



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - SOLOS E
NUTRIÇÃO DE PLANTAS

RAFAEL CIPRIANO DA SILVA

GÊNESE E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS EM AMBIENTES DE
PLANÍCIES DA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL

FORTALEZA, CEARÁ

Julho de 2012

RAFAEL CIPRIANO DA SILVA

GÊNESE E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS EM AMBIENTES DE PLANÍCIES DA
REGIÃO NORDESTE DO BRASIL

Sob a Orientação do Professor

Gustavo Souza Valladares

e Co-orientação do Professor

Marcos Gervasio Pereira

Dissertação submetida à Coordenação
do Curso de Pós-Graduação em
Agronomia, área de concentração em
Solos e Nutrição de Plantas da
Universidade Federal do Ceará – UFC,
como parte das exigências para a obtenção
do título de Mestre.

FORTALEZA, CEARÁ

Julho de 2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

-
- S583g Silva, Rafael Cipriano da.
Gênese e classificação de solos em ambientes de planícies da Região Nordeste do Brasil / Rafael
Cipriano da Silva – 2012.
162 f. : il., color. enc. ; 30 cm.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias,
Departamento de Ciências do Solo, Mestrado em Agronomia, Fortaleza, 2012.
Área de Concentração: Ciência do Solo.
Orientação: Prof. Dr. Gustavo Souza Valladares.
Coorientação: Marcos Gervasio Pereira.
1. Organossolos. 2. Solos Aluviais. 3. Matéria Orgânica. I. Título.

RAFAEL CIPRIANO DA SILVA

GÊNESE E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS EM AMBIENTES DE PLANÍCIES DA
REGIÃO NORDESTE DO BRASIL

Dissertação submetida como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, outorgado pela Universidade Federal do Ceará.

Rafael Cipriano da Silva

Dissertação aprovada em: 16/07/2012

BANCA EXAMINADORA

Gustavo Souza Valladares. Dr.
Universidade Federal do Piauí
Orientador.

Lúcia Helena Cunha dos Anjos. PhD.
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Thaís de Andrade Corrêa Neto. Dra.
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Á Deus, que concede conforto espiritual.

Tudo está escrito em um plano maior.

Nada é obra do acaso!

*Aos meus pais, José Carlos e
Marina, pela educação, apoio e
pelas oportunidades concedidas.*

Ofereço

A minha digníssima esposa Edilene, com amor.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao meu amigo e irmão Felipe, que me acompanha há muito nesta caminhada, e aos demais irmãos, Patrícia, Cintia e Letícia, pelo conforto fraterno e pelos momentos de acolhida e carinho. Seja em pensamentos ou palavras, sempre estão presentes em mim. Ao jovem Nicolas, meu sobrinho, criança na qual deposito a esperança de uma geração melhor.

Às inúmeras pessoas as quais tive a oportunidade de conhecer e conviver durante esta caminhada, em especial a amizade que conquistei de muitas delas. Aos muitos colegas da UFC, dentre eles Antônia Arleudina, Alcione, Bruno, Ailton, Jaime, Maria Auxiliadora, Ana Paula, Naiara, Rafaela, Isabel, Carol, Eurilene e Alide, pelos momentos de estudo, apoio e de diversão. Aos eternos membros do quarto 512, do alojamento da UFRRJ: Cabelo (Magnovaldo), Gustavo, Carlos Magno (“Cirilo”), Guilherme (“Zé”), Mateus (“Nerso”), Flávio (“Ganso”) e Pedro, irmãos de coração que conquistei e que muito zelo. Aos companheiros do Laboratório de Gênese e Classificação de Solos da UFRRJ, por terem me ajudado nos momentos de estudos e durante as análises de solo, e também pelos momentos de descontração. Em especial a Paula Fernanda, que contribuiu com seu conhecimento e sugestões e também pela colaboração de Andréa Gomes e Regina Maria (UFC), pelo apoio na construção deste trabalho.

Aos professores da UFC, Ricardo Espíndola, pelo carinho, atenção e devoção ao ensino e Tiago Osório, pelas inesquecíveis aulas de Gênese e Classificação dos solos que muito contribuíram para minha formação. Ao Jaedson, que além de professor, um grande amigo e ao professor Assis Jr, pelos ensinamentos em física do solo com seu toque filosófico e admiração pela ciência.

Aos professores da ESALQ que contribuíram com esta dissertação. Ao Miguel Cooper, pelas aulas descontraídas de micropedologia e ao Antonio Carlos Azevedo. Sou grato pela atenção e cordialidade. À Sônia e ao Chico, técnicos do laboratório de micromorfologia pelo carinho, acolhida e pela paciência que tiveram para impregnar minhas amostras destinadas à descrição micromorfológica.

A professora Érika Flávia (UFRRJ), pela ajuda, conselhos e sugestões nas etapas de fracionamento da matéria orgânica, que muito contribuíram com este trabalho.

Àqueles que se tornaram figuras marcantes na minha vida acadêmica, que desde a graduação me passaram os primeiros ensinamentos e são responsáveis pelos meus

primeiros passos na pesquisa científica. Aos professores Lúcia Helena Cunha dos Anjos e Marcos Gervasio Pereira da UFRRJ, com muito carinho, respeito e admiração.

Ao Gustavo Souza Valladares, amigo, conselheiro e acima de tudo orientador, mesmo distante, esteve sempre presente. Sempre muito prestativo, atento e disposto a ajudar. Agradeço muito tê-lo como orientador e por tudo o que aprendi quando estive ao seu lado, não só no lado profissional, mas também o pessoal.

Ao Daniel Vidal Perez, pesquisador da Embrapa Solos (RJ), pela disponibilidade em ajudar na construção desta dissertação.

Aos funcionários das instituições, que de forma prestativa e paciente colaboraram com suas ajudas. Ao Edilson (Secretaria de Pós-graduação do Dpto de solos da UFC), Marquinhos e Roberto (Secretaria de Pós-graduação do Dpto de solos da UFRRJ).

Às instituições UFC, ESALQ e mais uma vez à UFRuralRJ, e por todos aqueles que as constitui, pelas oportunidades concedidas e por possibilitar que esta conquista se realizasse. Ao CNPq (Edital universal PROC: 471433/2009-8.) e Capes (PROCAD-NF 064/2010), pelas bolsas concedidas por estes anos de Mestrado.

Por último, não menos importante, envaidece um sorriso ao longe, perante a noite cansada, mas doce, como um luar que ilumina e faz transcender os caminhos que outrora fosse apenas ilusão. Esplandece as linhas d'alma contornadas com traços sutis de uma mulher. A vida toca sua sinfonia, e em acordes e adornos, o belo se faz presente.

À Edilene.

"a formação natural da região é o melhor aliado do soldado (...);

se você conhece o inimigo e a si mesmo, sua vitória não será posta em dúvida;

se você conhece o céu e a terra, pode torná-la completa"

Sun Tzu, A Arte da Guerra.

RESUMO

CIPRIANO-SILVA, Rafael. **Gênese e classificação de solos em ambientes de planícies da região Nordeste do Brasil**. 2011. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Ciência do Solo). Departamento de Solos, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2011.

Solos formados por sedimentos em ambientes de planície apresentam características genéticas distintas quanto ao material de origem, podendo ser compostos basicamente por sedimentos minerais e orgânicos. O primeiro é formado a partir do intemperismo das rochas, e as propriedades químicas, físicas e mineralógicas são herdadas do material que lhe deram origem. Já os sedimentos orgânicos são influenciados pelo tipo de vegetação predominante na paisagem, e o aporte de material orgânico em condição de saturação de água, que favorece o acúmulo e o espessamento das camadas de sedimentos orgânicos, podendo levar à gênese dos solos orgânicos. Este estudo teve por objetivo avaliar as características morfológicas, físicas e químicas de seis perfis de solos orgânicos desenvolvidos na região litorânea dos Estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba; e avaliar os mesmos atributos e as características mineralógicas e micromorfológicas de quatro perfis de solos originados de sedimentos aluviais do baixo curso da Bacia do rio Acaraú - CE. Foram avaliadas propriedades tais como: cor, densidade, textura, teores de fibras, grau de decomposição da matéria orgânica, teores de C, matéria orgânica, N, P e micronutrientes, soma de bases, valor T e V, frações húmicas, grau de repelência à água, condutividade elétrica, sais solúveis, difratometria de raio-X, dentre outras. Para os Organossolos, foi verificado que os teores de C estabeleceram correlações positivas com a densidade do solo, com a subsidência, acidez potencial, com os teores de N e com a hidrofobicidade, além de influenciar na CTC e no teor de H^+ proveniente dos ácidos orgânicos. Os diferentes métodos para a determinação dos teores de carbono orgânico apresentaram correlação positiva entre si. Os teores de C da fração humina foram mais elevados devido à presença de fibras nesta fração, enquanto que os teores de ácidos fúlvicos foram os menores em relação aos teores de ácidos húmicos, indicando maior estabilidade dos compostos orgânicos presentes nestes solos. Com relação aos solos de sedimentos aluviais, foram observados elevados teores de sais solúveis, conferindo-lhes caráter salino e sódico. Isso se deve à influência marinha e do lençol freático elevado, além da presença de minerais intemperizáveis. Na descrição micromorfológica foram verificados alguns aspectos relacionados à gênese desses solos, tais como a iluviação de argila em profundidade, a origem alóctone do material de origem e a alteração *in situ* desses sedimentos aluviais. A geomorfologia foi o principal fator na maior expressão dos processos pedogenéticos na paisagem, e a posição em que os solos se encontram é um forte indicativo de sua fragilidade ambiental.

Palavras-chave: Organossolos, solos aluviais, matéria orgânica, salinização.

ABSTRACT

CIPRIANO-SILVA, Rafael. **Genesis and classification of soils from lowland environments in the Northeast region, Brazil.** 2011. Project Dissertation (Master in Agronomy-Soil Science). Soils Department, Federal University of Ceará, Fortaleza, CE, 2011.

Soils formed by sediments in lowland environments have distinct genetic characteristics according to the parent material, which can be basically composed of mineral and organic sediments. The first is formed from the weathering of rocks, and the chemical, physical and mineralogical properties are inherited from the source material. The organic sediments are influenced by the type of vegetation dominant in the landscape, and the addition of organic material under water saturation conditions, that favors the accumulation and thickening of organic sediment layers, which can lead to the genesis of organic soils. This study aimed to evaluate the morphological, physical and chemical properties of six organic soil profiles developed in the coastal region of the States of Ceará, Rio Grande do Norte and Paraíba; besides these attributes and the mineralogical and micromorphological characteristics of four soil profiles from alluvial sediments in the lower course of Acaraú river Basin - CE. The properties evaluated were: color, density, texture, fiber content, degree of decomposition of organic matter, C content, organic matter, N, P and micronutrients, sum of bases, T and V value, humic fractions, degree of water repellency, electrical conductivity, soluble salts, X-ray diffraction, among others. For the Histosols, it was found a positive correlation of the C levels with the soil density, with subsidence, potential acidity, N content and hydrophobicity; as well as influencing the CTC and the content of H^+ from the organic acids. The different methods for measuring organic carbon were positively correlated with each other. The C content of humin fraction were higher due to the presence of fibers in this fraction, while the fulvic acid contents were lower compared to the humic acids, indicating increased stability of organic compounds present in these soils. With respect to the soils from alluvial sediments, there were observed high levels of soluble salts, conferring them the saline and sodic characters. This is due to the marine influence and the high water table, besides the presence of weatherable minerals. The micromorphological description showed some aspects related to the soil genesis, such as clay illuviation in depth, the allochthonous origin of the parent material and *in situ* alteration of the alluvial sediments. The geomorphology was the main factor in the greatest expression of pedogenetic processes in the landscape, and the position where the soils are located is a strong indicator of their environmental fragility.

Keywords: Histosols, alluvial soils, organic matter, salinization

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Planície costeira localizado na região do Baixo Acaraú (Foto do autor).	20
Figura 2: Terraço aluvial localizado na região do Baixo Acaraú. A direita encontra-se o rio Acaraú (Foto do autor).	22
Figura 3: Eflorescência salina em Vertissolo localizado no Baixo Acaraú-CE (Foto do autor).	30
Figura 4: Localização dos perfis coletados nos Estados do Ceará (CE1 e CE2), Rio Grande do Norte (RN1 e RN2) e na Paraíba (PB1 e PB2).	41
Figura 5: Área de coleta do perfil CE1, localizado dentro do Campus do Pici da UFC, Fortaleza-CE (foto do autor).	43
Figura 6: Área de coleta do perfil RN1, localizado no município de Ceará-Mirim – RN (foto do autor).	44
Figura 7: Área de coleta do perfil RN2, localizado no município de Rio do Fogo – RN (foto do autor).	44
Figura 8: Área de coleta do perfil PB1, localizado no município de Alhandra – PB (foto do autor).	45
Figura 9: Área de coleta do perfil PB2, localizado no município de Caaporã – PB (foto do autor).	46
Figura 10: Volume residual de diferentes amostras de horizontes hísticos após serem secas em estufa em comparação com o volume do anel de PVC.	50
Figura 11: Relação entre os valores de atributos físicos de solos com elevados teores de matéria orgânica do solo (a) Densidade do solo x teor de matéria orgânica do solo; (b) Densidade do solo x resíduo mínimo; (c) Densidade da partícula x material mineral; e (d) Umidade gravimétrica x volume total de poros (VTP).	64
Figura 12: Relação entre os valores de fibras esfregadas e índice de pirofosfato de amostras de solos com elevados teores de matéria orgânica da região Nordeste do Brasil, com separação das amostras entre sápricos, hêmicos e fíbricos.	67
Figura 13: Relação entre os valores de matéria orgânica com os teores de COT pelos métodos da Embrapa e Walkley-Black modificado.	82
Figura 14: Relação entre os teores de matéria orgânica e nitrogênio total do solo em Organossolos de ambientes de planície da Região Nordeste.	84

Figura 15: Relação entre os teores de WD (tempo de penetração das gotas de água) e MED (Molaridade das gotas de etanol).	92
Figura 16: Localização dos perfis de solo distribuídos ao longo da bacia do rio Acaraú-CE. Ponto A: BAC1; ponto B: BAC2; ponto C: BAC3 e ponto D: BAC4. 103	
Figura 17: Área de coleta do perfil BAC1, localizado no município de Acaraú -CE.. 104	
Figura 18: Área de coleta do perfil BAC2, localizado no município de Marco-CE... 104	
Figura 19: Área de coleta do perfil BAC3, localizado no município de Marco-CE... 105	
Figura 20: Área de coleta do perfil BAC4, localizado no município de Acaraú-CE.. 106	
Figura 21: Relação entre os valores de condutividade elétrica (CE) e somatória dos teores de sais solúveis do extrato de saturação de solos formados na Bacia do Baixo Acaraú-CE.	125
Figura 22: Mineralogia da fração areia de alguns horizontes e camadas de solos formados na Bacia do Baixo Acaraú-CE. Qz: Quartzo; Pl: Plagioclásios; e Fd: Feldspatos-K.	134
Figura 23: Mineralogia da fração argila de alguns horizontes e camadas de solos formados na Bacia do Baixo Acaraú-CE. Ct: caulinita; Mi: Ilita; ES: Esmectita.....	136
Figura 24: Feições pedológicas da camada Cvn (perfil BAC1), distribuídas no fundo matricial, observadas em luz polarizada (a) e luz natural (b). Fd: Feldspato; Rv: Revestimento; Qz: Quartzo; Pr: Poros.	141
Figura 25: Feições pedológicas do horizonte 2Btvnz (perfil BAC2), distribuídas no fundo matricial, observadas em luz polarizada (a) e luz natural (b). Rv: Revestimento; Pr: Poros; Hp: Hiporrevestimentos; Nd: Nódulos.	143
Figura 26: Feições pedológicas da camada 3Cvn (perfil BAC3), distribuídas no fundo matricial, observadas em luz polarizada (a) e luz natural (b). Rv: Revestimento; Qz: Quartzo; Pr: Poros; Hp: Hiporrevestimentos.	144
Figura 27: Feições pedológicas da camada Cgnz2 (perfil BAC4), distribuídas no fundo matricial, observadas em luz polarizada (a) e luz natural (b). Qz: Quartzo; Pr: Poros; Nd: Nódulos; Hp: Hiporrevestimentos; Fm: Fundo matricial.	146

