considerando e tomando como comparativo os resultados obtidos por Santos et al. (2012), nota-se que o sistema de cultivo alternativo, avaliado neste estudo, mantém um maior

equilíbrio no aporte de carbono orgânico ao solo, quando comparado a área de cultivo tradicional, e com valores de COT maior que alguns perfis sob área de caatinga preservada, como constatado nos estudos de Santos et al. (2012).

Na profundidade de 20-40 cm houve um decréscimo nos teores dos elementos na área CA. Em SCA e SCT os valores dos elementos permaneceram constantes (Quadro 7). O decréscimo nos teores de nutrientes em profundidade é atribuído, principalmente, a menor quantidade de material orgânico em subsuperfície. Resultados semelhantes foram constatados por Bayer e Mielniczuk (1997); Souza e Alves (2003) e Cavalcante et al. (2007), todos estes autores atribuíram esse decréscimo ao não revolvimento do solo, que favorece o acúmulo de nutrientes na superfície.

Dependência espacial

Na profundidade de 0-20 cm os atributos pH, Ca^{2+} , COT, H+Al, SB e CTC apresentaram dependência espacial. Os demais atributos apresentaram efeito pepita puro (Quadro 8). A ocorrência de efeito pepita puro para os demais atributos em áreas cultivadas com sisal, indica que o espaçamento utilizado durante o processo de coleta dos dados não foi suficiente para detectar a dependência espacial entre amostras destes atributos (Vieira et al., 2011). Os ajustes foram dados aos modelos esféricos e exponencial (Figura 4). A escolha do modelo esférico para a maioria dos atributos coincide com o trabalho de Bertolani e Vieira (2001), que descrevem este modelo como sendo o que mais se ajusta aos atributos relacionados ao solo e planta.

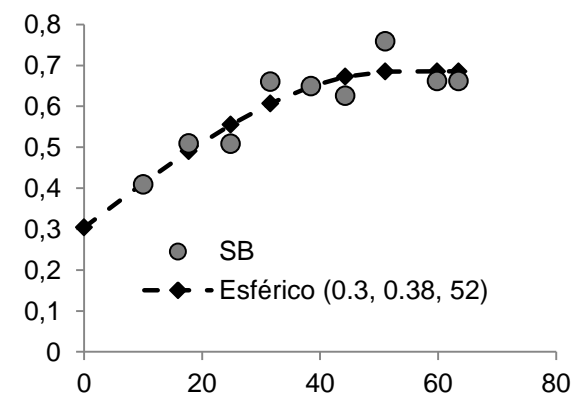
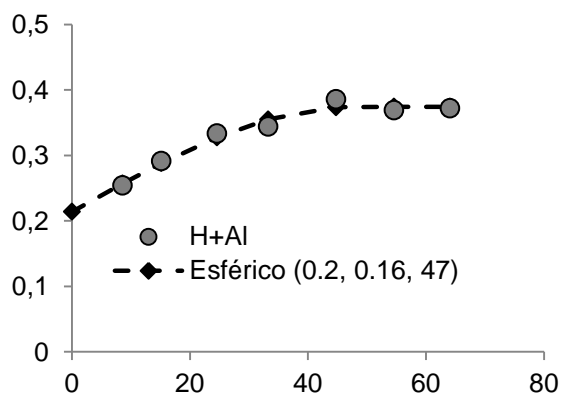
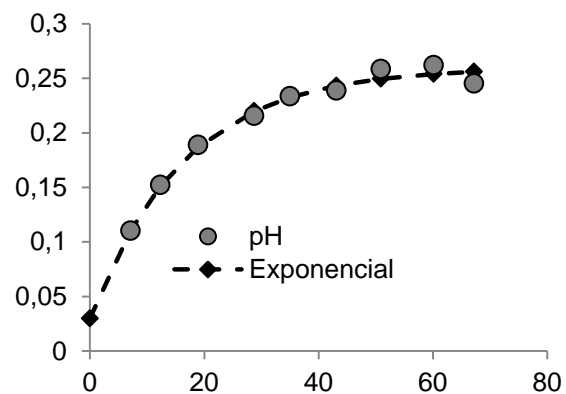
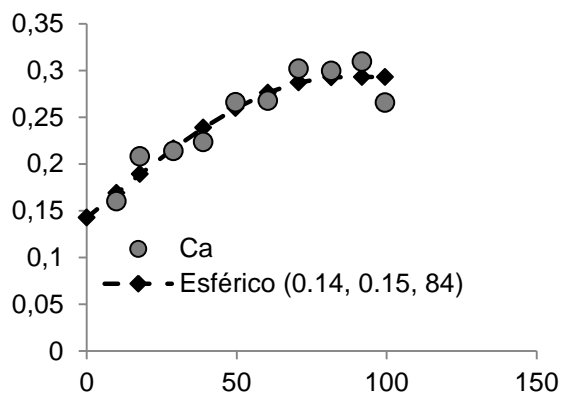
Quadro 8 – Modelos dos semivariogramas dos atributos químicos na camada de 0-20 cm de Neossolo Regolítico Eutrófico léptico em áreas de cultivo de sisal, em Valente, Bahia, Brasil.

Variável	Modelo	C_0	C_1	$C_0 + C_1$	a	r^2	GD	Classe
pH	Exponencial	0,02	0,22	0,24	49,28	0,98	91	Forte
COT (g kg^{-1})	Esférico	0,00	0,66	0,66	24,40	0,99	100	Forte
P (mg dm^{-3})	Efeito pepita puro							
Ca (cmolc dm^{-3})	Esférico	0,14	0,15	0,29	84,79	0,90	51	Moderada
Mg (cmolc dm^{-3})	Efeito pepita puro							
Al (cmolc dm^{-3})	Efeito pepita puro							

H+Al (cmolc dm⁻³)	Esférico	0,21	0,16	0,37	47,39	0,97	43	Moderada
Na (cmolc dm⁻³)	Efeito pepita puro							
K (cmolc dm⁻³)	Efeito pepita puro							
T (cmolc dm⁻³)	Esférico	0,30	0,38	0,68	52,38	0,84	55	Moderada
SB (cmolc dm⁻³)	Esférico	0,32	0,45	0,87	50,02	0,87	51	Moderada
V (%)	Efeito pepita puro							
m (%)	Efeito pepita puro							

pH = Potencial Hidrogeniônico; P = Fósforo; K⁺ = Potássio; Ca²⁺ = Cálcio; Mg²⁺ = Magnésio; Na⁺ = Sódio; Al³⁺ = Alumínio; H + Al = Acidez Total; SB: soma de Bases; T: Capacidade de Troca Catiônica; V: Saturação por Bases; m: Saturação por Alumínio; COT: Carbono Orgânico Total; Prof= Profundidade; C₀ = Efeito pepita puro; C₁ = Contribuição estrutural; C₀ + C₁ = Efeito Patamar; a = Alcance (m); GD= Grau de dependência espacial.

Para Kamimura et al. (2013), o modelo esférico evidencia uma estrutura de correlação espacial crescente com a distância até certo ponto (alcance), a partir do qual a semivariância torna-se constante, restringindo-se a área de influência amostral, ajustaram-se a este modelo o Ca²⁺, COT, SB, H+Al e T. O pH se ajustou ao modelo exponencial, que é similar ao esférico, diferindo deste por convergir gradualmente para o patamar sem alcançá-lo efetivamente (comportamento assintótico) (Kamimura et al., 2013).