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Localização e características das áreas de estudo dos solos com elevados teores de matéria orgânica da Região Nordeste do Brasil.....	42
Tabela 2: Descrição das propriedades morfológicas dos perfis de solos com elevados teores de matéria orgânica da região Nordeste brasileira.....	59
Tabela 3: Valores das propriedades físicas de solos com elevados teores de matéria orgânica da região Nordeste brasileira.	62
Tabela 4: Valores de coeficiente de Pearson dos atributos físicos avaliados dos solos com elevados teores de matéria orgânica da Região Nordeste do Brasil.....	63
Tabela 5: Caracterização química de solos com elevados teores de matéria orgânica da região Nordeste do Brasil.	70
Tabela 6: Avaliação dos teores de alguns micronutrientes em Organossolos da região Nordeste do Brasil.	76
Tabela 7: Classificação dos perfis de solos com elevados teores de matéria orgânica localizados na Região Nordeste do Brasil.	78
Tabela 8: Teores de matéria orgânica, carbono orgânico, nitrogênio e relação C/N em solos com elevados teores de matéria orgânica da região Nordeste do Brasil.	80
Tabela 9: Valores de carbono das frações húmicas de solos com elevados teores de matéria orgânica da região Nordeste do Brasil.	86
Tabela 10: Grau de repelência das amostras de solos com elevados teores de matéria orgânica da região Nordeste do Brasil.	91
Tabela 11: Características gerais dos perfis coletados no Baixo Acaraú-CE.....	103
Tabela 12: Características morfológicas de solos formados na Bacia do Baixo Acaraú-CE.....	115
Tabela 13: Valores granulométricos de solos formados na Bacia do rio Acaraú-CE.	118
Tabela 14: Valores de atributos químicas de solos formados na Bacia do Baixo Acaraú-CE.....	121
Tabela 15: Valores de condutividade elétrica e de sais do extrato de saturação de solos formados na Bacia do rio Acaraú-CE.	124
Tabela 16: Valores de micronutrientes de solos formados na Bacia do Baixo Acaraú-CE.....	126

Tabela 17: Classificação dos perfis de solos com elevados teores de sais formados na Bacia do Rio Acaraú-CE.....	127
Tabela 18: Valores de carbono das frações de substâncias húmicas, nitrogênio e relação C/N de solos formados na Bacia do Baixo Acaraú-CE.....	130
Tabela 19: Valores de Si, Al, Fe e Ti no ataque sulfúrico e relações em horizontes de solos na Bacia do Baixo Acaraú-CE.	132
Tabela 20: Características micromorfológicas de solos formados na Bacia do Baixo Acaraú-CE.....	140

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	16
2.1	Geomorfologia de Ambientes Sedimentares	18
<i>2.1.1</i>	<i>Planícies</i>	<i>19</i>
<i>2.1.2</i>	<i>Terraços</i>	<i>21</i>
2.2	Processos Pedogenéticos na Formação de Solos em Ambientes Costeiros	23
<i>2.2.1</i>	<i>Solos saturados e solos com acúmulo de matéria orgânica</i>	<i>24</i>
<i>2.2.2</i>	<i>Acúmulo de sais nos solos</i>	<i>29</i>
3	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

CAPÍTULO I: CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS COM ELEVADOS TEORES DE MATÉRIA ORGÂNICA DA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL

1	INTRODUÇÃO	39
2	MATERIAL E MÉTODOS	40
2.1	Material	40
<i>2.1.1</i>	<i>Aspectos gerais das áreas de estudo</i>	<i>40</i>
<i>2.1.2</i>	<i>Clima</i>	<i>46</i>
<i>2.1.3</i>	<i>Geomorfologia</i>	<i>47</i>
<i>2.1.4</i>	<i>Vegetação</i>	<i>48</i>
2.2	Métodos	48
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
3.1	Caracterização morfológica	57
3.2	Caracterização física	61
3.3	Caracterização química	70
<i>3.3.1</i>	<i>Acidez do solo</i>	<i>71</i>
<i>3.3.2</i>	<i>Soma de bases (Valor S)</i>	<i>72</i>
<i>3.3.3</i>	<i>Fósforo</i>	<i>73</i>
<i>3.3.4</i>	<i>Valor T e Saturação por bases (V%)</i>	<i>74</i>
<i>3.3.5</i>	<i>Micronutrientes</i>	<i>75</i>
3.4	Classificação dos solos	77
3.5	Teores de carbono orgânico, nitrogênio e matéria orgânica do solo	79
3.6	Fracionamento químico da matéria orgânica	85
3.7	Repelência à água	90
4	CONCLUSÕES	93

5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
---	----------------------------------	----

CAPÍTULO II: CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS DE VÁRZEA DO BAIXO ACARAÚ-CE.....		100
---	--	------------

1	INTRODUÇÃO	100
---	-------------------------	------------

2	MATERIAL E MÉTODOS	102
---	---------------------------------	------------

2.1	Material.....	102
-----	----------------------	------------

2.1.1	<i>Aspectos gerais das áreas de estudo</i>	<i>102</i>
-------	--	------------

2.1.2	<i>Clima</i>	<i>106</i>
-------	--------------------	------------

2.1.3	<i>Geologia e geomorfologia.....</i>	<i>107</i>
-------	--------------------------------------	------------

2.1.4	<i>Vegetação</i>	<i>108</i>
-------	------------------------	------------

2.2	Métodos.....	108
-----	---------------------	------------

2.2.1	<i>Amostragem e preparo da amostra.....</i>	<i>108</i>
-------	---	------------

2.2.2	<i>Análise do complexo sortivo e extração de fósforo.....</i>	<i>109</i>
-------	---	------------

2.2.3	<i>Micronutrientes.....</i>	<i>109</i>
-------	-----------------------------	------------

2.2.4	<i>Granulometria.....</i>	<i>109</i>
-------	---------------------------	------------

2.2.5	<i>Condutividade elétrica</i>	<i>110</i>
-------	-------------------------------------	------------

2.2.6	<i>Teores de carbono orgânico do solo.....</i>	<i>110</i>
-------	--	------------

2.2.7	<i>Fracionamento químico da matéria orgânica</i>	<i>110</i>
-------	--	------------

2.2.8	<i>Teores de nitrogênio do solo.....</i>	<i>111</i>
-------	--	------------

2.2.9	<i>Difratometria de raio X.....</i>	<i>111</i>
-------	-------------------------------------	------------

2.2.10	<i>Descrição micromorfológica de laminas delgadas de solo.....</i>	<i>112</i>
--------	--	------------

2.2.11	<i>Ataque sulfúrico.....</i>	<i>113</i>
--------	------------------------------	------------

2.2.12	<i>Análise estatística.....</i>	<i>113</i>
--------	---------------------------------	------------

3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	113
---	-------------------------------------	------------

3.1	Caracterização morfológica	113
-----	---	------------

3.2	Caracterização química.....	120
-----	------------------------------------	------------

3.2.1	<i>Complexo sortivo.....</i>	<i>120</i>
-------	------------------------------	------------

3.2.2	<i>Sais solúveis</i>	<i>124</i>
-------	----------------------------	------------

3.2.3	<i>Micronutrientes.....</i>	<i>126</i>
-------	-----------------------------	------------

3.3	Classificação dos solos	127
-----	--------------------------------------	------------

3.4	Teores de carbono, nitrogênio e fracionamento químico	128
-----	--	------------

3.5	Ataque Sulfúrico	132
-----	-------------------------------	------------

3.6	Difratometria de raio-X.....	133
-----	-------------------------------------	------------

3.7	Micromorfologia	138
-----	------------------------------	------------

3.8	Gênese dos solos aluviais	147
4	CONCLUSÃO.....	148
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	150
	ANEXOS.....	153
1	DESCRIÇÃO GERAL DOS PERFIS DE SOLO	153

1 INTRODUÇÃO GERAL

As planícies litorâneas e fluviais têm sofrido grande pressão ambiental, seja para o cultivo de lavouras de subsistência ou expansão urbana desordenada. São ambientes com grande fragilidade ambiental e riscos, como por exemplo enchentes, sendo os estudos pedológicos importantes para orientar a classificação e recomendações de uso e manejo dos solos. As planícies fluviais apresentam grande potencial e importância para o uso agrícola, principalmente na Região Nordeste, cuja produção nestas áreas é responsável por abastecer o comércio regional, com lavouras conhecidas como de vazantes.

Os solos nestes ambientes são formados através do acúmulo de sedimentos de origem aluvial e/ou marinha de composição química e física variadas. A gênese destes solos, assim como seus atributos, está relacionada com a interação entre as características herdadas do material de origem e a evolução *in situ* deste material, influenciada pelo regime hídrico, temperatura, relevo e também pelo tipo de vegetação presente nestas áreas.

Solos formados em planícies, cuja drenagem torna-se impedida e a condição de saturação é prolongada, por vezes ocorre o acúmulo de material orgânico e o aumento dos teores de matéria orgânica no solo pode levar à formação de horizontes hísticos ou mesmo de um Organossolo. Esta classe de solos ocorre com maior frequência na Região Sul e Sudeste do Brasil, ocorrendo também na planície litorânea da zona da mata do Nordeste Brasileiro. Até o momento os escassos estudos sobre Organossolos da Região Nordeste, são concentrados do Estado de Pernambuco até a Bahia, com pouca informação sobre estes solos nos Estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba. A identificação destes solos é dificultada por baixa ocorrência, muitas vezes pela falta de conhecimento de sua existência e, por vezes, por estarem em áreas alagadiças de difícil acesso, em associação com outros solos mais frequentes. A compreensão da gênese e da dinâmica dos solos com elevados teores de matéria orgânica nestes ambientes de clima tropical são importantes para a adoção de critérios para o manejo e conservação destes solos, pois estão suscetíveis à rápida degradação.

Também nestes ambientes de deposição de sedimentos, que ocupam as porções costeiras, os vales e terraços dos rios entre os Estados do Ceará e Maranhão, são comuns a ocorrência de solos classificados como Planossolos, Vertissolos, Gleissolos e Neossolos Flúvicos. Em decorrência das condições do clima semi-árido,

estes solos estão sujeitos aos processos de salinização e solodização, sendo que nas estiagens, as áreas onde ocorrem podem estar drenadas e no período das chuvas inundadas e até submersas, o que pode dificultar o acesso a estas áreas. Solos afetados por sais ocorrem em extensas áreas da Região Nordeste e o uso agrícola, associada a práticas de irrigação, intensificam o processo de salinização e degradação destes solos e do ambiente.

Justifica-se a necessidade e a importância de analisar a atuação dos fatores de formação e de diferentes processos pedogenéticos ocorridos em algumas feições da paisagem que compõem o litoral Nordeste. Além de relacionar com a diversidade pedológica presente, uma vez que os solos e as paisagens em que se encontram se repetem ao longo do litoral nordestino.

Com isso, foi formulada a seguinte hipótese:

As propriedades químicas, físicas e mineralógicas de solos formados em ambientes de planície são em parte herança do material sedimentar, que se manifestam através de características morfológicas e/ou micromorfológicas.

Assim, os objetivos gerais deste trabalho foram os seguintes:

- Caracterizar solos com elevados teores de matéria orgânica, localizados em ambientes de planícies dos Estados do CE, RN e na PB, por meio de análises químicas, físicas, morfológicas e correlacioná-las com o ambiente de formação;
- Identificar atributos associados à gênese dos solos com elevados teores de matéria orgânica, possibilitando aumentar a inferência entre a taxonomia dos solos e as recomendações de uso e manejo; e
- Realizar a caracterização morfológica, física, química, mineralógica e micromorfológica de solos com elevados teores de sais originários de sedimentos aluviais e marinhos localizados na região do Baixo Acaraú, CE.

Esta dissertação foi subdividida em dois capítulos, cada qual especificando, com maior detalhe, os tipos dos solos formados nos respectivos ambientes, sejam eles influenciados pelos elevados teores de matéria orgânica ou de sais. O Capítulo I trata de solos com elevados teores de material orgânico, sendo utilizado para estes estudos perfis de solos coletados no Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba. O Capítulo II aborda a caracterização de solos aluvionares com elevados teores de sais, localizados no baixo curso do Rio Acaraú, CE. Os perfis de solos selecionados no capítulo II são representativos de solos dos estados do Ceará, Piauí e Maranhão, pois se repetem em vários desses ambientes fluviais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Geomorfologia de Ambientes Sedimentares

As áreas de depósitos sedimentares correspondem a terrenos geologicamente recentes (Quaternário), englobando os níveis continentais mais inferiores que acompanham a costa marinha, por vezes penetrando em direção ao interior do continente e que também podem ocupar ambientes fluviais (AB'SABER, 2000). Essas porções da paisagem são geradas pela interação, em diferentes intensidades, entre os processos oceânicos, continentais e atmosféricos (AB'SABER, 2000). A paisagem está relacionada principalmente com o material de origem que compõe a litosfera, com a variabilidade climática e dinâmica eustática, tendo a água como principal intermediadora, esculpindo através da erosão as formas do relevo ao longo dos anos (NEVES & NEVES, 2010).

O acúmulo dos sedimentos resultantes do intemperismo leva a formação de solos, cujo desenvolvimento é influenciado principalmente pelo relevo devido à dinâmica da água no solo, através da drenagem interna e da erosão (escoamento superficial); e pelo microclima, que interfere na temperatura do solo e condiciona o desenvolvimento de determinado tipo de vegetação no ambiente (GUERRA & CUNHA, 2004). Conseqüentemente, esses fatores refletem nas propriedades morfológicas dos solos, como a cor e espessura (GUERRA & CUNHA, 2004), além das suas propriedades físicas e químicas.

A diversidade de agentes e mecanismos atuantes nestes ambientes sedimentares, com destaque nos litorais, resulta em ambientes com distintas fisionomias e com características diversas (NEVES & NEVES, 2010). Dentre eles, destaca-se como mecanismo de modificação da costa, a oscilação do nível médio do mar após períodos de transgressão e regressão, causando migrações das linhas costeiras, passando seguidamente de feições submarinas para planícies costeiras e vice-versa, tendo sido alternadamente submetida aos processos de modelagem fluvial e marinha (GUERRA & CUNHA, 2007).

Neste caso, a atividade das águas oceânicas ao longo da costa se confronta com a influência das águas continentais dos rios, ambas exercendo papéis ora construtora, ora destruidora de formas e depósitos sedimentares, sendo responsáveis por moldar a fisionomia das paisagens costeiras (MARTINS, 2009; MEIRELES &

RAVENTOS, 2002). Como resultado, são formados compartimentos geomorfológicos costeiros a partir do acúmulo destes sedimentos, que documentam importantes episódios na evolução da paisagem e atuam como indicadores de eventos neotectônicos (MAIA & BEZERRA, 2011; IBGE, 2009; MEIRELES & RAVENTOS, 2002).

Os diferentes arranjos dos compartimentos gerados, situados na mesma porção da paisagem e que apresentam formas altimétricas semelhantes em seus diversos tipos de modelados são denominados unidades geomorfológicas. A geomorfogênese e a similaridade das formas destas unidades podem ser explicadas por fatores climáticos e paleoclimáticos, além dos condicionantes litológicos e estruturais. Seus comportamentos de drenagem, assim como os padrões e anomalias também são tomados como referência à medida que revelam as relações entre os ambientes e as condicionantes litológicas ou tectônicas (IBGE, 2009).

Estas unidades apresentam uma relativa instabilidade e fragilidade em função do seu contexto evolutivo na paisagem, além disso, favorece a formação de uma grande variedade de classes de solos como produto da interação entre os diferentes fatores atuantes nestes ambientes litorâneos.

Serão abordadas neste estudo as unidades geomorfológicas denominadas planícies e terraços, ambas formadas por sedimentos de origem mista, sejam aluviais e/ou marinhos, e que se destacam pela diversidade de solos e ambientes gerados, apresentando (MARTINS, 2009; COELHO et al., 2010; SANTOS et al., 2006a; EMBRAPA, 1971, 1972 e 1973), conseqüentemente, características específicas e identidade própria, algumas vezes evidenciando condições de formação diferentes das encontradas atualmente, mas que ainda influem em sua dinâmica.

2.1.1 Planícies

As planícies aluviais, também conhecidas como planícies de inundação ou várzeas, são ambientes que estão relacionadas com o regime climático e hidrológico de uma determinada bacia de drenagem. Elas são formadas por sedimentos aluviais, compostos de materiais clásticos de granulometria variável, ou orgânico, sendo estes de origem holocênica. As planícies ocorrem normalmente no baixo curso dos rios onde o relevo é mais aplainado, o gradiente topográfico é menor e ocorrem meandros mais divagantes. Isso favorece que a energia fluvial também seja reduzida, acarretando em uma diminuição na capacidade de transporte dos sedimentos no rio e no aumento da

deposição destes sedimentos no fundo dos canais, colmatando o vale. Em épocas de cheia, ocorre o extravasamento do canal fluvial causando inundações periódicas na região e promovendo o preenchimento destas calhas pelos sedimentos fluviais (IBGE, 2009; SOUZA et al., 1979).

Estes ambientes são bastante complexos e revelam o passado através de uma série de mudanças climáticas que alteraram as condições ambientais, produzindo aspectos muito diferenciados. Os diversos fatores climáticos intervêm no regime dos rios e, conseqüentemente, na dinâmica das águas, produzindo depósitos característicos de cada regime. (BIGARELLA, 1984). Nestes sistemas, as taxas de entrada e saída de sedimentos permanecem em condição de equilíbrio, sem aumento ou diminuição, por um determinado período de tempo, até que haja alguma alteração das condicionantes climáticas, resultando num desequilíbrio do sistema que provoca alteração nas planícies, com a degradação e agradação de novas feições na paisagem (LEOPOLD et al., 1964).

Já as planícies costeiras, também denominadas planícies litorâneas (Figura 1), são resultantes da deposição de sedimentos predominantemente marinhos, que ocorrem em faixas praticamente contínuas ao longo do litoral, sendo interrompidas apenas na foz dos rios (IBGE, 2009). Apresentam largura variável, onde sua maior ou menor expressão ao longo do litoral se deve à posição dos tabuleiros costeiros que são adjacentes (MARTINS, 2009; MUEHE, 2007; EMBRAPA, 1972).

Figura 1: Planície costeira localizado na região do Baixo Acaraú (Foto do autor).



São feições de superfícies relativamente planas e baixas, formadas por meio dos processos de avanço e recuo das linhas da costa vinculadas às ações dos agentes

morfológicos (ventos e marés) e eventos eustáticos, que também estão associados aos efeitos das mudanças climáticas (MEIRELES et al., 2005), as quais controlaram a distribuição das areias, a posição e intensidade da deriva litorânea e, como consequência o nível de erosão/deposição e, por último, a disponibilidade de material para a formação dos depósitos eólicos (MEIRELES & MAIA, 1998).

São integrantes desta feição as praias, dunas e restingas, que se formam nas planícies de inundações em zonas com influência das marés (IBGE, 2009). As planícies flúvio-marinhas são desenvolvidas através de processos combinados de agentes fluviais e marinhos, e que marcam a paisagem da planície litorânea, formando um ambiente para a fixação de mangues que se dispõem longitudinalmente às calhas fluviais próximo às embocaduras dos rios (SOUZA et al., 1979).

De forma geral, as planícies apresentam terrenos formados por sedimentos de granulometria variada, havendo no litoral, predomínio de sedimentos arenosos. Estas áreas são representadas principalmente por solos da ordem dos Neossolos Quartzarênicos. Quando a saturação do solo favorece condições de hidromorfismo, principalmente em áreas de ocorrência de mangues e várzeas, podem ser formados Gleissolos e Organossolos (EMBRAPA, 1972). As restingas, que são áreas associadas aos terraços marinhos, também são caracterizadas pela ocorrência de Espodossolos, além dos Neossolos Quartzarênicos (COELHO et al., 2010).

2.1.2 Terraços

Os terraços fluviais, também chamados de terraços aluviais (Figura 2), são feições que apresentam nível topográfico mais alto do que o nível atual da planície aluvionar, representando antigas planícies de inundação que foram abandonadas, servindo como testemunho de um período da evolução desta planície na paisagem.

Morfologicamente, os terraços surgem como patamares planos ou levemente aplainados, de largura variada (IBGE, 2009), limitados por uma escarpa em direção ao curso d'água. Dentre as várias explicações para o abandono da planície e formação dos terraços podem ser citadas: A evolução geomorfológica do ambiente causada pelas mudanças climáticas e/ou pelos processos orogênicos e epirogênicos que se refletem na mudança de poder erosivo da corrente fluvial por aumento de sua competência; do gradiente topográfico e/ou de mudanças do nível base, que leva a erosão da própria planície e deixa como testemunho estes terraços (MARTINS, 2009).

Figura 2: Terraço aluvial localizado na região do Baixo Acaraú. A direita encontra-se o rio Acaraú (Foto do autor).



Nos ambientes marinhos, os terraços ocorrem na porção denominada pós-praia, situadas nas baixadas litorâneas pleistocênicas e holocênicas, em níveis diferentes do atual nível médio do mar. São terrenos topograficamente mais elevados que as planícies e levemente inclinados, que apresentam ruptura de declive em relação à planície marinha recente, entalhada em consequência de variação do nível do mar, por processos erosivos ou, ainda, por neotectônica, favorecendo a deposição de sedimentos arenosos e argilo-arenosos ao longo da costa. (MUEHE, 2007; BULLINGER-WEBER & GOBAT, 2006; GUERRA, 1978; IBGE, 2009).

Nas áreas onde estão presentes os terraços é comum nos levantamentos de solos, a ocorrência de unidades simples, associações/complexos ou zonas de solos indiscriminados, apresentando classes tais como de Vertissolos, Planossolos, Neossolos Flúvicos, Gleissolos, Cambissolos e Organossolos (EMBRAPA, 1972 e 1971).

Alguns destes solos, por apresentarem drenagem com algum impedimento, proximidade com o mar e condições favoráveis a inundações temporárias, associados ao clima semi-árido, cujas taxas de evaporação são maiores que as de precipitação, podem favorecer o aumento das concentrações de sais solúveis nos horizontes superficiais (VALLADARES, 2009). Estas áreas litorâneas, além do fornecimento de sais, também recebem sulfetos pela influência marinha, que afetam a gênese dos solos presentes nestes ambientes e podendo levar à formação de horizontes sulfúricos devido à forte oxidação de materiais sulfídricos após a drenagem, resultando em brusca redução do pH

dos solos para valores inferiores a 3,5 (SANTOS et al., 2006b). Estas condições de salinidade e tiomorfismo muitas vezes limitam o uso agrícola nestas regiões litorâneas.

2.2 Processos Pedogenéticos na Formação de Solos em Ambientes Costeiros

Sedimentos são materiais derivados do intemperismo e erosão de rochas ou de depósitos sedimentares inconsolidados de outra natureza (exemplo: matéria orgânica), transportados pela água ou vento e acumulados na paisagem. Estes materiais são retirados de um local de origem, carregados em suspensão pelas águas e depositados ao longo do leito de rios (BOETTINGER, 2004; GUERRA, 1978), formando depósitos de sedimentos que dão início á formação de solos. O acúmulo destes sedimentos também pode estar associado à interferência marinha ao longo da costa, por vezes intercalada com os rios, como nos deltas e na foz dos rios.

Estas áreas de deposição de sedimentos apresentam profundidade e distribuição bastante variáveis e irregulares, assim como também são distintas suas características químicas e físicas, que se alteram em função do material que os constituem, do regime hídrico e do ambiente de deposição destes sedimentos, refletindo diretamente nas propriedades destes solos (MENDONÇA, 1999).

De acordo com Bullinger-Weber & Gobat (2006), a gênese dos solos aluviais está relacionada com a interação entre a herança do material de origem e a evolução *in situ* deste sedimento, situado em um ambiente heterogêneo. A composição química e mineralógica dos sedimentos é influenciada pela variação litológica ou tipo de material a partir do qual são derivados. Também a granulometria destes solos apresenta variações, principalmente em função da distribuição relativa de tamanho de partícula no sedimento, que depende principalmente da energia do ambiente fluvial na qual os sedimentos foram depositados, pois quanto mais alta a energia, maior o tamanho das partículas que serão transportadas (BULLINGER-WEBER & GOBAT, 2006; BOETTINGER, 2004).

A resultante destas interações durante a gênese dos solos se reflete nas características morfológicas, apresentando variação da coloração e profundidade, assim como nos teores de matéria orgânica, no que se refere à distribuição errática do conteúdo de carbono em profundidade que não esteja relacionado com processos pedogenéticos (SANTOS et al., 2006b; BOETTINGER, 2004).

Por serem formados a partir de deposições recentes de sedimentos, os solos gerados em ambientes costeiros (fluvial e marinho) são ditos como pouco desenvolvidos (BULLINGER-WEBER & GOBAT, 2006). Esses solos têm baixo grau de desenvolvimento pedogenético, pouco diferindo das camadas de sedimentos que o compõe e com fraca estruturação física entre as partículas primárias. Assim, esta combinação entre os processos geomorfológicos e pedológicos são as principais propriedades que os solos aluviais apresentam e que auxiliam na sua interpretação (BULLINGER-WEBER & GOBAT, 2006).

Outra característica particular de solos aluviais é a estratificação, caráter formado pela alternância entre camadas e sobreposição de sedimentos com materiais diferentes, não havendo relações pedogenéticas entre os extratos. A estratificação se dá com a ocorrência de uma nova deposição de sedimento que enterra e afasta a camada superficial de solo pré-existente da zona de pedogênese ativa. Essas camadas estratificadas permitem que os solos sirvam como modelo de estudo para avaliar e estimar o grau de pedogênese, as instabilidades da paisagem ao longo do tempo, e pedoturbações, bem como informam o período em que houve sobreposição de sedimentos e estimam condições ambientais pretéritas (BULLINGER-WEBER & GOBAT, 2006).

Como critérios taxonômicos, o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SiBCS) atribuiu aos solos formados por sedimentos, que apresentam camadas de estratificação e baixo grau de desenvolvimento pedogenético, o caráter flúvico, usados na separação de solos da classe no segundo nível categórico dos Neossolos e dos Cambissolos (SANTOS et al., 2006b).

2.2.1 Solos saturados e solos com acúmulo de matéria orgânica

Os solos formados por sedimentos situados em várzeas e terraços aluviais, muitas vezes são influenciados pelo lençol freático elevado, cujo nível médio oscila ao longo do ano em decorrência das estações mais chuvosas ou mesmo das marés, como em áreas mais próximas do litoral. São solos imperfeitamente a mal drenados que apresentam riscos de inundações periódicas em função de seu posicionamento na paisagem (áreas de baixada e depressões), podendo ficar em condição de saturação permanente ou prolongada, afetando fortemente a gênese destes (FANNING & FANNING, 1989).

Nas condições de saturação pela água, os solos passam a apresentar propriedades morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas específicas e distintas de solos que apresentam drenagem livre, sendo definidas pelo grau de hidromorfismo no qual foram submetidos. Estas condições de saturação caracterizam os solos denominados hidromórficos e o principal processo pedogenético presente é a gleização (FANNING & FANNING, 1989; BREMMEN & BUURMAN, 2002), que possibilita a formação dos solos com horizonte ou camadas glei e dos Gleissolos.

No processo de gleização, a saturação do solo com água afeta a difusão dos gases no sistema e conseqüentemente o fornecimento de oxigênio para os microrganismos decompositores aeróbicos presentes no solo, resultando na escassez do O₂ livre. Na ausência deste gás, microrganismos anaeróbicos utilizam outros compostos como aceptores de elétrons nas reações para a decomposição da matéria orgânica do solo, tais como o NO³⁻ e SO₃⁻² (em menor quantidade no solo), além do Fe³⁺, Mn⁴⁺ e o Mn³⁺ (mais abundantes). Estes dois últimos são reduzidos a Fe²⁺ e Mn²⁺, formando compostos solúveis, que são dissolvidos na solução do solo e se movem por fluxo de massa ou por difusão. A ausência destes compostos no solo permite que outros constituintes expressem sua cor, tais como o quartzo (comumente presente nas frações silte e areia) e a caulinita (fração argila), atribuindo à matriz do solo coloração cinzenta ou neutra. Nestas condições, pode ocorrer a presença de mosqueados de coloração mais viva, que são formados como conseqüência da segregação do ferro oxidado em zonas de aprisionamento de oxigênio, como em poros e próximos às raízes (FANNING & FANNING, 1989; BREMMEN & BUURMAN, 2002; SANTOS et al., 2006b).

Em condições de clima tropical, nos ambientes de várzeas, ocorre o desenvolvimento de vegetação adaptada às condições de saturação, assumindo grande importância no aporte de biomassa no solo e favorecendo o fornecimento de material orgânico ao sistema. O conteúdo de matéria orgânica do solo tende a estabilizar em função do equilíbrio entre as taxas de adição de resíduos vegetais e de perda destes através da decomposição pelos microrganismos existentes no solo. A condição de anaerobiose do solo restringe a atividade microbiana, reduzindo a decomposição do resíduo vegetal aportado sobre o solo e favorecendo que as taxas de adição sejam maiores que a decomposição deste resíduo orgânico, isso favorece o incremento dos teores de C no solo e espessamento da camada de sedimentos orgânicos, de centímetros a alguns metros, dependendo das condições do ambiente (ANDRIESSE, 1984;

MENDONÇA, 1999; SCHAETZL & ANDERSON, 2005; SANTOS et al., 2006; PEREIRA et al., 2005). A este processo dá-se o nome de paludização.

Por definição, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos solos (SiBCS - SANTOS et al., 2006b), o material do solo é de constituição orgânica quando os seus teores de carbono orgânico são maiores que 80 g por kg de terra fina seca ao ar (TFSA). E quando este material apresenta espessura maior ou igual a 20 cm, ou 10 cm quando sobrejacente ao contato lítico, é denominado horizonte hístico. Por sua vez, solos com horizontes hísticos de espessura maior que 40 cm, sobrejacentes a horizontes A, B ou camada C, são classificados como Organossolos.

Segundo o Código Florestal Brasileiro, as áreas de várzea devem ser destinadas à preservação permanente para a proteção das cabeceiras de drenagem, rios e dos pontos de surgências hídricas. As áreas de várzea se tratam de um ecossistema rico quanto ao recurso solo e pela diversidade biológica, além de atuarem como filtros no ciclo da água e como controladores do escoamento superficial e subsuperficial (SÁ, 2007; PROVARZEA, 2010).

As áreas de várzea apresentam grande fragilidade ambiental, sendo suscetíveis ao soterramento por sedimentos oriundos de processos erosivos das encostas adjacentes, resultante do uso agrícola, podendo formar espessas camadas de sedimentos minerais sobre o material orgânico. Isso promove a diminuição da capacidade de suporte e potencial de depuração da água devido à diminuição das cargas, acarretando em prejuízo na qualidade da água que transita nestes solos antes de adentrar nos córregos e rios (SÁ, 2007). Existem poucos esforços para a conservação do ambiente de várzea, havendo falta de políticas específicas para promover a gestão da terra e o desenvolvimento sustentável desses ambientes (PROVARZEA, 2010).

Os solos saturados por muito tempo foram tratados de forma generalizada na paisagem devido a falta de informação e levantamento de dados, associado à dificuldade no acesso e por vezes pela sua pouca representatividade na paisagem e/ou à baixa aptidão agrícola. Estes solos que apresentam horizontes hísticos, quase sempre foram mapeados em associação com outros solos hidromórficos, tais como Gleissolos e Neossolos Flúvicos, chamados de forma generalizada de solos hidromórficos (JACOMINE, 2005; PEREIRA et al., 2005). Devido a esta generalização e classificação errônea, as áreas de ocorrência dos Organossolos foram subestimadas quando à extensão que ocupavam na paisagem, tanto que esta classe não é listada entre as classes de solos que ocorrem no país. Atualmente ainda não se tem conhecimento ao certo da

extensão de ocorrência dos Organossolos, sendo o valor estimado em aproximadamente 0,07% do território nacional (PEREIRA et al., 2005).

A matéria orgânica (MO) é um componente essencial na composição dos solos, principalmente de climas temperados. É fonte básica de energia para a atividade biológica e fonte primária de nutrientes às plantas, desempenhando um papel importante nas propriedades químicas físicas, morfológicas e biológicas do solo (VOLKOFF & CERRI, 1980; SPOSITO, 1989; ZECK, et al., 1997).

O teor de matéria orgânica no solo (MOS) é o primeiro quesito usado na classificação dos solos, distinguindo-os quanto a sua constituição, se mineral ou orgânica. Além disso, a quantidade da matéria orgânica encontrada nos solos tem servido como um importante indicador de sua qualidade, visto que é sensível a pequenas alterações no sistema, principalmente no que se refere a intervenção antrópica.

Nas regiões semi-áridas a vegetação escassa, associada às temperaturas elevadas, favorecem a rápida mineralização do pouco resíduo vegetal aportado, por isso estes solos são geralmente pobres em compostos orgânicos e o comportamento destes é pouco estudado. No entanto, mesmo em pequenas quantidades, reflete em melhorias significativas nas propriedades dos solos (VOLKOFF & CERRI, 1980).

Em solos afetados por sais, a matéria orgânica exerce papel fundamental no processo de agregação das partículas, aumentando a condutividade hidráulica e favorecendo a infiltração de água no solo. No entanto sua adição pode favorecer a ocorrência de efeitos negativos associados ao aumento da dispersão das argilas devido a maior afinidade dos compostos orgânicos pelo Ca. Isso levaria a um incremento de sódio na superfície das argilas, causando um desequilíbrio entre as proporções de cálcio e sódio presentes nos colóides orgânicos e minerais (MIRANDA, 2009). Associado ao aumento dos teores de sais nos solos, ocorre o aumento da solubilidade da matéria orgânica causado em decorrência dos valores elevados de pH no solo, mobilizando matéria orgânica, seja na forma de colóides orgânicos ou como complexos argilominerais das camadas mais superficiais ou mesmo levando a perda no sistema (BREEMEN & BUURMAN, 2002; MIRANDA, 2009).

Outra forma de se avaliar a qualidade da MOS tem sido a quantificação dos teores de carbono relacionados às frações de substâncias húmicas (SH) (CUNHA et al., 2000), uma vez que estas substâncias, formadas através da transformação de biomoléculas durante o processo de decomposição de resíduos orgânicos, representam a maior parte da fração orgânica do solo, cerca de 70% (STEVENSON, 1994).

Com base em estudos desenvolvidos por Kononova (1966) avaliando as características de solubilidade e as propriedades químicas dos compostos húmicos presentes no solo, foram obtidos, a partir do fracionamento da matéria orgânica, três frações principais de compostos orgânicos classificados em: os ácidos húmicos e ácidos fúlvicos, que são extraídos por meio de uma solução alcalina; e a fração humina, que é o resíduo insolúvel composto de materiais húmicos e não húmicos.

Os ácidos húmicos apresentam maior peso molecular quando comparados com os ácidos fúlvicos, indicando que estes compostos apresentam maior grau de polimerização e um estágio mais avançado de humificação (STEVENSON, 1982; SPOSITO, 1989; GUERRA et al., 2008). Eles estão mais relacionados com a agregação e estabilidade das partículas do solo, além de contribuir para o aumento da solubilidade do P e da capacidade de reter metais pesados e também nutrientes essenciais às plantas (CANELLAS et al., 2000).