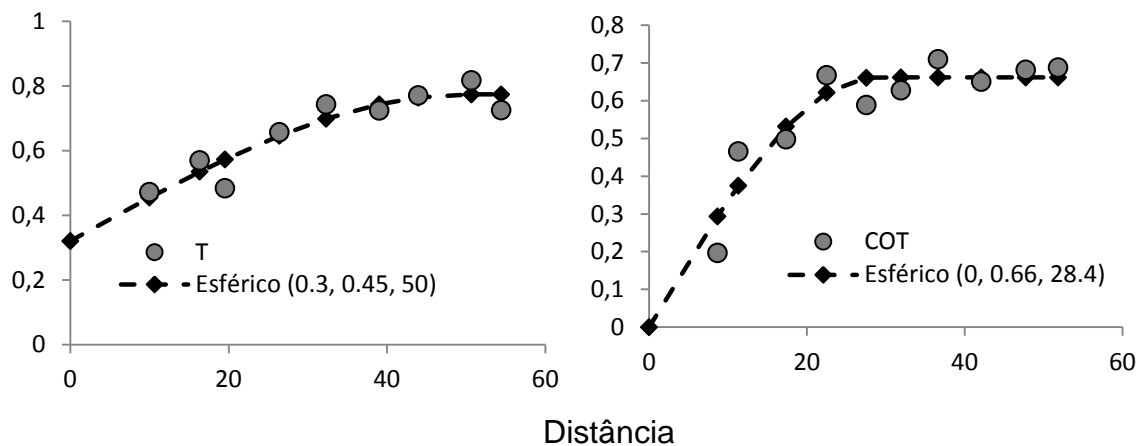


Figura 4 – Semivariogramas para os atributos pH, Ca, H+Al, SB, T e COT, na profundidade de 0-20 cm, em Neossolo Regolítico Eutrófico léptico, cultivado com sisal no sítio Algodões, Valente, Bahia.

O alcance variou de 24,4 a 84,7 m e entre todos os atributos químicos do solo que apresentaram dependência espacial, o maior alcance foi observado para o Ca^{2+} . Isso demonstra que este elemento é o que apresenta maior continuidade espacial (Bottega et al., 2013). Outros autores fazem relação do maior alcance com a mobilidade do nutriente no solo e sugerem que as bases trocáveis e o pH tem maior mobilidade, quando comparado com o P, por exemplo; e que, em geral, elementos menos móveis após o aporte pela fertilização ou corretivo agrícola tem menor alcance (Souza et al., 2006; Burak et al., 2012).

Neste estudo, a maioria dos atributos do solo apresentaram grau de dependência de moderado a forte. Estes resultados também estão de acordo com Artur et al. (2014); Alvares et al. (2011) e Vieira et al. (2009), que também observaram forte dependência espacial entre os atributos químicos do solo. Segundo Kravchenko (2003), variogramas com estrutura de dependência de moderada a forte geram mapas de krigagem mais precisos que aqueles gerados com fraca dependência espacial. Este fato se deve à menor contribuição do componente aleatório na variabilidade dos dados.

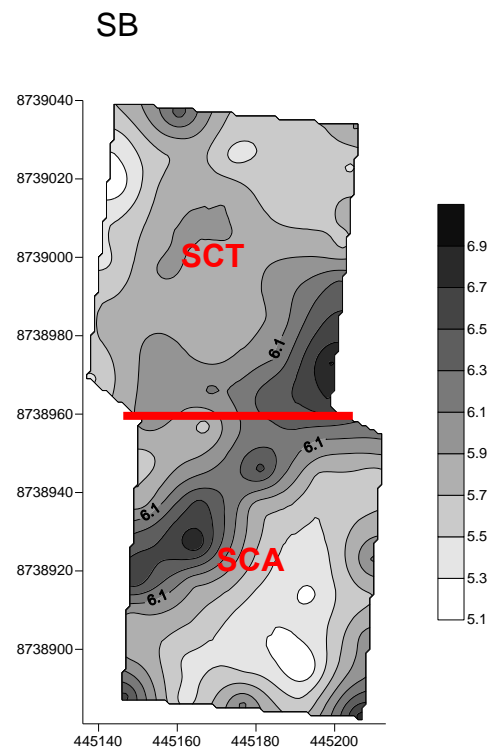
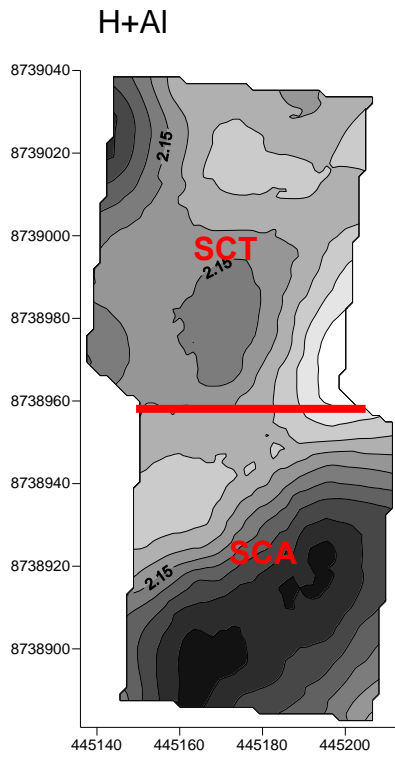
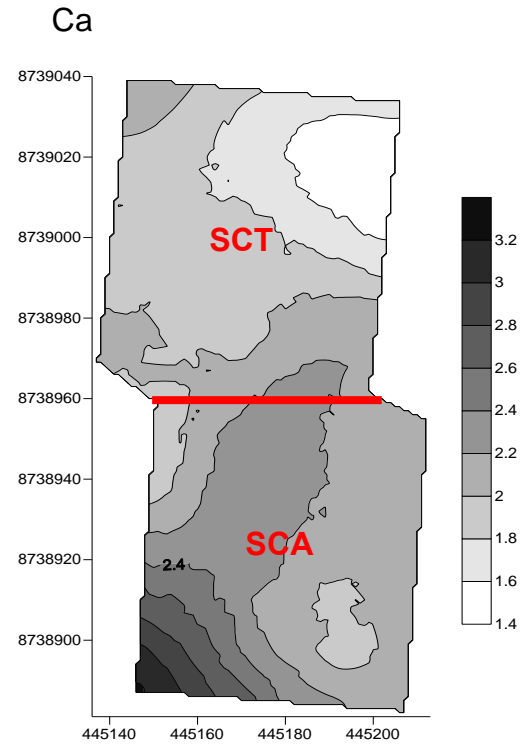
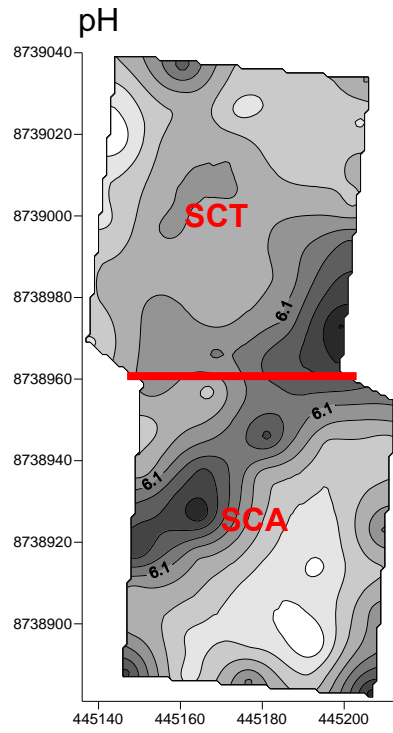
A variabilidade espacial dos atributos do solo pode ser influenciada pelos fatores de formação, e pelos fatores extrínsecos, normalmente compreendidos pelas práticas de manejo do solo (Carvalho et al., 2003). No presente estudo os fatores

extrínsecos podem ser os responsáveis pela forte dependência espacial dos atributos químicos do solo.

Distribuição espacial dos elementos

Os mapas de pH, Ca, H+Al, SB, T e COT, para as áreas SCT e SCA, estão apresentados na Figura 5, com os valores agrupados em dez classes e em ordem decrescente. O pH variou de 5,1 a 6,9 e as menores faixas de valores (5,1 a 5,5) foram encontradas na área SCA. Este fato pode ter ligação direta com os teores de COT e também com as concentrações da acidez potencial (H+Al), que foram maiores na área SCA, valores opostos aos comparados com o pH para a mesma área. No solo, diversos compostos orgânicos, apresentam grande afinidade e capacidade de formar complexos estáveis com o alumínio (solúveis e insolúveis) diminuindo sua atividade na solução do solo (Simas et al., 2005; Mendonça et al., 2006). Portanto, é provável que a maior concentração do H+Al encontrado na área SCA tenha maior participação do cátion H^+ , ocasionando, também, uma diminuição nos valores de pH do solo. Outra relação observada nos mapas de isolinhas foi entre o pH e a SB, que apresentaram mapas de distribuição espacial semelhantes. Essa semelhança na ordem de grandeza se explica por que a retenção de cátions básicos aumenta os valores de pH, promovendo a precipitação do Al^{3+} em hidróxido de alumínio, criando um ambiente adequado para o crescimento e desenvolvimento das culturas (Burak et al., 2012).