Os ácidos fúlvicos representam compostos humificados que permanecem solúveis tanto em solução alcalina como em meio aquoso, pela sua maior polaridade. Apresentam menor peso molecular e mais grupamentos carboxílicos por unidade de massa, quando comparados com os ácidos húmicos (KONONOVA, 1966; STEVENSON, 1982 SPOSITO, 1989). São compostos que apresentam elevado grau de oxidação e maior acidez, favorecendo elevada CTC, maior reatividade e menor estabilidade (BENITES et al., 2003; SPOSITO, 1989; STEVENSON, 1982).

A fração humina apresenta estruturas químicas e propriedades similares aos ácidos húmicos, diferindo das demais frações por apresentar forte interação com a fase mineral do solo e com a água e estar menos sujeita a ação dos microrganismos (GUERRA et al., 2008; BENITES et al., 2003; SPOSITO, 1989).

Os estudos relacionados à caracterização das substâncias húmicas em solos com elevados teores de matéria orgânica tem revelado a importância destes compostos na compreensão das propriedades químicas, físicas e morfológicas destes solos e a relação com seus ambientes de formação. Dentre os estudos desenvolvidos, pode ser citado o trabalho de Valladares et al. (2003), que propôs a utilização dos teores de substâncias húmicas como um atributo diagnóstico a fim de possibilitar a diferenciação dos Organossolos nos níveis de família e série. Em seguida Fontana et al. (2008, 2010 e 2011), também propuseram a utilização de diferentes teores das frações húmicas como atributo diagnóstico em níveis inferiores de diversas classes e horizontes diagnósticos

com elevados teores de matéria orgânica, tanto minerais (A chernozêmico, A húmico e B espódico) como orgânicos (H e O hístico).

2.2.2 *Acúmulo de sais nos solos*

Os solos afetados por sais caracterizam-se por apresentar elevadas concentrações de sais solúveis em virtude do acúmulo nos solos de cátions como o cálcio, magnésio, sódio e potássio, e por ânions como o cloreto, sulfato, carbonato e bicarbonato (BREEMEN & BUURMAN, 2002; RIBEIRO et al., 2003; MIRANDA et al., 2008). Dependendo das concentrações destes sais e da distribuição entre os cátions e ânions, os solos formados podem apresentar distinções nas suas características morfológicas e nas suas propriedades físicas e químicas (MIRANDA et al., 2008).

Os solos podem estar mais ou menos predispostos à salinização, assim como apresentar variações quanto à intensidade de ocorrência (CORRÊA et al., 2003). Logo, a formação de solos salinos está atrelada a fatores pedogenéticos, os quais interferem na ocorrência, na extensão e nos teores de sais no solo. Dentre eles ressalta-se a influência da formação geológica predominante na paisagem e do material de origem do solo, em função dos tipos de minerais na sua constituição (FANNING & FANNING, 1989; CHHABRA, 1996; BREEMEN & BUURMAN, 2002) que, através do intemperismo químico, liberam aos solos elementos como os cátions Ca, Na, K e Mg. Estudos desenvolvidos por Moreira et al. (1989), Mota & Oliveira (1999), Corrêa et al. (2003), dentre outros autores, apontam para a importância da presença de minerais primários intemperizáveis (feldspatos, hornblendas, plagioclásios e biotita) para o fornecimento e aumento da concentração de sais no solo do nordeste brasileiro e para a formação dos solos nesta região.

A topografia e a localização das áreas, que estão relacionadas com a condição de drenagem do solo e com os limites de influência do lençol freático, podem favorecer a formação de ambiente com drenagem imperfeita, devido o acúmulo da água nas baixadas provenientes das partes mais altas da paisagem. Esta água geralmente apresenta elevados teores de sais oriundos da lixiviação dos solos e, quando ocorre a sua evaporação, os sais permanecem no solo, havendo aumento da concentração de sais em superfície (SCHAETZL & ANDERSON, 2005). Além disso, ambientes ao longo da linha costeira também têm influência marinha através da umidade do ar trazida do oceano (*sea-spray*), também das marés e inundações eventuais (FANNING &

FANNING, 1989; CHHABRA, 1996; BREEMEN & BUURMAN, 2002; RIBEIRO et al., 2003), que transportam sais para os solos das baixadas litorâneas e proximidades.

O clima, geralmente de condições áridas e semi-áridas, onde as taxas de evapotranspiração são maiores que as de precipitação, também pode favorecer no processo de salinização através da ascensão capilar da água do lençol freático. Nestas circunstâncias, a água na superfície do solo evapora e os sais não são lixiviados, acumulando-se em superfície (FANNING & FANNING, 1989; CHHABRA, 1996; BREEMEN & BUURMAN, 2002; RIBEIRO et al., 2003; RUIZ, et al., 2006). Dependendo das concentrações destes sais em superfície é possível observar a eflorescência dos cristais de sais recobrendo a superfície dos solos ou os agregados (Figura 3).

Figura 3: Eflorescência salina em Vertissolo localizado no Baixo Acaraú-CE (Foto do autor).



O aumento das concentrações de sais no solo em decorrência de causas naturais é denominado de salinização primária. No entanto, outro fator importante que contribui para a salinização é a intervenção antrópica, através da adoção de práticas de irrigação e manejo do solo (CHHABRA, 1996; BREEMEN & BUURMAN, 2002; RIBEIRO et al., 2003; RUIZ, et al., 2006), que propiciam ou agravam as condições de salinidade, principalmente em solos com problemas de drenagem, onde o processo de salinização pode ser acelerado pelo uso da irrigação com água contendo altas concentrações de sais (OLIVEIRA et al., 2002; MEDEIROS et al., 2003).

O aumento da concentração de sais solúveis no solo conduz a um aumento da condutividade elétrica e também da tensão osmótica da solução do solo, que reduz a capacidade de absorção de água pelas plantas, além de favorecer o acúmulo em quantidades tóxicas de íons e causar distúrbios nutricionais (CHHABRA, 1996; BREEMEN & BUURMAN, 2002; RIBEIRO et al., 2003), além de alterar as condições de estruturação física do solo, tornando-o desfavorável ou até impedindo o desenvolvimento das plantas.

Os critérios usados para a classificação dos solos afetados por sais são baseados nas características químicas: valor de condutividade elétrica do extrato de saturação (CE) e o percentual de sódio trocável (PST), o qual é calculado a partir da relação entre o teor de sódio e o Valor T de determinada camada ou horizonte. Desta forma, camadas ou horizontes que apresentam valor de PST variando entre 6% e 14% são classificados como solódicos, e valores de PST iguais ou maiores que 15% classificam camadas ou horizontes como sódicos. A condutividade elétrica indica a quantidade de sais solúveis presente nos solos em quantidades que podem interferir no desenvolvimento das plantas. Valores de CE maiores que 4 e menores que 7 dS m^{-1} atribuem a camadas ou horizontes do solo o caráter salino, e para valores iguais ou maiores que 7 dS m^{-1} , o caráter sálico (SANTOS et al., 2006b).

Os atributos definidos para estes solos são usados para diferenciar solos no Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos em níveis hierárquicos mais baixos, classificando os solos no segundo (Gleissolos e Planossolos), terceiro (Gleissolos, Planossolos Cambissolos, Neossolos Flúvicos e Vertissolos) e no quarto níveis categóricos, dependendo da sua importância nos processos pedogenéticos envolvidos e nas suas restrições quanto ao uso agrícola (RIBEIRO et al, 2003; SANTOS et al., 2006b).

Os solos localizados próximos ao litoral podem apresentar, além da salinidade, um horizonte sulfúrico, gerado pela oxidação de materiais sulfídricos. Este atributo classifica os solos como tiomórficos, sejam eles de natureza mineral ou orgânica, caracterizados por se desenvolverem sob condições mais restritas (SANTOS et al., 2006b).

Para o desenvolvimento deste horizonte no solo, são necessárias condições que propiciem o fornecimento de sulfatos, geralmente associado à influência marinha, e de sedimentos minerais de origem flúviomarinhas que contenham ferro. Deve haver também a disponibilidade de matéria orgânica decomponível e um ambiente que

condicione a saturação do solo, comumente com água salobra. A principal fonte de enxofre no sistema é a água do mar. Nestes ambientes redutores, os microrganismos contidos no solo são capazes de decompor a matéria orgânica disponível utilizando como receptores de elétrons o sulfato, que por sua vez é reduzido a sulfeto. O sulfeto produzido reage com o ferro e precipita-se na forma de sulfeto de ferro que, por ser mais instável, acaba levando a formação da pirita (FeS_2) como produto final (FANNING & FANNING, 1989; BREEMEN & BUURMAN, 1998).

Logo, a formação da pirita pode ser descrita pela seguinte equação:



Para a produção da pirita é necessário que haja oferta de O_2 , condição esta favorecida em decorrência das oscilações dos níveis de influência do mar causadas pelas marés. A medida que a maré baixa ocorre o recuo das águas, entrada de oxigênio no sistema e remoção do bicarbonato formado durante a redução de sulfato, condicionando a redução do pH, que acelera significativamente a formação de pirita (FANNING & FANNING, 1989; BREEMEN & BUURMAN, 1998).

No entanto, a pirita é instável em condições de aerobiose, e com a drenagem prolongada ou permanente de materiais sulfídricos, ocorre a oxidação da pirita levando a formação principalmente da jarosita e, juntamente com o produto final, também há a formação de H_2SO_4 , que em solução, dissocia-se liberando H^+ . A jarosita pode segregar na forma de mosqueados amarelos que comumente caracterizam o horizonte sulfúrico. Se a capacidade de neutralização do solo for ultrapassada, o pH do solo reduz bruscamente, atingindo valores menores que 3 (BREEMEN & BUURMAN, 1998; SANTOS et al., 2006b).

Nestas condições de extrema acidez, os solos passam a apresentar elevados teores de hidrogênio, incremento na solubilidade de Al, Mn e Fe alcançando níveis tóxicos para as plantas. Há decréscimo dos teores de fósforo e redução na disponibilidade de Mo, impossibilidade de absorção fisiológica de Ca, Mg e P, além de ser frequentemente notado odor forte oriundo das elevadas concentrações de H_2S . Nestas condições há o impedimento no ciclo do N em função da redução da atividade completa ou parcial das bactérias responsáveis pelo processo de fixação no N no solo (BREEMEN & BUURMAN, 1998).

Segundo Santos et al. (2006b), para os solos serem classificados como tiomórficos é necessário a existência de um horizonte sulfúrico cujos valores de pH sejam menores que 4,0 e estar associado à concentração de pirita ou de materiais

sulfídricos imediatamente subjacentes dentro de 100 cm da superfície do solo. No Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), este atributo diagnóstico é utilizado na definição das subordens dos Gleissolos Tiomórficos e dos Organossolos Tiomórficos.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER. Fundamentos da geomorfologia costeira do Brasil Atlântico Inter e Subtropical. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 1, n. 1, p. 27-43, 2000.

ANDRIESSE, J.P. Uso de solos orgânicos em condições tropicais e subtropicais aliado às possibilidades brasileiras. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE SOLOS ORGÂNICOS, 1984, Curitiba. **Anais...** Curitiba: MA / Provárzeas Nacional, Embrater, Seag - Paraná e Acarpa / Emater - Paraná, 1984. p. 11-34.

BENITES, V.M.; MADARI, B.; MACHADO, P.L.O.A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos (Comunicado Técnico, 16), 2003. 7p.

BIGARELLA, J.J. Ambiente de fundo de vale. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE SOLOS ORGÂNICOS. 1984. Curitiba, **Anais...** Curitiba: MA / Provárzeas Nacional, Embrater, Seag - Paraná e Acarpa / Emater - Paraná, 1984. p. 49-54.

BOETTINGER, J.L. Alluvium and alluvial soils. *In*: HATFIELD, J.L.; SCOW, K.M.; POWLSON, D.S.; SINGER, M.J.; ROSENZWEIG, C.; SPARKS, D.L. (Eds.) **Encyclopedia of Soils in the Environment**. 2004. p. 45-40.

BREEMEN, N.V. & BUURMAN, P. **Soil formation**. 2. ed. Dordrecht, Kluwer Academic, 2002. 404 p.

BULLINGER-WEBER. G & GOBAT J.M. Identification of facies models in alluvial soil formation: The case of a Swiss alpine floodplain. **Geomorphology**. v. 74, p. 181-195. 2006.

CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A.; MORAES, A. A.; RUMJANEK, V. M.; OLIVARES, F. L. Avaliação de características de ácidos húmicos de resíduos de origem urbana: I Métodos espectroscópicos (UV-Vis, IV, RMN 13C-CP/MAS) e microscopia eletrônica de varredura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 741-750, 2000.

CHHABRA, R. **Soil salinity and water quality**. Rotterdam, A.A. Publishers, 1996. 283p.

COELHO, M.R., MARTINS, V.M; VIDAL-TORRADO, P.; SOUZA, C.R.G.; PEREZ, X.L.O.; VÁZQUEZ, F.M. Relação solo-relevo-substrato geológico nas Restingas da planície costeira do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 833-846, 2010.

CORRÊA, M. M.; KER, J. C.; MENDONÇA, E. S.; RUIZ, H. A.; BASTOS, R. S. Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região das várzeas de Sousa (PB). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p.311-324, 2003.

CUNHA, T.J.F.; MENEGUELLI, N.A.; CONCEIÇÃO, M.; MACHADO, P.L.O.A.; FREIXO, A.A. **Avaliação de extratores de substâncias húmicas de um Latossolo Vermelho Distroférrico**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. 15p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa, n.7).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA - SNLCS. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Rio grande do Norte**. SUDENE-DRN/Ministério da Agricultura, DNPEA-DPP, Recife. (Brasil.

Ministério da Agricultura - DNPEA-DPP, Boletim Técnico 21; SUDENE, Série Pedologia 9), 1971.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA - SNLCS. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado da Paraíba.** SUDENE-DRN/Ministério da Agricultura, DNPEA-DPP, Rio de Janeiro (Brasil. Ministério da Agricultura - DNPEA-DPP, Boletim Técnico 15; SUDENE, Série Pedologia 8), 1972.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA - SNLCS. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Ceará.** SUDENE-DRN/Ministério da Agricultura, DNPEA-DPP, Recife, vol. I e II. (Brasil. Ministério da Agricultura - DNPEA-DPP, Boletim Técnico 28; SUDENE, Série Pedologia 16). 1973.

FANNING, D. S.; FANNING, M. C. B. **Soil morphology, genesis and classification.** New York, John Wiley & Sons, 1989. 395 p.

FONTANA, A.; BENITES, V.M.; PEREIRA, M.G. & ANJOS, L.H.C. Substâncias húmicas como suporte à classificação de solos Brasileiros. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, p. 2073-2080, 2008.

FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; BENITES, V.M. Quantificação e utilização das frações húmicas como característica diferencial em horizontes diagnósticos de solos Brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p.1241-1257, 2010.

FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; BENITES, V.M. Classificação de horizontes diagnósticos em níveis hierárquicos inferiores com base nas frações húmicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p.313-324, 2011.

GUERRA, A.T. **Dicionário geológico-geomorfológico.** 6. ed. revisada. Rio de Janeiro: IBGE. 1978, 448 p.

GUERRA, J.T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia uma Atualização de Bases e Conceitos.** 5. ed, Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2004.

GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007, 365 p.

GUERRA, J.G.M.; SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CAMARGO, F.A.O. Macromoléculas e substâncias húmicas. *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.** 2ª Ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 19-25.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. **Manual técnico de geomorfologia.** (Manuais técnicos em geociências número 5), 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 182 p.

JACOMINE, P.K.T. Origem e evolução dos conveitos e definições de atributos, horizontes e classes de solos (SiBCS). *In*: TORRADO, P.V.; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M.; SILVA, A.P. e CARDOSO, E.J., eds **Tópicos em Ciência do Solo.** Viçosa, v.4, 2005, p. 193-231.

KONONOVA, M.M. **Soil organic matter.** 2. ed. Pergamon Press, Oxford, UK. 1966.

LEOPOLD, L.B.; WOLMAN, M.G.; MILLER, J.P. **Fluvial Processes in Geomorphology**. San Francisco, W.H. Freeman, 1964.

MAIA, R.P.; BEZERRA, F.H.R. Neotectônica, geomorfologia e sistemas fluviais: Uma análise preliminar do contexto nordestino. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.12, n. 3, p. 37-46, 2011.

MARTINS, V.M. **Relação solo-relevo-substrato geológico na planície costeira de Bertioga (SP)**. 273 f. 2009. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 2009.

MEDEIROS, J.F.; LISBOA, R.A.; OLIVEIRA, M.; SILVA JÚNIOR, M.J.; ALVES, L.P. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n. 3, p. 469-472. 2003.

MEIRELES, A.J.A. & MAIA, L.P. Indicadores morfológicos de los cambios del nivel del mar en la llanura costera de Ceará – nordeste de Brasil. In: ORTIZ, A.G. & FRANCH, F.S. (Eds). **Investigaciones recientes en Geomorfología española**. Barcelona, 1998, p. 325-332.