O elemento cálcio apresentou valores que variaram de 1,4 a 3,2 $cmo_c dm^{-3}$ e as maiores faixas de valores (2 a 3,2 $cmo_c dm^{-3}$) foram encontradas na área SCA, o que também pode ser observado para o valor T.



T

COT

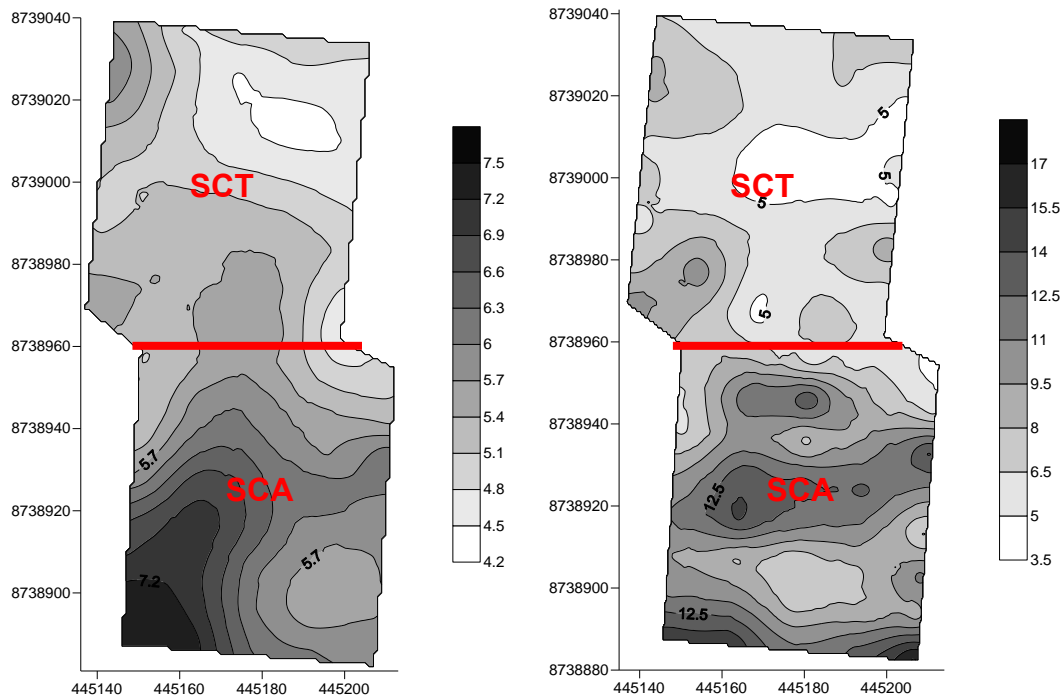


Figura 5 – Distribuição espacial dos atributos químicos, na profundidade de 0-20 cm, em Neossolo Regolítico Eutrófico léptico, cultivado com sisal no sítio Algodões, Valente, Bahia.

Para o carbono orgânico total os mapas de distribuição permitiram visualizar uma região com os maiores valores encontrados que se localiza na parte inferior da área de estudo, justamente o local que representa a área SCA. No geral, predominam valores intermediários de 10,9 a 12,5 g kg⁻¹ de COT. Na parte superior do mapa, que representa a área SCT observa-se uma região de cor branca, com valores de 4 g kg⁻¹ de COT. O fato de a área SCT ser desprovida de árvores pode ter acarretado a morte de plantas de sisal, pelo desequilíbrio na entrada e saída de nutrientes, e que conseqüentemente tornou o local de pouco ou nenhum aporte de resíduos orgânico, contribuindo para o não incremento de matéria orgânica ao solo.

Através dos mapas de distribuição espacial dos atributos químicos é possível distinguir claramente os sistemas de manejo e verificar a maior contribuição do SCA para aumentos da fertilidade do solo, além de servir como base para implementar sistemas de cultivos de manejo localizado para a melhoria da qualidade química do solo.

CONCLUSÕES

Para o COT, pH, SB, H+Al, Ca e T foi possível estabelecer uma estrutura de dependência espacial definida por um semivariograma ajustado aos modelos esférico e exponencial.

Foram encontrados dependência de moderada a forte, com valores de alcance de 24,4 a 84,7 m. O Cálcio foi o nutriente que apresentou o maior alcance demonstrando maior continuidade espacial.

O sistema de cultivo alternativo apresentou os maiores teores de nutrientes do solo nas profundidades de 0 a 20 e 20-40 cm, sendo uma alternativa viável para melhoria da qualidade química do solo em ambiente semiárido.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e a CAPES pelas bolsas de estudos fornecidas. Aos funcionários da Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola (EBDA) pelo apoio na escolha e identificação das áreas. Ao produtor Dermival pela acolhida e disponibilidade para uso de sua propriedade.

LITERATURA CITADA

ALVARES, C. A.; GONÇALVES, J. L. M.; VIEIRA, S. R.; SILVA, C. R.; FRANCISCATTES, W. Spatial variability of physical chemical attributes of some forest soils in southeastern of Brazil. *Sci. Agric.*, 68:297-705, 2011.

ARTUR, A. G.; OLIVEIRA, D. P.; COSTA, M. C. G.; ROMERO, R. E.; SILVA, M. V. C. FERREIRA, T. O. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, associada ao microrrelevo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, p. 141-149, 2014.

BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Nitrogênio total de um solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistemas de cultura. R. Bras. Ci. Solo, 21:235-239, 1997.

BERTOLANI, F.C.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial da taxa de infiltração de água e da espessura do horizonte A, em um Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes usos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.25, p.987-995, 2001.

BOTTEGA, E. L.; UEIROZ, D. M.; PINTO, F. A. C.; SOUZA, C. M. A. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. R. Ci. Agron., 44:1-9, 2013.

BURAK, D. L.; PASSOS, R. R.; ANDRADE, F. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob cafeeiro Conilon: relação com textura, matéria orgânica e relevo. Bragantia, 71:538-547, 2012.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F. & KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. Soil Sc. Soc. Am. J., 58:1501-1511, 1994.

CARVALHO, M.P.; TAKEDA E.Y. & FREDDI, O.S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). R. Bras. Ci. Solo, 27:695-703, 2003.

CAVALCANTE, E.G.S.; ALVES, M.C.; SOUZA, Z.M. & PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. R. Bras. Ci. Solo, 31:1329-1339, 2007.

CHEN, P.Y. Table of key-lines in X-ray power diffraction patterns of minerals in clay and associated rocks. Bloomington, Department of Natural Resources, 1977. 67p. (Geological survey occasional paper, 21).

CHERUBIN, M. R. Eficiência de malhas amostrais utilizadas na caracterização de

atributos químicos em Latossolos manejados com agricultura de precisão. 2013, 99p. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Ambiente) – Centro de Educação Superior Norte do Rio Grande do Sul, Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2013.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS: Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação/ Antônio Carlos Ribeiro, Paulo Tácito Gontijo Guimarães, Victor Hugo Alvarez V., Editores _ Viçosa, MG, 1999, 359p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Volume exportado e geração de divisas do sisal em 2008. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 16 de junho de 2012.

CRESSIE, N.A.C. Statistics for spatial data. New York, J. Wiley, 1991. 379p.

CRUZ, J.S.; ASSIS JÚNIOR, R.N.A.; MATIAS, S.S.R.; CAMACHO-TAMAYO, J.H. & TAVARES, R.C. Análise espacial de atributos físicos e carbono orgânico em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. Ci. Agrotec., 34:271-278, 2010.

DADALTO, G.G.; FULLIN, E.A. Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo: 4º aproximação. Vitória: SEEA/Incaper, 2001.