MEIRELES, A.J.A.; RAVENTOS, J.S. Um modelo geomorfológico integrado para a planície costeira de Jericoacoara/Ceará. **Mercator** - Revista de Geografia da UFC, ano 1, n. 1, p. 79-94. 2002.

MEIRELES, A.J.A.; ARRUDA, M.G.C.; GORAYEB, A.; THIERS, P.R.L. integração dos indicadores geoambientais de flutuação do nível do mar e de mudanças climáticas no litoral cearense. **Mercator** - Revista de Geografia da UFC, ano 4. v. 8. p. 109-134. 2005.

MENDONÇA, M.M. **Diagnósticos de propriedades edáficas em áreas agrícolas e de floresta com elevado teor de matéria orgânica no município do Rio de Janeiro**. 1999. 178 f. Dissertação (Mestrado em ciência do solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 1999.

MIRANDA, M.F.A.; PESSOA, L.G.M.; FREIRE, M.B.G.S.; FREIRE, F.J. Correção de solo salino-sódico com soluções de cloreto de cálcio cultivado com sorgo sudanense. **Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 5, p.18-25, dez. 2008.

MIRANDA, M.F.A. **Atributos físicos e químicos após incubação com ácidos húmicos e esteáricos em Neossolos Flúvicos**, 2009. 72 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Viçosa. 2009.

MOREIRA, E.G.S.; DEMATTÊ, J.L.I.; MARCONI, A. Caracterização e gênese de solonetz solodizado do sertão central e do médio Jaguaribe - Estado do Ceará. **An. ESALQ**, Piracicaba, v. 46, n. 2, p.319-341, 1989.

MOTA, F. O. B. & OLIVEIRA, J. B. Mineralogia de solos com excesso de sódio no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 799-806, 1999.

MUEHE, H. Morfologia costeira. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. **Geomorfologia: Uma utilização de bases e conceitos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 253-302.

NEVES, M.M.; NEVES, S.M. Influência da morfodinâmica costeira na fisiografia do município de Cabedelo-PB. **Revista de Geografia**. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. especial VIII SINAGEO, n. 2, p. 97-108, Set. 2010.

- OLIVEIRA, L.B.; RIBEIRO, M.R.; FERREIRA, M.G.V.X.; LIMA, J.F.W.F.; MARQUES, F.A. Inferências pedológicas aplicadas ao perímetro irrigado de Custódia, PE. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 37, n. 10, p. 1477-1486, 2002.
- PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. e VALLADARES, G.S. Organossolos: Ocorrência, gênese, classificação, alterações pelo uso agrícola e manejo. *In*: TORRADO, P.V.; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M.; SILVA, A.P. e CARDOSO, E.J., eds **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, v.4, 2005. p. 233- 276.
- RIBEIRO, M.R.; FREIRE, F.J.; MONTENEGRO, A.A.A. Solos halomórficos no Brasil: caracterização, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. *In*: CURTI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.L.; LOPES, A.S.L.; ALVAREZ, V.H.V. (Org.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, v. 3. 2003. p.165-208.
- RUIZ, H.A; SAMPAIO, R.A; OLIVEIRA, M; FERREIRA P.A. Características físicas de solos salino-sódicos submetidos a parcelamento da lâmina de lixiviação. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**. v. 6, n. 3, p.1-12, 2006.
- SÁ, M.F.M. Os solos dos Campos Gerais. *In*: MELO, M.S.; MORO, R.S.; GUIMARÃES, G.B. **Patrimônio Natural dos Campos Gerais do Paraná**. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2007. p. 73-84.
- SANTOS, M.A.; FONTES, A.L.; LIMA, E.S.; COSTA, J.J. Abordagem preliminar da morfodinâmica costeira, análise sedimentar e caracterização de uso do solo do município de Barra dos Coqueiros/Sergipe. *In*: VI SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA/REGIONAL CONFERENCE ON GEOMORPHOLOGY, 2006, Goiânia. **Anais...** Goiânia: International Association of Geomorphologists – Goiás. Setembro, 2006a.
- SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; OLIVEIRA, J.B.; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F.; CUNHA, T.J.F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006b. 306 p.
- SCHAETZL, R.J.; ANDERSON, S. **Soil genesis and geomorphology**. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2005. 817 p
- SOUZA, M.J.N.; LIMA, F.A.M.; PAIVA, J.B. Compartimentação topográfica do Estado do Ceará. **Ciência Agrônômica**, v. 9, p. 77-86, 1979.
- SPOSITO, G. **The Chemistry of Soils**. New York, Oxford University Press. 1989, 277p.
- STEVENSON, F.J. **Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions**. New York, John Wiley and Sons, Inc., 1982. 443 p.
- VALLADARES, G.S.; BENITES, V.M.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; EBELING, A.G. **Proposta para classificação de Oganossolos em níveis inferiores com base nas frações húmicas**. Campinas, São Paulo: Embrapa Monitoramento por Satélite; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 2).
- VALLADARES, G.S. Caracterização química e granulométrica de solos do Golfão maranhense. **Acta Amazônica**, v. 39 n. 4, p. 923-934, 2009.
- VOLKOFF, B. & CERRI, C.C. Comparação do húmus de um Solontchak, uma rendzina e um solo litólico da região semi-árida do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.4, p.49-56, 1980.

ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIANO, T.M.; MILTNER, A.; SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v. 79, p. 117-161, 1997.

CAPÍTULO I: CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS COM ELEVADOS TEORES DE MATÉRIA ORGÂNICA DA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL

1 INTRODUÇÃO

Na Região Nordeste brasileira, a ocorrência de solos com elevados teores de matéria orgânica é restrita ao ambiente de várzea, estando os solos associados aos antigos meandros abandonados ou antigas formações lacustres e vinculados a presença de vegetação de campos hidrófilos com a presença de tifáceas, que proporciona a grande produção de biomassa. A condição de saturação destes ambientes reduz a taxa de decomposição do material orgânico, formando os horizontes hísticos.

Valladares et al. (2008a e 2008b), Pereira et al. (2006a) e Fontana et al. (2011), estudaram solos orgânicos de diferentes regiões do país, havendo em seus estudos perfis localizados na planície litorânea dos estados da Bahia e Alagoas, enquanto em Ebeling et al. (2011a), foi identificado um Organossolo Háptico coletado no Estado do Maranhão. Outros trabalhos desenvolvidos abordando Organossolos na região Nordeste foram de Couto & Resende (1985), no Vale do Rio Arrojado-BA; e Souza Júnior et al. (2001a e 2001b), realizado no Estado de Alagoas, com ênfase em solos com caráter tiomórfico. No entanto, são raros os relatos de estudos sobre a gênese de solos orgânicos nos Estados do Ceará, Rio Grande do Norte e na Paraíba.

Estas áreas cobrem pequenas extensões, mas possuem forte vocação para a produção agrícola, tanto de subsistência, como no abastecimento do mercado regional. A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) publicou um levantamento onde foram identificadas 15 áreas de ocorrência destes solos orgânicos, distribuídas entre os Estados do Rio Grande do Norte, Alagoas e Paraíba, totalizando cerca de 21.000 ha de Organossolos. No entanto, este estudo teve por finalidade o uso deste material como fonte alternativa de energia, tendo em vista a crescente demanda de insumos energéticos no país (MORAES, 2001). A extensão de áreas com solos ricos em material orgânico pode ser ainda maior, levando em consideração que não foram contabilizadas áreas pequenas, com horizontes orgânicos pouco espessos, ou que o material apresentasse baixo potencial como jazida devido o baixo potencial energético.

O uso e manejo inadequados destes solos, assim como a aplicação de tecnologias impróprias e a ocupação indevida destas áreas para outros usos, como produção de energia, são os fatores que tem contribuído para a redução destas áreas,

ainda pouco conhecidas e estudadas. A abordagem sobre a formação destes solos na região Nordeste é fundamental, principalmente se compreendendo de forma abrangente os diferentes ambientes e condições em que estes solos podem ocorrer. Este estudo é relevante para o reconhecimento da ocorrência e a indicação da importância ambiental dos solos orgânicos na Região Nordeste, e não somente nas regiões Sul e Sudeste, como se tem mais conhecimento.

Neste estudo, foram definidos como objetivos:

a) Caracterizar solos com elevados teores de matéria orgânica localizados em ambientes de várzeas nos Estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba por meio de análise química, física, morfológica e correlacionar estas propriedades ao ambiente de formação;

b) Caracterizar a matéria orgânica destes solos por meio de fracionamento químico da matéria orgânica, visando testar um método adaptado à solos com elevados teores de matéria orgânica; e

c) Identificar fatores que influenciam na gênese destes solos a fim de determinar critérios que possam contribuir no quinto e sexto nível categórico do Sistema de Brasileiro de Classificação dos Solos (SiBCS).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

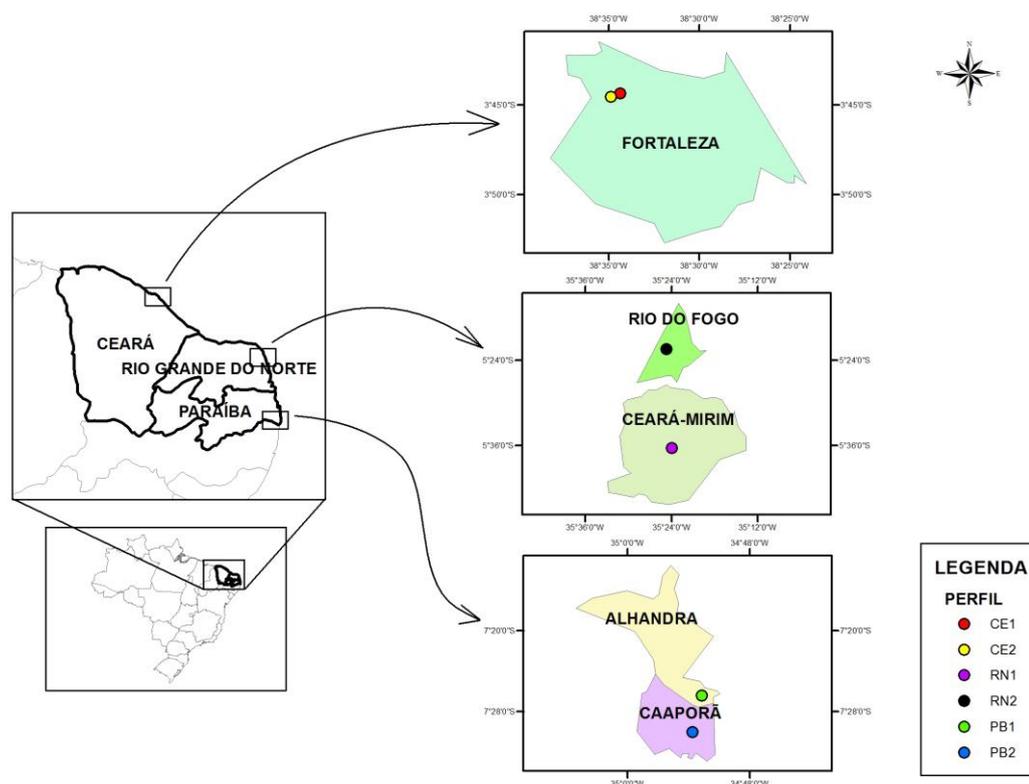
2.1.1 Aspectos gerais das áreas de estudo

As áreas de coleta de solo foram escolhidas com base nas descrições de solos realizadas em levantamentos exploratórios anteriores nos estados do Rio Grande do Norte (EMBRAPA, 1971) e Paraíba (EMBRAPA; 1972), onde foi possível identificar zonas de ocorrência de solos hidromórficos, com associação de Gleissolos e Organossolos. No Ceará estas áreas eram pontuais, localizadas dentro do campus da UFC, e foram identificadas pelo professor do Departamento de Solos da própria instituição, Gustavo Souza Valladares (informação pessoal).

Os pontos de coleta em cada área definida foram selecionados com base em amostragem por conveniência. No Rio Grande do Norte e na Paraíba, a população local auxiliou na busca indicando os locais onde havia a presença destes solos, popularmente

chamados de “paú”. Além disso, foram observados os trechos da paisagem com relevo mais deprimido, associado a maior saturação por água e com a presença de vegetação hidrófila (principalmente tifáceas). Através da tradagem foram observados os pontos com maior prevalência de material orgânico. Com base nestes critérios foi possível a identificação de dois perfis em cada estado, totalizando seis perfis de estudo (Figura 4; Tabela 1).

Figura 4: Localização dos perfis coletados nos Estados do Ceará (CE1 e CE2), Rio Grande do Norte (RN1 e RN2) e na Paraíba (PB1 e PB2).



O trabalho de campo ocorreu em setembro de 2010, onde foram descritos e coletados todos os perfis, de acordo com normas preconizadas no Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (SANTOS et al., 2005). Na descrição das características morfológicas do perfil, também foi realizado o teste de Von Post para a determinação do grau de decomposição do material orgânico, segundo citado por Santos et al. (2006).

Tabela 1: Localização e características das áreas de estudo dos solos com elevados teores de matéria orgânica da Região Nordeste do Brasil.

Perfis	Localização	Coordenadas geográficas	Drenagem	Altitude (m)
CE1	Fortaleza/CE	38° 34' 23" W; 3° 44' 21" S	Muito mal drenado - sem drenagem artificial.	16
CE2	Fortaleza/CE	38° 34' 54" W; 3° 44' 32" S	Muito mal drenado - com drenagem artificial.	13
RN1	Ceará-Mirim/RN	35° 23' 57" W; 5° 36' 21" S	Muito mal drenado - com drenagem artificial.	5
RN2	Rio do Fogo/RN	35° 24' 46" W; 5° 22' 27" S	Muito mal drenado - com drenagem artificial.	13
PB1	Alhandra/PB	34° 52' 44" W; 7° 26' 25" S	Muito mal drenado - com drenagem artificial.	4
PB2	Caaporã/PB	34° 53' 39" W; 7° 30' 03" S	Muito mal drenado - com drenagem artificial.	6

O perfil CE1 (Figura 5) está em área de inundação sazonal, localizado próxima ao açude Santo Anastásio, no campus do Pici da UFC, onde há a presença e mangueiras (*Mangifera indica*) e vegetação espontânea (gramíneas e convolvuláceas lianas). Essa área não se encontra em uso agrícola e nem foi submetida á drenagem, por isso pode ser afirmado que encontra-se em melhor condição de conservação, quando comparada aos demais perfis de solos coletados.

Já a área do perfil CE2, próxima ao Departamento de Zootecnia, também no Campus do Pici da UFC, foi destinada ao pastejo rotacionado de caprinos, com drenos que mantém o lençol freático a aproximadamente 40 cm de profundidade. Nesta área são observadas alterações da camada superficial do solo, provavelmente em função do seu revolvimento.

Os locais de coleta desses perfis estão localizados próximos a um riacho, afluente do rio Cocó, em cuja zona estuária ocorre extensos manguezais. Em função da proximidade e da interferência marinha atual, pelo contato com o lençol freático, essas duas áreas apresentaram maior influência de materiais sulfúricos, manifestado através do caráter tiomórfico.

Figura 5: Área de coleta do perfil CE1, localizado dentro do Campus do Pici da UFC, Fortaleza-CE (foto do autor).



A área do perfil RN1 (Figura 6), no município de Ceará-Mirim, Rio Grande do Norte, está localizada em uma planície de inundação formada no baixo vale do rio Ceará-Mirim, com relevo predominantemente plano. Esta área encontra-se em propriedade particular e vem sendo cultivada com cana-de-açúcar a mais de dez anos. Segundo relatos do proprietário, essa foi a época aproximada em que o solo foi drenado e o lençol freático é mantido a cerca de 30 cm de profundidade. No momento da coleta das amostras do perfil, a área estava com plantio de mandioca, usada como cultura intercalar antes da renovação do canavial.

A área do perfil RN2 (Figura 7) está inserida na bacia hidrográfica do rio Punaú, no Município de Rio do Fogo, localizada na microrregião homogênea Litoral Nordeste do Estado do Rio Grande do Norte (FELIPE & CARVALHO, 1999). Também se encontra em propriedade particular, havendo em determinadas áreas o plantio rotacional de culturas tais como abóbora e milho, com uso de práticas agrícolas convencionais, adubação de cobertura, preparo do solo com arado, grade e capina. Além destas áreas, outras eram destinadas apenas ao plantio de coqueiros e bananeiras. A ocupação e início do uso agrícola destas áreas ocorreram a cerca de 30 anos, favorecido pela drenagem artificial, que mantém o lençol freático a aproximadamente 40 cm de profundidade.

Figura 6: Área de coleta do perfil RN1, localizado no município de Ceará-Mirim – RN (foto do autor).



Figura 7: Área de coleta do perfil RN2, localizado no município de Rio do Fogo – RN (foto do autor).



A área do perfil PB1 (Figura 8) está localizada no município de Alhandra, Estado da Paraíba, na bacia do rio Ibiaí, e apresentou os maiores indícios de degradação em virtude do uso. Consiste em uma área de várzea drenada e que foi destinada ao pastejo extensivo de bovino, com práticas inadequadas, onde o pisoteio excessivo de animais e falta de manejo da pastagem favoreceram a degradação do solo. Como evidências observam-se a pequena espessura do horizonte orgânico (40 cm), o avançado

estágio de decomposição do material orgânico (sáprico) e o baixo teor de matéria orgânica contido nas amostras desse perfil.