DIAS, F. S.; BONSUCESSO, J. S.; OLIVEIRA, L. C.; SANTOS, W. N. L. Pre concentration and determination of cooper in tobacco leaves samples by using a minicolumn of sisal fiber (*Agave sisalana*) loaded with Alizarin fluorine blue by FAAS. Talanta, v. 89, p.276-279, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3 ed. Rio de Janeiro, 2013. 353p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análises de solos. 2. ed. Revisada. Rio de Janeiro, 2011.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ci Agrotec.*, 35:1039-1042, 2011.

FROGBROOK, Z. L. *et al.* Exploring the spatial relations between cereal yield and soil chemical properties and the implications for sampling. *Soil Use and Management*, v. 18, n. 01, p. 01-09, 2002.

GREGO, C.R. & VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:169-177, 2005.

KAMIMURA, K. M.; SANTOS, G. R.; OLIVEIRA, M. S.; DIAS JÚNIOR, M. S.; GUIMARÃES, P. T. G. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo, sob lavoura cafeeira. *R. Bras. Ci. Solo*, 37:877-888, 2013.

KRAVCHENKO, A.N. Influence of spatial structure on accuracy of interpolation methods. *Soil Science Society of American Journal*, v.67, p.1564-1571, 2003.

MACHADO, L. O.; LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; GIMARÃES, E. C.; FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31:591-599, 2007.

MENDONÇA, E. S.; ROWELL, D. L.; MARTINS, A. G.; SILVA, A. P. Effects of pH on the development of acidic sites in clayey and Sandy loam Oxisol from the Cerrado Region, Brazil. *Geoderma*, 132:131-142, 2006.

MONTEZANO, Z. F.; CORAZZA, E. J.; MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homoganeamente. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:839-847, 2006.

OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; AQUINO, R. E.; MARQUES JÚNIOR, J.; NASCIMENTO, E. P. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Cambissolo Háplico, sob diferentes usos na região do Amazonas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, p. 1103-1112, 2013.

ROBERTSON, G.P. *GS+: Geostatistics for the environmental sciences – GS+ User's guide*. Plainwell, Gamma Design Software, 1998. 152p.

SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, V. S. B.;(2008) Matéria orgânica do solo no Bioma Caatinga. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Eds) *Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo, Ecossistemas Tropicais e Subtropicais*. Porto Alegre, Metrópole 419-441.

SANTOS, J.C.B.; SOUZA JÚNIOR, V.S.; CORRÊA, M.M.; RIBEIRO, M.R.; ALMEIDA, M.C. & BORGES L.E.P. Caracterização de Neossolos Regolíticos da região semiárida do Estado de Pernambuco. *R. Bras. Ci. Solo*, 36:683-695, 2012.

SCHLOTZHAUER, S.D. & LITTELL, R.C. *SAS System for elementary statistical analysis*. 2.ed. Cary, SAS Institute, 1997. 456p.

SECRETÁRIA DE COMÉRCIO EXTERIOR – SECEX. *Exportações Brasileiras*, 2012. Disponível em: [www. desenvolvimento.gov.br](http://www.desenvolvimento.gov.br): Acesso em: 17 de junho de 2012.

SILVA, F. DE A. S. E.; AZEVEDO, C. A. V. de. Principal components analysis in the software assistat-statistical attendance. In: *World congress on computers in agriculture*, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SIMAS, F. N. B.; SHAEFER, C. E. G. R.; FERNANDES-FILHO, E. I.; CHAGAS, A. C.; BRANDÃO, P. C. Chemistry, mineralogy and micropedology of highland soils on

crystalline rocks of Serra da Mantiqueira, Southeastern Brazil. *Geoderma*, 125:187-201, 2005.

SOUZA, Z. M.; CAMPOS, M. C. C.; CAVALCANTE, Í. H. L.; MARQUES JÚNIOR, J.; CESARIN, L. G. & SOUZA, S. R. Dependência espacial da resistência do solo à penetração e teor de água do solo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Ci. Rural*, 36:128-134, 2006a.

SOUZA, Z. M.; SOUZA, G. S.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Número de amostras na análise geoestatística e na krigagem de mapas de atributos do solo. *Ci. Rural*, 44:261-268, 2014.

SOUZA, Z.M. & ALVES, M.C. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado sob diferentes usos e manejos. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:133-139, 2003.

SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; BARBIERI, D.M. Small relief shape variations influence spatial variability of soil chemical attributes. *Scientia Agricola*, v.63, p.161-168, 2006b.

SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA – SEI. Disponível em: <http://www.sei.ba.gov.br/side/frame_tabela.wsp?tmp.volta=sg46&tmp.tabela=t106>. Acesso em: 15 de junho. 2014.

SUZUKI, K.; MATSUNAGA, R.; HAYASHI, K.; MTSUMOTO, N.; TABO, R.; TOBITA, S.; OKADA, K. Effects of traditional soil management practices on the nutrient status in Sahelian Sandy soil of Niger, West Africa. *Geoderma*, 223-225:1-8, 2014.

TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S. & UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Adv. Agron.*, 38:54-94, 1985.

VIEIRA, S. R.; GUEDES FILHO, O. G.; CHIBA, M. K.; CANTARELLA, H. Spatial variability of soil chemical properties after coffee tree removal. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:1507-1514, 2009.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudo de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., H.V. & SCHAEFER, C.E.G.R., eds. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000.v.1, p.1-55.

VIEIRA, S.R., J.L. HATFIELD, D.R. NIELSEN & J.W. BIGGAR. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia* v. 51, p.1-75, 1983.

VIEIRA, S. R.; DECHEN, S. C. F.; SIQUEIRA, G. M.; DUFRANC, G. Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos relacionados com o estado de agregação de dois Latossolos cultivados no sistema de semeadura direta. *Bragantia*, Campinas, v. 70, n. 1, p.185-195, 2011

WARRICK, A.W. & NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D., ed. *Application of soil physics*. New York, Academic Press, 1980. p.319-344.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. (1988) A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Commun Soil Sci Plant Anal* 19:1467-1476.

ZIMBACK, C.R.L. Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo. 2001. Tese (Livre-Docência)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

CAPÍTULO 3

VARIABILIDADE ESPACIAL E MUDANÇAS NOS ESTOQUES DE CARBONO DE UM NEOSSOLO REGOLÍTICO CULTIVADO COM SISAL NO SEMIÁRIDO BAIANO

¹Artigo a ser ajustado e submetido ao Comitê Editorial do periódico Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, em versão inglês.

Variabilidade espacial e mudanças nos estoques de carbono de um Neossolo Regolítico cultivado com sisal no semiárido baiano

RESUMO: Este estudo objetivou caracterizar a variabilidade espacial e avaliar as mudanças nos estoques de carbono, após a conversão da vegetação de caatinga para uso agrícola e seu impacto na emissão de gases de efeito estufa, considerando dois cenários, tempo zero e sisal cultivado por 20 anos. Em uma área de 2,5 hectares do município de Valente, Bahia foi amostrado solo em 85 pontos, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, nas seguintes áreas: vegetação de caatinga (CA), uma área cultivada com sisal no sistema tradicional (SCT) e uma área cultivada com sisal no sistema de cultivo alternativo (SCA). Foram mensurados os teores de carbono, a densidade do solo e de partículas do solo, a porosidade total e o espaço poroso preenchido com água. Realizou-se análise descritiva e geoestatística para caracterizar as amostras e identificar a dependência espacial dos atributos estudados. Os estoques de carbono apresentaram dependência espacial e os mapas de isolinhas possibilitaram analisar a variabilidade nas profundidades de 0-20 e 0-40 cm. A conversão da vegetação de caatinga para o cultivo de sisal no sistema de cultivo tradicional ocasiona uma redução de 30% nos estoques de carbono do solo. Por outro lado, o sistema de cultivo alternativo ocasiona um incremento de 11% nos estoques de carbono do solo. O fator de emissão ou absorção de carbono, devido à mudança de uso do solo após 20 anos, é de 0,66 Mg de carbono ano⁻¹ para o sistema de cultivo tradicional e de -0,25 Mg de carbono ano⁻¹ para o sistema de cultivo alternativo.

Palavras-chave: Geoestatística, cultivo alternativo, fator emissão de carbono.