A área seguinte localizada no município de Caaporã (Figura 9), também no Estado da Paraíba (PB2), e situa-se em um vale encaixado, na porção inferior da paisagem, que apresenta relevo suave ondulado, numa região chamada de Depressão Ibiaí (FURRIER et al., 2006). De acordo com um dos proprietários, a área está em uso a mais de 20 anos, com profundidade do dreno para manter o lençol em cerca de 50 cm de profundidade e é destinada ao plantio de bananeiras, coqueiros, mandioca e hortaliças para fins comerciais e para subsistência dos agricultores.

Figura 8: Área de coleta do perfil PB1, localizado no município de Alhandra – PB (foto do autor).



Figura 9: Área de coleta do perfil PB2, localizado no município de Caaporã – PB (foto do autor).



2.1.2 *Clima*

O clima do Nordeste apresenta irregularidades ao longo de toda a faixa litorânea em virtude da dinâmica eólica, que afeta o regime hídrico e a temperatura. A região que se estende da costa Leste do Rio Grande do Norte até Alagoas (porção oriental) é mais úmida, enquanto que a porção norte, compreendida entre o norte do Rio Grande do Norte até o Ceará (porção setentrional) se enquadra mais nas características transicionais para semi-árido, com um longo período de estiagens bem definido.

Nas áreas onde estão os perfis coletados no Rio Grande do Norte e na Paraíba, as condições climáticas são semelhantes, sendo o clima classificado como tropical chuvoso quente e úmido do tipo As', segundo Köppen (SOARES, 2010, EMBRAPA, 1972), que demarca regiões de transição entre o ambiente litorâneo úmido e seco. A pluviosidade varia entre 1200 mm e 1600 mm ao ano, condicionada pela ação da massa de Ar Equatorial Atlântica, da frente polar e dos ventos alísios.

No Rio Grande do Norte, na microrregião onde está inserida a bacia do Rio Punaú, a temperatura média anual oscila de 21 °C a 26 °C, com máximas de 30 °C e umidade relativa anual de 75% (BELTRÃO et al., 2005), enquanto que no litoral da Paraíba, as temperaturas são mais amenas, com valores máximos anuais de 26 °C e com umidade relativa do ar média anual entre 75 e 80% (SOARES, 2010). As condições de

clima nesta região da Paraíba, associada às maiores taxas pluviométricas, contribuem para a maior ocorrência de estuários e manguezais.

A área de coleta de solo localizada em Fortaleza apresenta condições que caracterizam clima tropical quente subúmido, com pluviosidade média anual de 1338 mm, atingindo máximas de 2200 mm e mínimas de 880 mm. A temperatura média máxima é de 31 °C e mínima de 24 ° C, com valores de umidade relativa do ar entre 70 e 80%. Apesar de a região estar inserida em ambiente semi-árido, há grande aporte hídrico em função dos rios, associados a forte precipitação nos períodos chuvosos, favorecendo inundações periódicas nas várzeas e planícies fluviais (SOARES, 2010).

2.1.3 Geomorfologia

A região onde estão inseridos os perfis é composta predominantemente por sedimentos do Quaternário, de composição mineral e/ou orgânica, que se acumularam ao longo do tempo em planícies e terraços marinhos e também aluviais, constituindo ambientes de várzeas, mangues, dunas e restingas. Estes ambientes apresentam relevo plano nas bacias dos rios, vinculados à dinâmica fluvial e também ao movimento das marés, resultando em inundações periódicas, além do acúmulo de sedimentos recentes que podem se sobrepor a sedimentos mais antigos, como os da formação Barreiras.

A morfologia da área em Ceará-Mirim caracteriza-se como um vale de fundo plano em forma de “U” encaixado em superfícies de Tabuleiros Costeiros, drenado pelo rio Ceará Mirim, o qual apresenta ampla cobertura aluvial. A região conhecida como Depressão de Abiaí, localizada em Caaporã (PB), representa uma extensa área plana e com cotas baixas (aproximadamente 2 m de altitude), havendo nas proximidades vários morros testemunhos com mais de 20 m de altitude, que resistiram a intensa denudação da depressão. Nesta região, parte dos rios e riachos da convergem para a Depressão, resultando em uma grande quantidade de áreas alagadas e formação de lagoas de várzeas. Nesta área ocorrem extensos afloramentos do Calcário Gramame nas vertentes e pequenos morros testemunhos voltados para a depressão do Abiaí, sugerindo uma origem denudacional da depressão (FURRIER et al., 2006).

2.1.4 Vegetação

Os solos com elevados teores de matéria orgânica formados nesta região ocorrem em áreas cuja vegetação é definida como de campo higrófilo de várzea, desenvolvida nas periferias dos cursos d' água, comumente com a presença de espécies herbáceas da família das gramíneas, tifáceas e ciperáceas (BELTRÃO et al., 2005).

2.2 Métodos

2.2.1 Amostragem e preparo do solo

Foram coletadas amostras de solo de cada horizonte e camada dos perfis descritos, totalizando 26 amostras, colocadas em sacos plásticos e posteriormente levadas para o laboratório. As amostras dos horizontes hísticos foram submetidas a testes específicos para a sua caracterização, ainda com teores de umidade próximos dos obtidos no campo, visando determinar as fibras esfregadas (%FE) e índice de pirofosfato (IP), segundo métodos descritos em Santos et al. (2006). Somente após estes testes, as amostras foram levadas para secar ao ar e posteriormente foram destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm, obtendo-se assim a terra fina seca ao ar (TFSA).

As análises foram realizadas nos laboratórios do Departamento de Solos da UFC e no laboratório de Gênese e Classificação de Solos da UFRRJ por intermédio de parceria pelo programa de cooperação acadêmica PROCAD – Novas Fronteiras.

2.2.2 Análises do complexo sortivo e de fósforo extraível

Usando os métodos descritos por Embrapa (1997) foi determinado o pH em água, em CaCl_2 $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ e em KCl 1 mol L^{-1} na suspensão solo-solução 1:2,5. Também foram obtidos os teores de Na^+ , K^+ trocáveis e P disponível por meio do uso de extrator "Mehlich 1", sendo o fósforo determinado por espectroscopia e o Na^+ e K^+ por fotometria de emissão de chama. A acidez trocável (Al^{3+} e H^+) foi obtida com uso do extrator acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ com pH ajustado para 7,0 e a determinação dos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} , feita com uso do extrator KCl 1 mol L^{-1} . Obtidos os teores destes elementos das amostras de solo, foram calculados os valores de soma de bases (S

= Ca + Mg + Na + K), a capacidade de troca de cátions (CTC) ($T = H + Al + S$) e o valor de saturação por bases ($V\% = S / T \times 100$).

O teor de fósforo também foi determinado com uso de uma solução extratora de NaHCO_3 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ cujo pH é ajustado para 8,5. A quantificação dos teores de fósforo extraído foi determinado por espectroscopia, através da leitura da intensidade da cor do complexo fosfomolibdico após uso de ácido ascórbico em presença do sal de bismuto (OLSEN et al., 1954).

2.2.3 Micronutrientes

Os teores de ferro, manganês, zinco e cobre foram determinados por meio do uso de extrator “Mehlich 1”, sendo as leituras das amostras realizadas em aparelho de espectroscopia de absorção atômica (EAA) (EMBRAPA, 1997), no Departamento de Solos da UFRRJ.

2.2.4 Volume residual do solo

Neste estudo, foi desenvolvido um teste para avaliar as taxas de contração dos Organossolos após serem secos, visando associar os valores obtidos com a maior ou menor suscetibilidade aos processos de subsidência.

Para tanto, foram usados cilindros de PVC de 1,5 polegadas de diâmetro, confeccionados com altura aproximada de 5 cm, sendo utilizado um cilindro para cada horizonte ou camada de cada perfil. Estes cilindros foram cuidadosamente inseridos no sentido perpendicular aos horizontes, evitando a compactação do material, e depois retirado. O excesso de solo das extremidades dos anéis foi eliminado com o auxílio de uma faca. Caso o solo tenha muitas fibras ou fragmentos de raízes, é aconselhável o uso de uma tesoura. Estes cilindros com solo então foram envolvidos em filme plástico para não ocorrer perda de material e para reduzir a perda de água contida nas amostras.

Em laboratório, foi retirado o filme plástico das amostras e depois foram pesadas com os próprios anéis de PVC, para não deformá-las. Após pesagem, o material foi colocado em bandejas sobre bancadas em laboratório e deixado secar ao ar (em temperatura ambiente). As amostras ficaram em observação até que, visualmente, não foi mais constatada alteração no solo (umidade e contração), considerando então que o

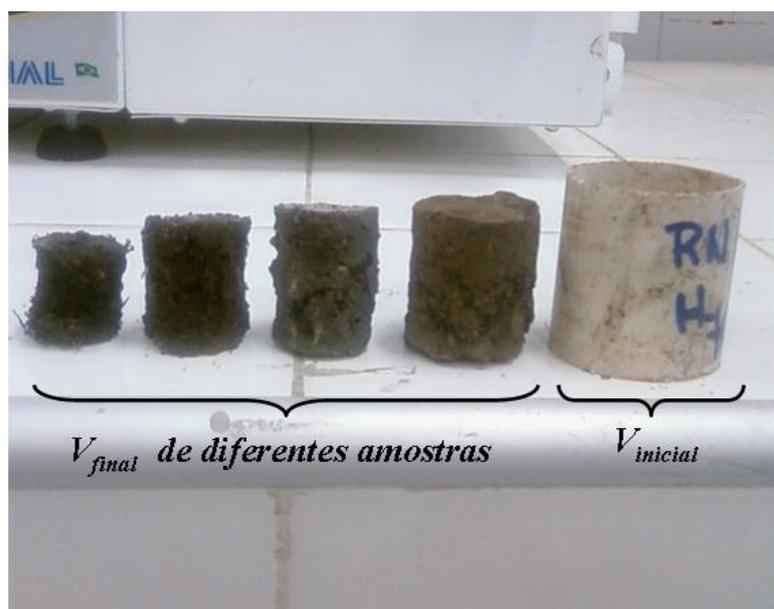
solo tenha atingido uma massa 'constante'. Posteriormente, foi feita outra pesagem e as dimensões da amostra contraída então foram medidas.

Como as amostras se contraíram, foi necessário transferir todo o volume de solo contido nos anéis de PVC para Becker devidamente pesado e identificado (sem a deformação das amostras). Prosseguiu-se o teste colocando as amostras em estufas a 65°C por 48 horas. Foi determinada a massa final de solo contida nos anéis e o volume final de solo ocupado depois de seca em estufa (Figura 10). Ao final também foi determinada a massa e o volume específico de cada cilindro (volume inicial). O volume residual da amostra de solo foi determinado através do cálculo:

$$VR(\%) = (V_{final} / V_{inicial}) \times 100$$

Onde VR(%) = Volume residual e V = Volume da amostra de solo.

Figura 10: Volume residual de diferentes amostras de horizontes hísticos após serem secas em estufa em comparação com o volume do anel de PVC.



2.2.5 Densidade do solo e densidade das partículas

A densidade do solo (D_s) foi calculada com base nos valores gerados no teste de VR, onde foram usadas as massas de solo das amostras após serem secas em estufa a 65°C e o volume do cilindro de cada amostra para a determinação da D_s .

A densidade de partículas foi avaliada segundo o método preconizado por Embrapa (1997), através da determinação do volume de etanol necessário para completar um balão volumétrico de 50 mL com 20 g de solo seco em estufa por 24 horas. Os valores de densidade da partícula (D_p) são obtidos através da fórmula:

$$D_p = \text{peso da amostra de solo} / (50 - \text{volume de álcool gasto})$$

Obtidos os valores das densidades, foi possível determinar o volume total de poros (VTP) ocupados por água e/ou ar através do cálculo:

$$VTP = 1 - (D_p/D_s)$$

2.2.6 Teor de fibras esfregadas e classificação de von Post.

Para a determinação de fibras em solos orgânicos, foi utilizado o método proposto por Lyn et al. (1974), no qual coloca-se um volume de 2,5 cm³ da amostra em uma peneira de malha de 100 mesh e leve-o para ser lavado em água corrente até que o efluente apareça claro. É retirado o excesso de umidade e determinado então o volume do material que permanece na peneira (fibras não esfregadas). Este mesmo volume de material é transferido novamente para a peneira na qual é submetido a leve pressão entre os dedos polegar e indicador sob água corrente até que a água torne a escorrer límpida. O volume do material restante na peneira é determinado em % de fibras esfregadas contida na amostra de solo (SANTOS et al., 2006).

Teores de fibras menores que 17% são indicativos de solos orgânicos com material sáprico, teores entre 17% e 40% caracterizam solos com material hêmico e solos que apresentam teores de fibras esfregadas maiores que 40% são caracterizados como material fíbrico.

A determinação do grau de decomposição do material orgânico pela escala de von Post é um teste a campo que consiste basicamente em pressionar nas mãos uma porção de material orgânico molhado, observando a cor do líquido extraído que escorre entre os dedos. São avaliadas a presença, quantidade e coloração deste líquido, a quantidade e as dimensões das fibras vegetais, a natureza das fibras e a proporção do resíduo da amostra original que fica retida na mão. São definidas dez classes, variando de H1 (não decomposta) a H10 (completamente decomposta) (SANTOS et al., 2006).

Os valores de classes que variam de H1 a H4 indicam material de solo orgânico fíbrico, de H5 a H6 são materiais de solo orgânico hêmico e classes acima de H7 indicam material orgânico sáprico.

2.2.7 *Índice de pirofosfato*

Para este teste foi usada uma amostra de solo de 2,5 cm³ de solo, ainda úmido, no qual se adiciona 1 g de pirofosfato de sódio (Na₂P₂O₇) e 4 ml de água e se deixa em repouso por uma noite. Depois é inserido um pedaço de papel cromatográfico para absorver a solução saturada. Compara-se a tira tingida com a solução com padrões de cor da carta de Munsell na página de matiz 10YR. O índice de pirofosfato (IP) foi calculado subtraindo o número obtido do croma pelo valor (SANTOS et al., 2006).

2.2.8 *Teores de matéria orgânica do solo*

Nas amostras de solo coletadas, foi feita a determinação dos teores de carbono orgânico total através do método de perda de massa por incineração a 600°C em mufla, que é baseado no processo de combustão quantitativa da matéria orgânica, sendo este método o mais recomendado por Santos et al. (2006), para a determinação da matéria orgânica em solos orgânicos, visto que os métodos via úmida, com uso de dicromato de potássio, possibilitam apenas a oxidação parcial da matéria orgânica, sendo necessário o uso de fatores de correção.

O procedimento consiste em pesar 10g de TFSA e levar para secar em estufa a 85°C por 24h, visto que a utilização de temperaturas mais elevadas implica na ocorrência de combustão espontânea da amostra. As amostras são acondicionadas em dessecador e novamente pesadas (TFSE). Coloca-se então o material em uma mufla, na qual permanece por 6 horas a 600°C. Decorrido o tempo, as amostras são novamente levadas para estufa por 24 horas, deixadas em dessecador e depois são novamente pesadas. O conteúdo de matéria orgânica é determinado por diferença de massa da amostra seca em estufa e a massa da amostra após incineração em mufla (SANTOS et al., 2006).

Através dos valores obtidos por este método também foi possível calcular a densidade da matéria orgânica (DMO), o resíduo mínimo (RM) e o material mineral (MM) contido nas amostras, segundo Lynn et al. (1974) *apud* Santos et al. (2006).

$$DMO = D_s - [D_s \times (\%MM/100)]$$

$$RM = (D_s - DMO) / 1,5$$

2.2.9 Teor de carbono orgânico do solo

Para a determinação do teor de C das amostras dos perfis optou-se pelo uso do método descrito por TEDESCO et al. (1995), que é uma modificação do método clássico de WALKLEY & BLACK (1934), onde foi proposto o uso de uma concentração 25% maior de dicromato de potássio, permitindo analisar com maior abrangência amostras com diferentes teores de carbono. O princípio básico é o da oxidação da matéria orgânica via úmida em meio ácido, aquecimento externo e titulação do dicromato remanescente com solução de sulfato ferroso. Estudos de PEREIRA et al. (2006a), onde o método foi testado em horizontes hísticos de várias regiões do Brasil, indicaram melhores valores para este método quando comparado com similares para determinação de carbono (via úmida).

O procedimento consiste na pesagem das amostras de TFSA, que contenham entre 10 e 25 mg de carbono, trituradas em almofariz de ágata e passadas em peneira de malha 60 mesh. Depois a amostra pesada foi colocada em erlenmeyer de 250ml juntamente com 10 ml de $K_2Cr_2O_7$ 1,25 mol L^{-1} e 20 ml de H_2SO_4 concentrado. A solução é aquecida em placa aquecedora a uma temperatura de 150°C por aproximadamente um minuto, retirada e deixada esfriar em repouso. Depois o volume foi ajustado para 100ml utilizando água destilada e deixado em repouso por mais 10 a 15 minutos. A titulação foi feita com solução 0,25mol L^{-1} de sulfato ferroso, usando Ferroin como indicador. O carbono foi calculado utilizando-se a seguinte fórmula:

$$\%C = [(mmol_c L^{-1} Cr_2O_7^{2-} - mmol_c Fe^{2+}) \times 0,003 \times 100] / massa amostra (g)$$

Nesse método, para a determinação do teor de C do solo, não foi utilizado no cálculo o fator de 1,12, que pressupõe haver a oxidação parcial do carbono orgânico. Com este método também foram calculados os teores de carbono das fibras contidas nas amostras de cada perfil. Após a separação das fibras esfregadas, estas foram secas, trituradas, pesadas e passadas em peneira de malha de 60 mesh para então a determinação dos teores de carbono.

Para a comparação de métodos apropriados para Organossolos, foi também usado o método proposto por EMBRAPA. (1997), que se diferencia do anterior pela concentração da solução de dicromato de potássio (0,1667 mol L^{-1}), e pelo uso de difenilamina como indicador do ponto de viragem da reação. O C orgânico foi calculado utilizando-se a seguinte fórmula:

$$C(g/kg) = (40 - volume titulante) \cdot f \cdot 0,6$$

Sendo f um fator referente à prova em branco.

Outro método para determinar os teores de matéria orgânica em Organossolos foi o de perda de massa por incineração (método da mufla), baseado na combustão quantitativa da matéria orgânica. Consistiu na pesagem de 10g de TFSA previamente seca em estufa a 105°C por 24h. O material foi colocado em uma mufla, na qual permaneceu por 6 horas a 600°C. Decorrido o tempo, as amostras foram novamente pesadas. O conteúdo de matéria orgânica foi determinado por diferença de massa em relação à amostra seca em estufa (SANTOS et al., 2006).

2.2.10 Fracionamento químico da matéria orgânica

O fracionamento da matéria orgânica do solo foi feito segundo o princípio da solubilidade diferencial dos compostos, utilizando dos conceitos de frações húmicas estabelecidos pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas, sendo o método aplicado neste estudo uma adaptação de BENITES et al. (2003), visto que é um método simplificado, de baixo custo e facilmente replicado e empregado em estudos com Organossolos (VALLADARES et al., 2007).

Foi pesado 1,0 g de TFSA em tubos de centrífuga, acrescentado 20mL de NaOH 0,1 mol L⁻¹, e deixado em repouso por aproximadamente 16 horas, para a obtenção do extrato alcalino (EA= AH+AF). A separação do extrato alcalino e do resíduo sólido foi feita por centrifugação a 5.000 g por 20 min. Após o processo, o extrato foi recolhido, reservado e o resíduo obtido ao final foi seco, pesado e depois usado para a determinação de carbono da fração humina (C-HU).

O pH do extrato alcalino recolhido foi rebaixado para 1 ($\pm 0,1$) com uso de solução de H₂SO₄ 20% visando promover a coagulação da fração ácido húmico (AH). O precipitado, correspondente ao ácido húmico, foi separado da fração solúvel (ácido fúlvico) por filtragem em filtros de papel.

A determinação quantitativa de carbono nos extratos das frações ácido fúlvico (C_AF) e ácido húmico (C_AH) foi feita com a adição de uma alíquota do extrato em 1 mL de dicromato de potássio 0,042 mol L⁻¹ e 5 mL de H₂SO₄ concentrado em erlenmeyer de 125 mL. As amostras foram levadas para digestão em chapa aquecedora a 150°C por 30 minutos e depois tituladas com sulfato ferroso amoniacal 0,0125 mol L⁻¹ usando indicador Ferroin para visualizar o ponto de viragem.

O resíduo sólido recolhido ao final, denominado humina, na verdade é uma mistura heterogênea de compostos orgânicos humificados e não humificados. Com o intuito de separar a matéria orgânica que persistiu ao processo de fracionamento, foram feitas repetições das amostras, as quais foram processadas para a obtenção do resíduo. Este resíduo sólido então foi submetido ao método de fracionamento físico (densimétrico). Para tanto adicionou-se 25 ml de solução de iodeto de sódio com densidade de $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ em tubos de 50 ml, juntamente com o resíduo previamente seco e pesado, depois foi levemente agitado e deixado em repouso de um dia para o outro.

Decorrido o tempo, o material em suspensão, aqui denominado de matéria orgânica leve (MOL), foi retirado com o auxílio de aspirador Millipore® acoplado a uma bomba de vácuo e retido em filtro de fibra de vidro (47 mm). Este material foi seco em estufa (45°C) por 24 horas e posteriormente determinada sua massa.

O carbono do resíduo, denominada fração humina total ($C_{HU_{Total}}$) e da fração MOL ($C_{HU_{Mol}}$) foram determinados por oxidação via úmida da matéria orgânica, adicionando de 5 mL de dicromato de potássio $0,1667 \text{ mol L}^{-1}$, 10 mL de H_2SO_4 concentrado e levado para digestão em chapa aquecedora por 30 minutos e a titulação foi feita com sulfato ferroso amoniacal $0,25 \text{ mol L}^{-1}$ tendo como indicador o Ferroin.

O teor de carbono da humina intitulada real ($C_{HU_{Real}}$) foi calculada pela diferença entre os teores de C do resíduo e C da matéria orgânica leve:

$$C_{HU_{Real}} = C_{HU_{Total}} - C_{HU_{Mol}}$$

2.2.11 Nitrogênio

Os teores de N foram determinados pelo método descrito por Tedesco et al. (1995). A análise foi realizada através da pesagem de 0,200g de solo, sendo o material digerido em presença de ácido sulfúrico, água oxigenada e de uma mistura catalisadora ($\text{K}_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{Cu}$), possibilitando a conversão do N orgânico em NH_4 . A destilação foi feita após realização da destilação a vapor, através da adição de 5 ml de solução $\text{NaOH } 1 \text{ mol L}^{-1}$ no extrato de digestão, que possibilita que a amônia seja separada juntamente com o vapor de água, sendo recolhida em erlenmeyer contendo solução de ácido bórico. A titulação foi feita com solução padronizada de ácido sulfúrico diluído.

2.2.12 Repelência à água

A hidrofobicidade, ou grau de repelência à água, foi determinada através de testes que avaliaram o tempo de penetração da gota de água e a penetração de gotas de etanol com diferentes concentrações molares.

O primeiro teste (WD = *water drops penetration time*) consistiu em colocar um volume aproximado de 20 ml de terra fina seca ao ar (TSFA) em um Becker de vidro de 25 ml, deixando a superfície da amostra no Becker plana com o auxílio de uma espátula, com o cuidado de não pressionar a amostra de solo para não compactá-la.

As amostras foram colocadas sobre uma bancada, com bastante claridade, em condições ambiente. Em seguida foi submetida ao teste, com uso de água destilada a temperatura ambiente colocada em um becker e com o auxílio de uma pipeta Pasteur foram colocadas de uma a duas gotas de água sobre uma amostra de solo, e então o tempo inicial foi marcado com o auxílio de um cronômetro até que a gota de água infiltre totalmente, ponto este observado a partir do momento em que a película de água formada sobre o solo fosse completamente absorvida pelas partículas do solo. Este ponto é mais facilmente com o auxílio de uma fonte de luz incidente sobre a bancada.

Foram feitas três repetições em cada amostra e o tempo médio de infiltração das gotas foi utilizado para classificar a amostra de solo quanto a repelência. Segundo a escala proposta por King (1981), tempos inferiores a 5 segundos estão associados a solos não repelentes; tempos variando de 5 a 60 segundos indicam repelência fraca; tempo variando de 60 a 600 segundos, solos com forte repelência; valores de tempos de 600 a 3600 segundos estão associados a solos com repelência severa, e tempos superiores a 3600 segundos associados a solos de repelência extrema.

No segundo teste (MED = *Molarity of ethanol droplets*), aproximadamente 20 ml de TSFA foram acondicionados em becker de 25 ml, conforme o procedimento adotado no teste anterior. As amostras foram dispostas sobre uma bancada em condições ambiente e em seguida foram usadas soluções de etanol nas concentrações de 0 a 6,5 mol L⁻¹, com intervalos de 0,25 mol L⁻¹, colocadas em balões volumétricos de 50 ml. Com o auxílio de uma pipeta Pasteur foram aplicadas duas gotas da solução aquosa de etanol de concentração conhecida e em ordem crescente, sendo observado com qual concentração de solução de etanol ocorria a infiltração completa em menos de 5 segundos após a adição dessas gotas, com uso de cronômetro. A repelência da amostra de solo foi representada pela molaridade média da solução de etanol. De acordo com a

escala proposta por King (1981), valores variando de 0 a 1 mol L⁻¹ indicam baixa repelência; de 1,2 a 2,2 mol L⁻¹ indicam repelência moderada; valores de 2,4 a 3,0 mol L⁻¹ são usados para indicar repelência severa, e valores maiores que 3,4 mol L⁻¹ são associados a solos com repelência muito severa.

Os métodos descritos por King (1981) foram utilizados em solos de textura arenosa da região Sudeste da Austrália e as soluções de etanol nas concentrações de até 5 mol L⁻¹ em intervalos de 0,2 mol L⁻¹. Devido às características apresentadas pelos solos nesse estudo (solos com elevados teores de matéria orgânica) optou-se por adotar intervalos e concentrações maiores que as empregadas pelo autor referido.

2.2.13 Classificação dos solos

Com os resultados das análises químicas e físicas, os perfis foram classificados até o quarto nível categórico segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos – SiBCS (SANTOS et al., 2006).

2.2.14 Análise estatística

Para comparação dos resultados, os diferentes atributos de cada perfil e dos horizontes foram analisados com base em técnicas de estatística descritiva, análises de regressão linear simples e correlação de Pearson, testados para os níveis de probabilidade de 0,01 e 0,05.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização morfológica

A descrição morfológica dos perfis de solo (Tabela 2) mostra várias diferenças entre os perfis das áreas estudadas. Segundo Souza Júnior et al. (2001b), estas diferentes características desenvolvidas entre os horizontes podem ser condicionadas pela drenagem. Junto a esta, podem ser acrescentados ainda, como importantes fatores de interferência nas propriedades morfológicas destes solos, o tipo e a composição do material orgânico aportado; condições que favorecem a formação de

microclimas diferenciados em cada região; e a influência das proporções e tipos de sedimentos minerais presentes nestes solos.

As principais diferenças são observadas na coloração, na profundidade dos perfis e na espessura do horizonte hístico, no grau de decomposição e nos teores de matéria orgânica. Nos perfis, os horizontes hísticos apresentam espessuras que variaram de 40 cm (CE1 e PB1) a mais de 150 cm (RN1), com coloração escura, que varia entre preto, cinzento escuro e bruno-escuro, havendo predomínio de matizes 10YR e 5YR, com valores e cromas sempre inferiores a 3. Os horizontes glei foram coletados em três dos seis perfis amostrados, onde apresentam cores neutras, acinzentadas e variegadas (CE2), iniciando a 40 cm em CE1 e PB1 e a 52 cm de profundidade em CE2.

Ainda com relação a cor, um fato a ser ressaltado diz respeito a rápida oxidação do material orgânico quando exposto ao ar, alterando as cores do solo tons brunados-escuro para tons cinzento muito escuro, vermelho muito escuro a pretas. Esta característica foi observada em todos os perfis, exceto no perfil PB1, nos horizontes localizados em maior profundidade, ainda saturados com água. Com a retirada da amostra de solo, ocorria o escurecimento das fibras de material orgânico, principalmente daqueles com menor grau de decomposição, ou seja, em horizontes hêmicos e fíbricos. O mesmo fenômeno também foi observado por Valladares et al. (2008b), em alguns Organossolos não tiomórficos localizados na planície litorânea do Brasil. Para tanto, na descrição morfológica realizada a campo, foram anotadas as cores do solo antes e depois da oxidação.

Devido a dificuldade na determinação da granulometria nestes solos por meio dos métodos laboratoriais de rotina, e pela menor relevância dessa fração, em geral nos Organossolos e em particular, neste trabalho, empregou-se apenas uma descrição geral inserindo como classe de “textura” do material a propriedade orgânica, para indicar o predomínio da matéria orgânica, na avaliação a campo. Este termo vem sendo empregado para descrever solos com elevados teores de matéria orgânica, como observado em trabalhos desenvolvidos por Ebeling (2006), Silva Neto (2010), enquanto que Mendonça (1999) utiliza o termo “turfoza” para descrição da classe de textura destes horizontes. Neste trabalho, o termo empregado está relacionado a sensação tátil do material quando submetida ao atrito entre os dedos, não sendo diferenciadas as frações minerais ou cuja sensação está relacionada mais aos teores de fibras e presença de material orgânico. Os horizontes minerais apresentam textura expedita que variou de argilosa, no perfil PB1, a franco argilosa no horizonte Cg1 do perfil CE1.

Tabela 2: Descrição das propriedades morfológicas dos perfis de solos com elevados teores de matéria orgânica da região Nordeste brasileira.

Horizonte	Prof. (cm)	Cor	Textura	Estrutura	Transição
Perfil CE1 – Campos de várzea, relevo plano, sedimentos orgânicos (Holoceno) e argilosos.					
Hdo1	0-8	10YR 2/2	Org.	Mod, P, gran	Pln/Clr
Hdo2	8-21	10YR 3/3	Org.	Fra, P, gran	Pln/Clr
Hoj	21-40	10YR 3/3 - 10YR 3/1*	Org.	Mac. c/fibras.	Ond/Clr
Cg1	40-50	N 3/	Fco arg.	Mac. c/fibras.	-
Cg2	50-85 ⁺	N 3/	Arg.	Mac.	-
Perfil CE2 – Campos de várzea, relevo plano, sedimentos orgânicos (Holoceno) e argilo-arenoso.					
Agp	0-11	5YR 2,5/1	Org/Arg.	Fra/Mod, mto P, gran c/fibras.	Pln/Grd
Hdo	11-30	N 3/	Org.	Mac. c/fibras.	Pln/Abt
Ho	30-47	5YR 3/3 - 5YR 2,5/1*	Org.	Mac. c/fibras.	Pln/Clr
Hd	47-52	10YR 3/1 - N 3/*	Org.	Mac. c/fibras	Pln/Abt
Cg	52-100 ⁺	Var. 10YR 7/1 e N 4/	FGA.	Gr simples, mac.	-
Perfil RN1 – Campos de várzea, relevo plano, sedimentos orgânicos (Holoceno).					
Hdp1	0-9	N 2/	Org/arg.	For, P/mto P, gran.	Pln/Clr
Hdp2	9-26	N 2/	Org/arg	Mac.	Pln/Clr
Hdo1	26-50	2,5YR 3/2 - 10YR 3/1*	Org	Mac. c/fibras.	Pln/Grd
Hdo2	50-150 ⁺	10YR 3/2 - 10YR 3/1*	Org	Mac. c/fibras.	-
Perfil RN2 – Campos de várzea, relevo plano, sedimentos orgânicos (Holoceno).					
Hdp	0-13	N 2/	Org	Mod, P, gran.	Pln/Clr
Hdo	13-26	2,5YR 2/2	Org	Mac. c/fibras.	Pln/Grd
Ho1	26-57	5YR 3/2 - 2,5YR 2/2*	Org	Mac. c/fibras.	Pln/Dif
Ho2	57-100 ⁺	5YR 3/2 - 2,5YR 2/2*	Org	Mac, c/fibras.	-
Perfil PB1 – Campos de várzea, relevo plano, sedimentos orgânicos (Holoceno) e argilosos.					
Hd1	0-20	N 2/	Org.	Fra, mto P / P, gran	Pln/Grd
Hd2	20-40	N 2/	Org/Arg	Fra, P e M, gran.	Pln/Grd
Cg1	40-60	N 5/	Arg.	Mac.	-
Cg2	60-100 ⁺	N 5/	Arg.	Mac	-

					<i>Continuação...</i>
Horizonte	Prof. (cm)	Cor	Textura	Estrutura	Transição
Perfil PB2 – Campos de várzea, relevo plano, sedimentos orgânicos (Holoceno).					
Hdp	0-25	N 2/	Org	Mod, P, gran.	Pln/Clr
Hd	25-45	5YR 3/2 - 5YR 2/2*	Org	Mac. c/fibras	Pln/Clr
Hdo1	45-70	5YR 2/2 - N 2/*	Org	Mac. c/fibras	Pln/Dif
Hdo2	70-100 ⁺	5YR 2/2 - N 2/*	Org	Mac. c/fibras	-

*Alteração da cor após sofrer oxidação; Org: Orgânica; Fco: Franco; Arg: Argilosa; FGA: Franco-argilo-arenosa; For: Forte; Mod: Moderada; Fra: Fraca; P: Pequena; M: Média; Gran: Granular; Mac: Maciço. Mto: Muito; Pln: Plana; Ond: Ondulada; Abt; Abrupta; Clr: Clara; Grd: Gradual; Dif: Difusa.

Os horizontes orgânicos superficiais apresentam estrutura granular de tamanho muito pequeno a pequeno, com grau de desenvolvimento variando de moderado a forte. A melhor agregação das camadas mais superficiais de Organossolos parece estar associada a drenagem artificial mais intensa e/ou por mais tempo, havendo o rebaixamento do lençol freático, que favoreceu a ocorrência de ciclos de secagem e posterior umedecimento do solo, promovendo a contração do material do solo e a formação de agregados estáveis. Tal condição favorece maior atividade biológica, outro fator que pode estar colaborando ao maior grau de desenvolvimento da estrutura.