ABSTRACT: This study aimed to characterize the spatial variability and assess changes in carbon stocks, after the conversion of savanna vegetation for agricultural use and its impact on greenhouse gas emissions, considering two scenarios, zero time and sisal cultivated for 20 years. In an area of 2.5 hectares of the municipality of

Valente, Bahia was sampled soil in 85 points, at 0-20 and 20-40 cm in the following areas: savanna vegetation (CA), a cultivated area with sisal in traditional system (TCS) and an area planted with sisal on the alternative crop system (ACS). The carbon content were measured, the density of the soil and the soil particles, the total porosity and the pore space filled with water. A descriptive and geostatistical analysis to characterize the samples and identify the spatial dependence of the studied attributes. Carbon stocks spatial correlation and contour maps made it possible to analyze the variability at 0-20 and 0-40 cm. The conversion of savanna vegetation for sisal cultivation in traditional farming system causes a 30% reduction in soil carbon stocks. Moreover, alternative culture system causes an increase of 11% in soil carbon stocks. The emission factor or carbon absorption due to changes in land use after 20 years, is 0.66 Mg year⁻¹ carbon to the traditional farming system and -0.25 Mg yr⁻¹ for carbon alternative culture system.

Keywords: Geostatistics, alternative farming, carbon emission factor.

INTRODUÇÃO

O processo de armazenagem de carbono orgânico no solo depende da relação entre o aporte de resíduos orgânicos ao solo e os processos de decomposição (Salcedo e Sampaio, 2008). Na Caatinga, estima-se que a média de biomassa aérea total da vegetação varie entre 30 e 50 Mg ha⁻¹. A variabilidade espacial do solo e a exploração de poucos locais no semiárido impedem uma exatidão desta estimativa, tornando evidente a importância de pesquisas que visem manter, ou, até mesmo, introduzir espécies nativas com o objetivo de aumentar a quantidade de resíduo orgânico acima do solo e conseqüentemente os estoques de carbono em regiões semiáridas (Salcedo e Sampaio, 2008).

Estudos são contraditórios com relação a eficácia de aporte de resíduos orgânicos pela introdução de espécies arbóreas com o intuito de aumentar os estoques de carbono no solo, em regiões semiáridas (Wiesmeier et al., 2009; Fernández-odoño et al., 2010; Langanière et al., 2010). Fatores abióticos devem ser levados em consideração no momento da implantação de espécies arbóreas,

incluindo o preparo e o tipo de solo, histórico da área, fatores pedogenéticos, manejo do solo, e, principalmente, o clima (Paul et al., 2002). Sobre o manejo florestal, especialmente em regiões semiáridas, seria ideal a manutenção das espécies arbóreas nativas, intercalando-as com os sistemas de cultivo. No mundo, sistemas de cultivo com o objetivo de introduzir espécies arbóreas já são utilizados em regiões semiáridas e demonstraram eficiência em armazenar carbono orgânico no solo (Albaladejo et al., 2013; Abdalla et al., 2014; Dimassi et al., 2014). Por outro lado, no Brasil são poucos os trabalhos que tiveram este objetivo (Maia et al., 2006; Maia et al., 2007; Sousa et al., 2010; Sacramento et al., 2013). A importância de pesquisas cujo objetivo seja o de propor sistemas de manejo com potencial para armazenar o carbono orgânico no solo, reduzindo os impactos causados ao ambiente.

A reposição de resíduos orgânicos sob o solo da região sisaleira poderia render ganhos significativos de carbono, proporcionando um melhor funcionamento do ecossistema (De Beates et al., 2013). No entanto, a quantificação deste potencial é limitado pela falta de conhecimento sobre a magnitude dos estoques de carbono do solo, especialmente em zonas áridas e semiáridas (De Beates et al., 2013).

Estocar carbono orgânico no solo é, portanto, uma grande preocupação em pesquisas sobre o ciclo do carbono. Compreender a variabilidade espacial deste nutriente e os principais fatores que a influenciam são essenciais para avaliar o funcionamento do solo e compreender o processo de estocagem de carbono no solo (Li e Shao, 2014). Somado a isso, inexistem informações sobre a dinâmica do carbono orgânico em solos cultivados com sisal.

Este estudo objetivou caracterizar a variabilidade espacial, e também avaliar as mudanças nos estoques de carbono do solo, após a conversão da vegetação de caatinga para uso agrícola e avaliar seu impacto na emissão de gases.

MATERIAL E MÉTODOS

Para informações sobre localização e caracterização da área de estudo; amostragem; georreferenciamento e análise estatística dos dados, consultar o material e métodos do capítulo 2.

Procedimentos analíticos

Os teores de carbono orgânico total do solo (COT) foram determinados via úmida por meio da oxidação do carbono orgânico com dicromato de potássio em meio ácido, com fonte externa de calor e posterior titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,2 mol L⁻¹ (Yeomans & Bremner, 1988).

A densidade do solo (Ds) foi determinada pelo método do anel volumétrico, pela equação $D_s = m/v$, onde m é a massa de solo (g) a 105°C e v é o volume do anel (cm³) e a densidade da partícula (Dp) foi determinada pelo método do balão volumétrico, segundo dados compilados pela Embrapa (2011).

Cálculo dos estoques de carbono

Os estoques de C do solo foram calculados de acordo com a equação: $E = d \times h \times (COT)/10$, em que: E é o estoque de COT (Mg ha⁻¹); d é a densidade do solo (g cm⁻³); h é a espessura da camada amostrada (cm); e COT = teores de C totais do solo (g kg⁻¹) e 10 é o conversor de unidades.

Cálculo do fator emissão de carbono

Com o resultado dos estoques de carbono foi possível determinar o fator emissão ou absorção de carbono do solo (FEC), conforme o método proposto no volume 4 do Guia para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa (IPCC, 2006), que recomenda a utilização de resultados obtidos nos últimos 20 anos para efetuar os inventários nacionais, de acordo com a seguinte equação: $FEC = \Sigma (C_f(h) - C_i(h))/T$, em que: FEC é o fator emissão ou absorção de C do solo (Mg ha⁻¹ ano⁻¹); h é considerado o sistema de manejo avaliado; C_f (h) é o estoque de C no tempo

final no último ano do inventário para o sistema h avaliado; C_i (h) é o estoque de C inicial na área de referência; e T é o tempo (anos).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estoques de carbono orgânico total

Os estoques de COT decresceram com o aumento da profundidade, os menores valores foram observados na área SCT, diferindo significativamente ($p < 0,05$) da área CA e SCT, causando uma redução de aproximadamente 30% nos estoques de COT, quando comparado à área CA. Na área SCA os estoques de COT foram superiores aos da área CA, proporcionando um incremento de 11% nos estoques de COT do solo (Quadro 10). Os estoques de carbono do solo são aumentados pelo equilíbrio entre as entradas de carbono (fotossíntese) e sua posterior decomposição (Robertson e Nash, 2013; Liu et al., 2014). Liu et al. (2014), relatam que no semiárido as estimativas de estocagem de carbono no solo são relativamente baixas e que a incorporação de resíduos orgânicos ou a utilização de sistemas que propiciem a incorporação destes resíduos, oferecem uma maneira prática de elevar os estoques de carbono do solo. Os autores relatam ainda que, o aumento dos estoques de carbono orgânico do solo também trazem outros benefícios para agricultura e o ambiente, tais como: aumento da fertilidade do solo, aumento da estabilidade de agregados, controle de erosão e produção de alimentos.

Quadro 9 - Teores de carbono orgânico total (COT) e da densidade do solo (Ds) de Neossolo Regolítico Eutrófico léptico sob vegetação natural de Caatinga (CA), sisal cultivado n sistema tradicional (SCT) e sisal cultivado no sistema alternativos (SCA), em Valente, Bahia, Brasil.

Atributo	Área	SCT	SCA	CA
COT (g kg^{-1})			0 - 20 cm	
		2,80c	4,97b	8,81a
			20 - 40 cm	
		2,80c	4,96a	4,13b
Ds (kg m^{-3})			0 - 20 cm	

1,50ab	1,47b	1,53a
	20 - 40 cm	
1,55a	1,55a	1,55a

p > 0,05 – teste de Shapiro-Wilk. Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p<0,05).

Quadro 10 - Estatística descritiva dos estoques de carbono de Neossolo Regolítico Eutrófico léptico sob vegetação natural de Caatinga (CA), sisal cultivado no sistema tradicional (SCT) e sisal cultivado no sistema alternativo (SCA), em Valente, Bahia, Brasil.

Atributo	Áreas	Média	DP	Curtose	CV (%)	Variância	d	Assimetria	
0 - 20 cm									
Estoques (Mg ha⁻¹)	SCT	19,00b	4,35	1,92	22,89	18,93	0,94	1,06	
	SCA	29,30a	9,00	-0,34	30,73	81,10	0,97 N	0,41	
	CA	26,92a	10,17	0,49	37,79	103,54	0,94 N	0,82	
	20 - 40 cm								
	SCT	8,72c	2,77	0,61	31,77	7,69	0,97 N	0,58	
	SCA	15,4a	5,82	0,98	37,79	33,88	0,96 N	0,6	
	CA	12,82b	4,82	3,61	37,61	23,24	0,76	1,89	
	0 - 40 cm								
	SCT	27,73b	5,68	0,97	20,49	32,3	0,93	1	
SCA	44,7a	13,01	-0,62	29,11	169,39	0,96 N	0,38		
CA	39,74a	14,45	2,4	36,37	208,97	0,89 N	1,34		

DP = Desvio Padrão; CV = Coeficiente de Variação; d = Distribuição Normal e N = Distribuição Normal para p > 0,05 – teste de Shapiro-Wilk.

O fator emissão de COT, demonstra que houve uma perda estimada (emissão) em 0,60 Mg de C ano⁻¹ para a área SCT e uma absorção estimada de 0,25 Mg de C ano⁻¹ na área SCA, no período de 20 anos.

Por não haver reposição de nenhum resíduo orgânico, reposição de adubos minerais ou aporte de insumos na área SCT, pode-se inferir que, após o período de intensa perda estimada de COT, não ocorreu à recuperação dos estoques de COT do solo até o presente momento nesta área e que na área SCA essa reposição está ocorrendo e proporcionou um incremento nos estoques de carbono ao longo desses anos.

Apesar da área SCT ter apresentado um fator de emissão de carbono pode-se considerar que o mesmo ainda é baixo, comparado ao resultado encontrado por Facetto et al. (2012) em áreas de regiões semiáridas cultivadas com mamona, em Latossolo Vermelho Eutrófico textura argilosa. Fracetto et al. (2012) encontrou

valores de 2,47 Mg de C ano⁻¹, ou seja, quatro vezes mais que os valores encontrados para a área SCA. Esse fato pode ter relação direta com o tipo de solo e a classe textural. Sacramento et al. (2013) e Maia et al. (2007), trabalhando com Luvisolos textura argilosa em sistemas agroflorestais no semiárido cearense, encontraram resultados semelhantes aos encontrados por Fracetto et al. (2012). A textura argilosa, em comparação a textura arenosa, pode favorecer zonas de acúmulo e não acúmulo pela redistribuição da água na superfície do solo. Estas condições associadas à microclimas podem alterar a capacidade de resposta do solo a vários fatores, como por exemplo, o potencial do solo em sequestrar carbono (SENTHILKUMAR et al., 2009).

Variabilidade espacial

Os estoques de COT, profundidades 0-20 e 0-40 cm, se ajustaram aos modelos esférico e exponencial (Figura 6), respectivamente. Na profundidade 20-40 cm os estoques de COT apresentaram efeito pepita puro (Quadro 11).

O maior alcance (63 m) foi observado nos estoques de carbono, profundidade 0-40 cm. O grau de dependência espacial foi forte, profundidade 0-20 cm, e fraca, profundidade 0-40 cm para os atributos que apresentaram ajustes a modelos de semivariograma. Os estoques de COT, profundidade 0-20 cm apresentaram o melhor ajuste ($R^2 = 0,99$), seguido dos estoques de COT da profundidade 0-40 cm ($R^2 = 0,84$). Resultados semelhantes de ajustes foram encontrados por Cruz et al. (2010), quando estudaram a análise espacial de atributos físicos e carbono orgânico.

Quadro 11 – Modelos dos semivariogramas dos teores e estoques de carbono de Neossolo Regolítico Eutrófico léptico sob vegetação natural de Caatinga (CA), sisal cultivado no sistema tradicional (SCT) e sisal cultivado no sistema alternativo (SCA), em Valente, Bahia, Brasil.

Variável	Prof.	Modelo	C ₀	C ₁	C ₀ + C ₁	a	r ²	GD	Classe
Estoques	0-20	Esférico	2,34	50,79	53,13	33,12	0,99	95	Forte
	20-40	Efeito Pepita Puro							
Estoques	0-40	Exponencial	10	120	130	63	0,84	7	Fraca

Prof= Profundidade; C₀ = Efeito pepita puro; C₀ + C₁ = Efeito Patamar; a = Alcance; GD = Grau de dependência espacial.

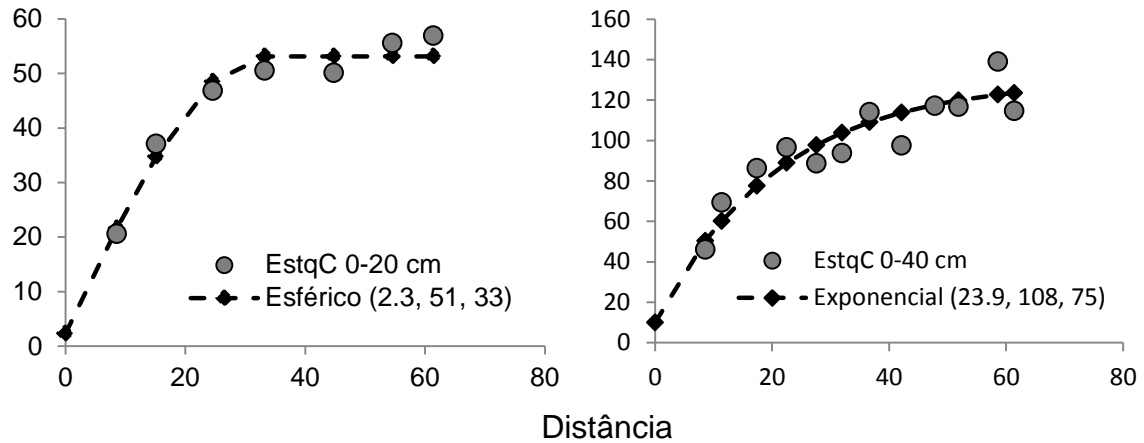


Figura 6 – Semivariogramas para os estoques de carbono orgânico total, nas profundidades de 0-20 e 0-40 cm, em Neossolo Regolítico Eutrófico léptico, cultivado com sisal no sítio Algodões, Valente, Bahia.

Distribuição espacial dos estoques de COT

Para os estoques de COT os mapas de distribuição permitiram analisar a variabilidade espacial nas profundidades de 0 - 20 e 0 - 40 cm (Figuras 7 e 8). É possível visualizar claramente o efeito dos diferentes sistemas de cultivo, com uma região com os maiores valores encontrada que se localiza na parte inferior da área de estudo, justamente o local que representa a área SCA. Nesta área os estoques variaram de 28 a 50,5 Mg por hectare. De acordo com Soto-Pinto et al. (2010), o potencial de sistemas alternativos, semelhante ao avaliado neste estudo em estocar carbono varia de 12 a 228 Mg ha⁻¹, com média de 95 Mg ha⁻¹ considerando 100 cm de profundidade. No presente estudo, considerando a área SCA na profundidade de 0-40 cm (Figura 8), os valores variaram de 42 a 72 Mg ha⁻¹. Pode-se inferir, portanto, que caso fosse considerar a profundidade de 100 cm, certamente o SCA apresentaria valores mais elevados de estoques de COT e estariam de acordo com a média estabelecida por Soto-Pinto et al. (2010). Reforçando a hipótese de que, em caso da substituição da vegetação nativa, que esta seja feito por sistemas alternativos semelhantes ao avaliado neste estudo.

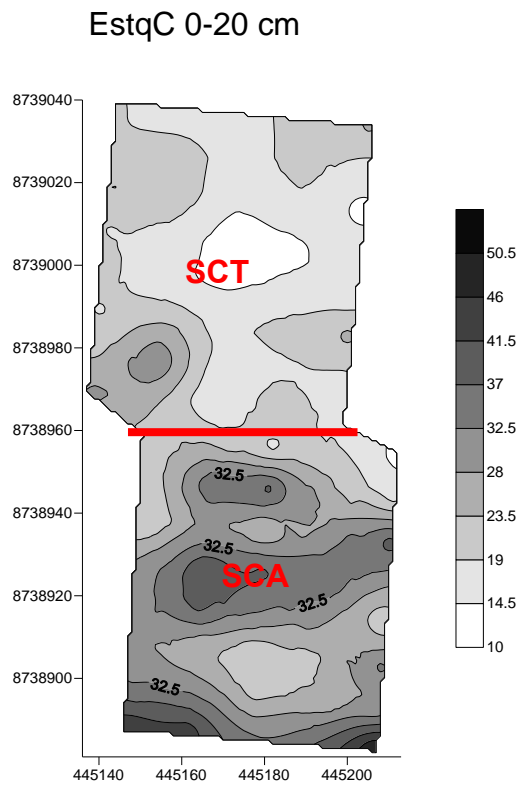


Figura 7 – Distribuição espacial para os estoques de carbono orgânico total, na profundidade de 0-20 cm, em Neossolo Regolítico Eutrófico léptico, cultivado com sisal no sítio Algodões, Valente, Bahia.

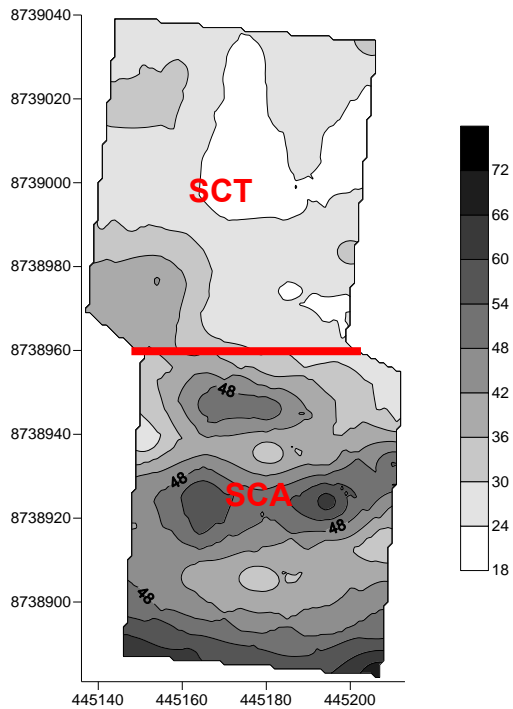


Figura 8 – Distribuição espacial para os teores de carbono orgânico total, nas profundidades de 0-40 cm, em Neossolo Regolítico Eutrófico léptico, cultivado com sisal no sítio Algodões, Valente, Bahia.

CONCLUSÕES

Os estoques de carbono apresentaram dependência espacial e os mapas de isolinhas possibilitaram analisar a variabilidade nas profundidades de 0-20 e 0-40 cm.

A conversão da vegetação de caatinga para o cultivo de sisal no sistema de cultivo tradicional ocasiona uma redução de 30% nos estoques de carbono do solo. Por outro lado, o sistema de cultivo alternativo ocasiona um incremento de 11% nos estoques de carbono do solo.

O fator de emissão ou absorção de carbono, devido à mudança de uso do solo após 20 anos, é de 0,66 Mg de carbono ano⁻¹ para o sistema de cultivo tradicional e de -0,25 Mg de carbono ano⁻¹ para o sistema de cultivo alternativo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e a CAPES pelas bolsas de estudos fornecidas. Aos funcionários da Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola (EBDA) pelo apoio na escolha e identificação das áreas. Ao produtor Dermival pela acolhida e disponibilidade para uso de sua propriedade.

LITERATURA CITADA

ABDALLA, M.; HASTINGS, A.; HELMY, M.; PRESCHER, A.; LANIGAN, G.; FORRISTAL, D.; KILLI, D.; MARATHA, P.; WILLIAMS, M.; RUEANGRITSARAKUL, K.; SMITH, P.; NOLAN, P.; JONES, M. B. Assessing the combined use of reduced tillage and cover crops for mitigating greenhouse gas emissions from arable ecosystem. *Geoderma*, v. 223-225, p. 9-20, 2014.

ALBALADEJO, J., ORTIZ, R., GARCIA-FRANCO, N., RUIZ NAVARRO, A., ALMAGRO, M., GARCIA PINTADO, J., MARTÍNEZ MENA, M., 2013. Land use and climate change impacts on soil organic carbon stocks in semi-arid Spain. *J. Soil Sediments* 13, 265–277.

CARMO, J. B.; PICCOLO, M. C.; ANDRADE, C. A.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; SOUZA NETO, E.; CERRI, C. C. Short-term changes in nitrogen availability, gas fluxes (CO₂, NO, N₂O) and microbial biomass after tillage during pasture re-establishment in Rondônia, Brazil. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 96, 250-259, 2007.

CHEN, H., MARHAN, S., BILLEN, N., STAHL, K. Soil organic carbon and total nitrogen stocks as affected by different land uses in Baden-Wurtemberg (southwest Germany). *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 172, 32–42, 2009.

CRUZ, J.S.; ASSIS JÚNIOR, R.N.A.; MATIAS, S.S.R.; CAMACHO-TAMAYO, J.H. & TAVARES, R.C. Análise espacial de atributos físicos e carbono orgânico em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. *Ci. Agrotec.*, 34:271-278, 2010.

DE BEATES, S.; MEERSMANS, J.; VANACKER, V. QUINE, T. A.; OOST, K. V. Spatial variability and change in soil organic carbon stocks in response to recovery following land abandonment and erosion in mountainous dry lands. *Soil Use and Management*, v. 29, p. 65-76, 2013.

DIMASSI, B.; MARY, B.; WYLLEMAN, R.; LABREUCHE, J.; FRANC, D. C.; PIRAUX, O.; COHAN, J-P. Long-term effect of contrasted tillage and crop management on soil carbon dynamics during 41 years. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 188, p. 134-146, 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3 ed. Rio de Janeiro, 2013. 353p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análises de solos. 2. ed. Revisada. Rio de Janeiro, 2011.

FERNÁNDEZ-ONDOÑO, E., ROJO SERRANO, L., JIMENEZ, M.N., NAVARRO, F.B., DIEZ, M., MARTIN, F., FERNANDEZ, J., MARTINEZ, F.J., ROCA, A., AGUILAR, J., 2010. Afforestation improves soil fertility in South-eastern Spain. *Eur. J. For. Res.* 129,707–717.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ci Agrotec.*, 35:1039-1042, 2011.

FRACETTO, F. J. C.; FRACETTO, G. G. M.; CERRI, C. C.; FEIGL, B. J.; SIQUEIRA NETO, M. Estoques de carbono e nitrogênio no solo cultivado com mamona na Caatinga. *R. Bras. Ci. Solo*, 36:1545-1552, 2012.

GARCIA-FRANCO, N.; WIESMEIER, M.; GOBERNA, M.; MARTÍNEZ-MENA, M.; ALBALADEJO, J. Carbon dynamics after afforestation of semiarid shrub lands: Implications of site preparation techniques. *Forest Ecology and Management*, v. 319, p. 107-115, 2014.

GELAW, A.M., SINGH, B.R., LAL, R. Organic carbon and nitrogen associated with soil aggregates and particle sizes under different land uses in Tigray, Northern Ethiopia. *Land Degrad. Dev.*, 2013.

GELAW, M.; SINGH, B. R.; LAL, R. Soil carbon and nitrogen stocks under different use in a semi-arid watershed in Tigray, Northern Ethiopia. *Agric. Ecosys. Environ.*, 188:256-263, 2014.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE 2006. Guidelines For National Greenhouse Gas Inventories – Agriculture, Forestry and Other Land Use. Hayama, IGES, 2006. v.4.

KAMIMURA, K. M.; SANTOS, G. R.; OLIVEIRA, M. S.; DIAS JÚNIOR, M. S.; GUIMARÃES, P. T. G. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo, sob lavoura cafeeira. *R. Bras. Ci. Solo*, 37:877-888, 2013.

LAGANIÈRE, J., ANGERS, D.A., PARÉ, D., 2010. Carbon accumulation in agricultural soils after afforestation: a meta-analysis. *Glob. Change Biol.* 16, 439–453.

LAL, R., 2005. Forest soils and carbon sequestration. *For. Ecol. Manage.* 220, 242–258.

LI, D.; SHAO, M. Soil carbon influencing factors in different landscapes in an arid region northwestern China. *Catena*, 116:95-104, 2014.

LI, D.; SHAO, M. Soil organic carbon and influencing factors in different landscapes in an arid region of northwestern China. *Catena*, v. 116, p. 95-104, 2014.

LIU, D. L.; ANWAR, M. R.; O'LEARY, G.; CONYERS, M. K. Managing wheat stubble as an effective approach to sequester soil carbon in a semi-arid environment: Spatial modelling. *Geoderma*, 214-215:50-61, 2014.

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. *Agrofo Sys* 71:127-138.

MAIA, S.M.F.; XAVIER, F.A.S.; OLIVEIRA, T.S.; MENDONÇA, E.S. & ARAUJO FILHO, J.A. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semi-árido cearense. *R. Árvore*, 30:837-848, 2006.

OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; AQUINO, R. E.; MARQUES JÚNIOR, J.; NASCIMENTO, E. P. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Cambissolo Háplico, sob diferentes usos na região do Amazonas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, p. 1103-1112, 2013.

PAUL, K.I., POLGLASE, P.J., NYAKUENGAMA, J.G., KHANNA, P.K., 2002. Change in soil carbon following afforestation. *For. Ecol. Manage.* 168, 241–257.

RIBEIRO, K.D.; MENEZES, S.M.; MESQUITA, M.G.B.F.; SAMPAIO, F.M.T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de lavras - MG. *Ci. Agrotec.*, Lavras, v.31, n. 4, p.1167-1175, 2007.

ROBERTSON, F., NASH, D. Limited potential for soil carbon accumulation using current cropping practices in Victoria, Australia. *Agric. Ecosyst. Environ.* 165, 130–140, 2013.

ROBERTSON, G.P. *GS+: Geostatistics for the environmental sciences – GS+ User's guide*. Plain well, Gamma Design Software, 1998. 152p.

SACRAMENTO, J. A. A. S.; ARAÚJO, A. C. M.; ESCOBAR, M. E. O.; XAVIER, F. A. S.; CAVALCANTE, A. C. R.; OLIVEIRA, T. S. Soil carbon and nitrogen stocks in

traditional agricultural and agroforestry systems in the semiarid region of Brazil. R Bras Ci. Solo 37:784-795, 2013.

SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, V. S. B.;(2008) Matéria orgânica do solo no Bioma Caatinga. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Eds) Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo, Ecossistemas Tropicais e Subtropicais. Porto Alegre, Metrópole 419-441.

SANTOS, J.C.B.; SOUZA JÚNIOR, V.S.; CORRÊA, M.M.; RIBEIRO, M.R.; ALMEIDA, M.C. & BORGES L.E.P. Caracterização de Neossolos Regolíticos da região semiárida do Estado de Pernambuco. R. Bras. Ci. Solo, 36:683-695, 2012.

SENTHILKUMAR, S.; KRAVCHENKO, A. N.; ROBERSTON, G. P. Topography influences management system effects on total soil carbon and nitrogen. Soil Science Society of American Journal, Madison, v. 73, p. 2059-2067, 2009.

SILVA, F. DE A. S. E.; AZEVEDO, C. A. V. de. Principal components analysis in the software assistat-statistical attendance. In: World congress on computers in agriculture, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SOUSA, F.P.; FERREIRA, T.O.; MENDONÇA, E.S.; ROMERO, R.E. & OLIVEIRA, J.G.B. Carbon and nitrogen in degraded Brazilian semi-arid soils undergoing desertification. Agric. Ecosyst. Environ., 148:11-21, 2012.

SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA – SEI. Disponível em: <http://www.sei.ba.gov.br/side/frame_tabela.wsp?tmp.volta=sg46&tmp.tabela=t106>. Acesso em: 15 de junho. 2012.

TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S. & UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. Adv. Agron., 38:54-94, 1985.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudo de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., H.V. & SCHAEFER, C.E.G.R., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000.v.1, p.1-55.

VIEIRA, S.R., J.L. HATFIELD, D.R. NIELSEN & J.W. BIGGAR. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia* v. 51, p.1-75, 1983.

WIESMEIER, M., DICK, D.P., RUMPEL, C., DALMOLIN, R.S.D., HILSCHER, A., KNICKER, H., 2009. Depletion of soil organic carbon and nitrogen under *Pinus taeda* plantations in Southern Brazilian grasslands (Campos). *Eur. J. Soil Sci.* 60, 347–359.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. (1988) A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Commun Soil Sci Plant Anal* 19:1467-1476.

ZIMBACK, C.R.L. Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo. 2001. Tese (Livre-Docência)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A região semiárida é um ambiente adverso e carente por pesquisas. A principal adversidade refere-se ao clima, baixas e irregulares precipitações e altas temperaturas, ocasionando um déficit hídrico que restringe o desenvolvimento agrícola. Apesar de se tratar de um ambiente adverso, a cultura do sisal se estabeleceu muito bem, alcançando produtividades que chegaram a 200 toneladas de fibra ao ano. No entanto, nos últimos anos este cenário vem mudando e a produtividade caiu aproximadamente 60%, segundo estimativas para o ano de 2012. Foi com o olhar nesta problemática que surgiu o propósito desta tese, intitulada: Reconhecimento de solos e variabilidade de seus atributos, em áreas de produção de sisal, no semiárido baiano. Parte-se da premissa que, a avaliação dos atributos químicos e físicos do solo pode trazer alguma informação a cerca do cultivo do sisal, e quem sabe indicar para o produtor um sistema, com base nos indicadores do solo, mais produtivo e sustentável. Para tanto, em um primeiro momento fizemos um levantamento das principais classes de solo da região sisaleira e escolhemos uma área para fazer um estudo mais aprofundado. Na área escolhida o solo foi classificado como Neossolo Regolítico Eutrófico Léptico e as áreas instaladas eram: vegetação de caatinga, sisal no sistema de cultivo tradicional e sisal no sistema de cultivo alternativo.

Pôde-se notar que, diferente do que consta nos levantamentos de solos para aquela região, além dos Planossolos e Neossolos Regolíticos, os Cambissolos também estão presentes. Os Cambissolos são solos com incipiente desenvolvimento do horizonte B diagnóstico e mais férteis que os Planossolos e Neossolos Regolíticos, e portanto tem um manejo diferenciado no que diz respeito ao seu aproveitamento para aumentar a produtividade das culturas.

Outro parâmetro encontrado neste estudo e que pode refletir em maiores produtividades para o cultivo do sisal é que o sistema de cultivo alternativo, em comparação com o sistema de cultivo convencional, apresentou os maiores teores de nutrientes do solo, até mesmo quando se considera a profundidade de 20-40 cm.

Do ponto de vista ambiental vimos que, a conversão da vegetação de caatinga para o cultivo de sisal no sistema de cultivo tradicional ocasiona uma redução de

30% nos estoques de carbono do solo. Por outro lado, o sistema de cultivo alternativo ocasiona um incremento de 11% nos estoques de carbono do solo. Vimos também que, o fator de emissão ou absorção de carbono, devido à mudança de uso do solo após 20 anos, é de 0,66 Mg de carbono ano⁻¹ para o sistema de cultivo tradicional e de -0,25 Mg de carbono ano⁻¹ para o sistema de cultivo alternativo.

Como recomendação deste estudo tem-se o sistema de cultivo alternativo, que promoveu maior qualidade nos indicadores químicos do solo e as menores perdas de carbono, podendo ser usados em substituição ao cultivo tradicional. Estas perdas anuais de carbono contribuem para aumentar o fluxo destes gases do solo para a atmosfera.

Este estudo também vem contribuir com o Guia de Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa, trazendo informações de um ambiente pouco explorado cientificamente e abre as portas para que se intensifiquem os olhares para a região semiárida.