A medida que aumenta a profundidade, a condição de maior teor de umidade prolongada ou o estado de saturação impedem a formação de agregados estáveis, tendendo a estrutura a ser maciça, com ou sem fibras, mais compatível com o maior teor e ao baixo grau de decomposição do material orgânico. Solos com drenagem menos profunda tendem a apresentar grau da estruturação mais fraco (VALLADARES, 2003).

3.2 Caracterização física

Com relação à densidade do solo (D_s) e das partículas (D_p), os solos apresentaram valores baixos de ambas em virtude dos elevados teores de matéria orgânica. Houve variações entre os perfis e entre as diferentes profundidades amostradas em função do tipo de material e das condições em que os solos se encontram (Tabela 3).

Os valores de densidade do solo (D_s) variaram de 0,09 a 1,67 Mg cm^{-3} e mediana de 0,26 Mg cm^{-3} , sendo que nos horizontes orgânicos o valor máximo observado foi de 0,9 Mg cm^{-3} (Hdp1, perfil RN1). Os perfis CE1 e PB1 apresentaram valores de D_s que aumentaram em profundidade, enquanto que nos demais perfis, a maior densidade do solo encontra-se nas camadas superficiais, reduzindo em profundidade.

Como observado nos diagramas de dispersão (Figura 11a), os valores de D_s são inversamente proporcionais aos teores de matéria orgânica (MO) dos horizontes ($R^2 = 0,85$), indicando que a menor D_s foi em decorrência do aumento do teor de matéria orgânica, apresentando elevada correlação entre os valores ($r = -0,81$; $p < 0,000$; Tabela 4). Ao mesmo tempo, quanto maior os valores de densidade, maior será o potencial de subsidência, expresso através dos valores de resíduo mínimo (RM) (Figura 11b).

Tabela 3: Valores das propriedades físicas de solos com elevados teores de matéria orgânica da região Nordeste brasileira.

Horiz	Dp Mg m ⁻³	Ds m ³ m ⁻³	VTP m ³ m ⁻³	Ug g g ⁻¹	EPSA %	MO (g kg ⁻¹)	MM %	DMO mg m ⁻³	RM cm cm ⁻¹	F.E (%)	IP	VP	GD	VR (%)
Perfil CE1														
Hdo1	1,78	0,13	0,93	5,7	78,9	504,00	33,36	0,09	0,03	32	1	5	Hem	12
Hdo2	1,66	0,13	0,92	6,6	90,1	504,00	35,58	0,08	0,03	40	3	3	Hem	18
Hoj	1,49	0,16	0,89	5,3	92,4	534,50	39,09	0,10	0,04	46	6	4	Fib	22
Cg1	2,24	0,92	0,59	0,6	98,6	132,00	86,06	0,13	0,53	16	5	8	-	60
Cg2	2,39	-	-	-	-	94,00	90,16	-	-	-	-	-	-	-
Perfil CE2														
Agp	2,05	0,79	0,61	0,7	90,6	118,00	87,75	0,10	0,46	28	1	7	-	40
Hdo	2,17	0,51	0,77	1,4	91,6	164,50	82,83	0,09	0,28	32	0	8	Hem	60
Ho	1,62	0,09	0,94	9,2	92,1	511,50	36,53	0,06	0,02	48	7	3	Fib	16
Hd	2,29	0,31	0,86	2,6	94,2	207,00	77,75	0,07	0,16	24	5	9	Hem	25
Cg	2,53	1,67	0,34	0,2	113,0	12,00	98,80	0,02	1,10	-	-	-	-	-
Perfil RN1														
Hdp1	2,43	0,90	0,63	0,6	84,1	174,50	79,15	0,19	0,48	8	0	10	Sap	57
Hdp2	2,31	0,65	0,72	1,1	98,7	180,50	78,15	0,14	0,34	8	0	10	Sap	43
Hdo1	1,68	0,11	0,94	7,0	79,6	472,00	38,70	0,07	0,03	32	3	6	Hem	19
Hdo2	1,71	0,13	0,92	5,9	83,0	496,00	38,03	0,08	0,03	26	5	5	Hem	19
Perfil RN2														
Hdp	2,03	0,70	0,66	0,5	56,2	248,00	69,82	0,21	0,32	10	0	10	Sap	91
Hdo	1,39	0,10	0,93	8,7	97,3	722,50	15,89	0,09	0,01	40	1	4	Hem	28
Ho1	1,35	0,15	0,89	5,8	97,2	741,50	15,12	0,13	0,02	42	6	3	Fib	26
Ho2	1,30	0,10	0,92	9,3	100,4	732,50	16,76	0,08	0,01	44	7	2	Fib	13
Perfil PB1														
Hd1	2,24	0,31	0,86	2,1	76,9	211,0	73,39	0,08	0,15	16	1	10	Sap	69
Hd2	2,15	0,63	0,71	0,9	81,0	163,0	80,64	0,12	0,34	8	0	10	Sap	65
Cg1	2,70	1,10	0,59	0,5	94,7	75,0	92,02	0,09	0,67	-	-	-	-	-
Cg2	2,64	-	-	-	-	12,5	98,74	-	-	-	-	-	-	-

<i>Continuação...</i>														
Horiz	Dp	Ds	VTP	Ug	EPSA	MO	MM	DMO	RM	F.E	IP	VP	GD	VR
	Mg m ⁻³		m ³ m ⁻³	g g ⁻¹	%	(g kg ⁻¹)	%	mg m ⁻³	cm cm ⁻¹	(%)				(%)
Perfil PB2														
Hdp	1,19	0,36	0,70	1,7	88,8	572,50	21,95	0,28	0,05	2	1	10	Sap	80
Hd	1,45	0,20	0,86	3,7	88,6	480,50	31,01	0,14	0,04	4	0	7	Sap	43
Hdo1	1,25	0,14	0,89	5,9	94,1	734,00	13,65	0,12	0,01	24	0	5	Hem	29
Hdo2	1,57	0,09	0,94	9,3	86,9	416,00	13,06	0,08	0,01	40	4	4	Hem	27

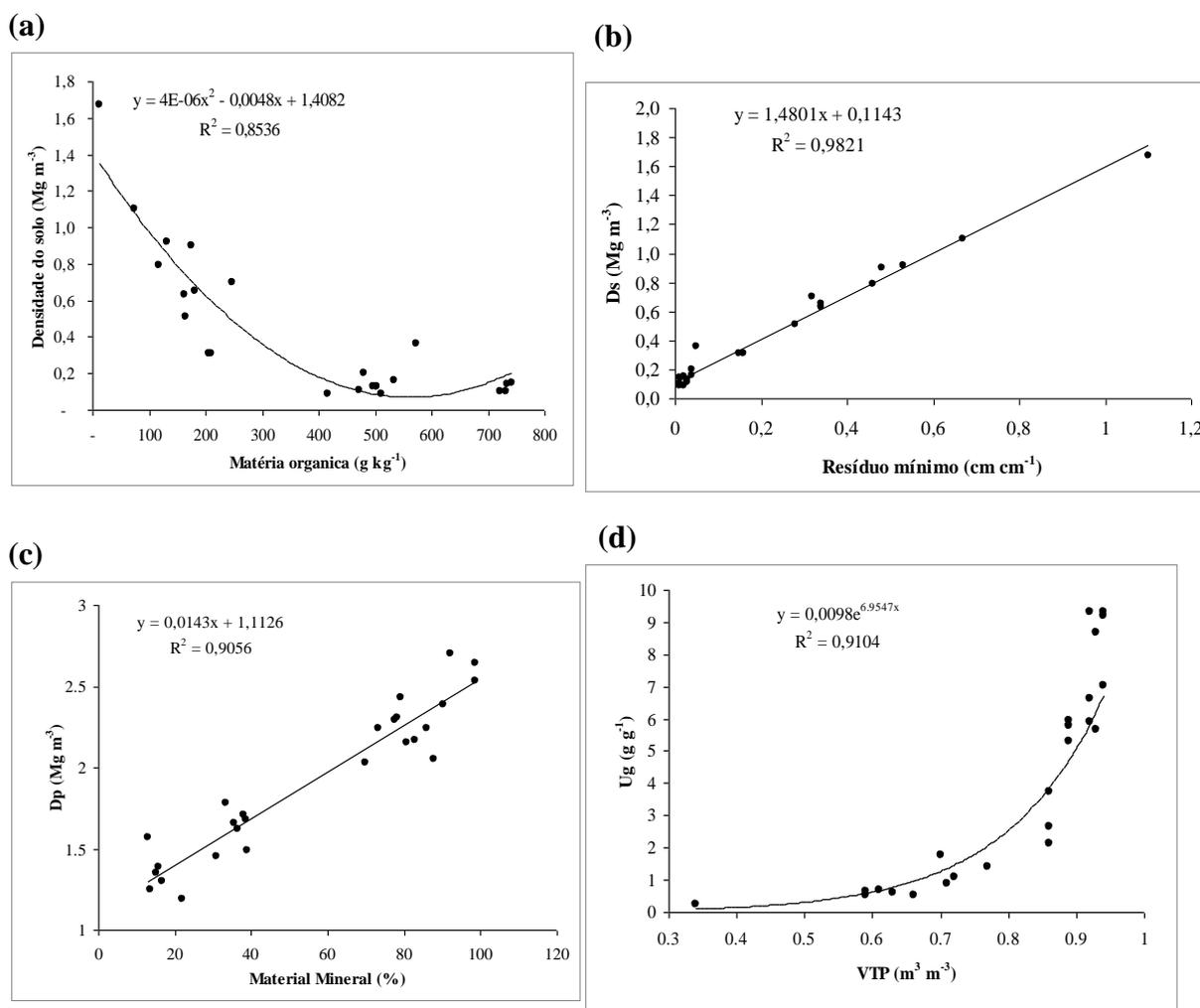
Dp: Densidade da partícula; Ds: Densidade do solo; VTP: Volume total de poros; Ug: Umidade gravimétrica; EPSA: Espaço poroso saturado por água; MO: Matéria orgânica (mufla); MM: Material mineral; DMO: Densidade da matéria orgânica; RM: Resíduo mínimo. FE: Fibras esfregadas; IP: Índice de pirofosfato; VP: classes de decomposição de von Post; GD: Grau de decomposição – Fib: fábriico; Hem: Hêmico; Sap: Sápriico. VR:Volume residual após secagem a 65 °C.

Tabela 4: Valores de coeficiente de Pearson dos atributos físicos avaliados dos solos com elevados teores de matéria orgânica da Região Nordeste do Brasil.

	Dp	Ds	VTP	Ug	EPSA	MO	MM	DMO	RM	F.E	Von Post
Ds	0,75										
VTP	-0,59	-0,98									
Ug	-0,70	-0,86	0,88								
EPSA	-0,25	-0,16	0,15	0,28							
MO	-0,93	-0,81	0,70	0,78	0,29						
MM	0,94	0,84	-0,73	-0,82	-0,21	-0,95					
DMO	-0,03	0,47	-0,63	-0,55	-0,26	-0,08	0,07				
RM	0,81	0,99	-0,95	-0,82	-0,12	-0,85	0,88	0,31			
F.E	-0,42	-0,62	0,67	0,78	0,35	0,51	-0,47	-0,69	-0,53		
Von Post	0,69	0,73	-0,74	-0,89	-0,40	-0,76	0,74	0,55	0,68	0,88	
VR	0,41	0,69	-0,76	-0,78	-0,46	-0,56	0,53	0,72	0,60	-0,76	0,82

Valores em negrito são significativos a 5% de significância.

Figura 11: Relação entre os valores de atributos físicos de solos com elevados teores de matéria orgânica do solo (a) Densidade do solo x teor de matéria orgânica do solo; (b) Densidade do solo x resíduo mínimo; (c) Densidade da partícula x material mineral; e (d) Umidade gravimétrica x volume total de poros (VTP).



Os valores de densidade das partículas (D_p) variam de forma inversamente proporcional aos teores de matéria orgânica do solo ($R^2 = 0,90$; Figura 11c). Além disso, de acordo com os valores de coeficiente de Pearson, a D_p variou diretamente com os valores de RM ($r = 0,81$; $p < 0,000$) e de MM ($r = 0,94$; $p < 0,000$). Este comportamento é justificado pelo fato de as partículas minerais contidas no solo apresentarem maior densidade, a exemplo do quartzo, cujo valor é próximo de $2,65 \text{ Mg m}^{-3}$, e que é encontrado em maior abundância nestes solos. A medida que aumenta a participação dos constituintes minerais na composição do solo, este passa a exercer maior influência sobre a D_p que a matéria orgânica, como é o caso das camadas Cg. O

VTP apresenta correlação positiva com o conteúdo de água (Ug) ($r = 0,88$), e no gráfico de dispersão desses atributos (Figura 11d), pode ser observado o aumento do VTP com o aumento da umidade do solo ($R^2 = 0,91$).

A redução dos valores de Ds está relacionada com o aumento dos teores de fibras esfregadas (FE) no solo ($r = -0,62$; $p = 0,002$), e conseqüentemente ao grau de decomposição da matéria orgânica. Assim, os menores valores de Ds estão associados aos horizontes com menor grau de decomposição do material orgânico. Isso se deve à maior macroporosidade entre as estruturas do material fíbrico e a presença de tecidos vegetais pouco alterados e de baixa densidade, além da maior capacidade deste material vegetal em reter água. Comportamento semelhante desses atributos foi observado por Conceição et al. (1999), em solos orgânicos do Rio de Janeiro, e por Valladares et al. (2008a), onde foi identificada correlação linear significativa entre a densidade do solo e os teores de matéria orgânica dos solos.

O aumento da Ds também resultou na redução do VTP ($r = -0,98$; $p < 0,001$) e, conseqüentemente, na redução da capacidade de retenção de água do solo (Ug), cujo coeficiente de correlação foi de $-0,86$ ($p < 0,001$). Assim como afirmado por Valladares (2003), as características e atributos relacionados com a Ds permitem afirmar que o seu aumento reflete no aumento do grau de subsidência. Campos et al. (2011), em estudos com Organossolos de altitude em Diamantina, MG, relatam que o aumento dos teores de MO está relacionado com a diminuição da Ds, MM e com o aumento do percentual de fibras esfregadas e umidade gravimétrica.

O volume total de poros (VTP), a partir dos valores de Ds e Dp, variou de 0,34 a 0,94 $m^3 m^{-3}$, com mediana de 0,86 $m^3 m^{-3}$, em função dos teores da matéria orgânica e de argila. Os valores de VTP foram inversamente proporcionais aos de RM ($r = -0,95$; $p < 0,000$), permitindo afirmar que, quanto menor o VTP, maior a correspondência com os horizontes minerais. As camadas formadas por sedimentos minerais, nos perfis CE1, CE2 e PB1, apresentam VTP reduzido (0,59 $m^3 m^{-3}$, 0,34 $m^3 m^{-3}$ e 0,59 $m^3 m^{-3}$, respectivamente), enquanto que nos solos com horizontes hísticos fíbricos e hêmicos, o VTP atinge valores de até 0,94 $m^3 m^{-3}$ (CE2 Hoj, RN1 Hdo1 e PB2 Hdo2).

Os horizontes sápricos apresentaram valores mais altos de material mineral (MM) e o aumento deste influenciou nos valores de Ds ($r = 0,83$; $p < 0,000$), havendo correlação positiva entre estes atributos. Em estudos realizados com Organossolos da Serra do Espinhaço-MG, Horák (2009) relatou que o aumento dos valores de MM eleva

os valores de D_s e RM , e o seu aumento pode estar associado aos valores mais altos de D_p , conforme já mencionado.

Lynn et al. (1974) atribuíram para valores de densidade da matéria orgânica (DMO) acima de $0,15 \text{ Mg m}^{-3}$ forte relação com solos de maior intensidade de cultivo. Os valores observados neste estudo corroboram esta afirmação, onde os maiores valores de DMO foram encontrados em superfície, nos perfis CE2, RN1, RN2 e PB2, apresentando redução em profundidade, confirmando a ocorrência de alterações em virtude do uso agrícola. Em contrapartida, o perfil CE1 foi o que apresentou valores de DMO menores em superfície, com aumento gradual em profundidade, possivelmente devido ao seu melhor estado de conservação. A DMO apresentou correlação negativa com o percentual de fibras esfregadas ($r = -0,69$, $p = 0,000$), devido a menor densidade do material vegetal pouco decomposto, comparada ao material em estado avançado de humificação.

Outro atributo usado por Lynn et al. (1974) para avaliar Organossolos foi o resíduo mínimo (RM), que estima as alterações e as perdas do material orgânico, caso o solo fosse submetido a intenso processo de subsidência. O valor refere-se a espessura remanescente do solo após sofrer este processo. O perfil RN2 apresentou o maior RM ($0,48 \text{ cm cm}^{-1}$) em superfície, seguido do CE2 ($0,46 \text{ cm cm}^{-1}$). Estes valores indicam que os horizontes superficiais foram mais intensamente afetados pela subsidência no passado ou ainda estão sendo, devido à drenagem e uso agrícola ao longo dos anos, tendendo a atingir novo ponto de equilíbrio nas condições atuais de uso e da paisagem. Os perfis CE1 e PB2 apresentaram os menores valores de RM em superfície ($0,03$ e $0,05 \text{ cm cm}^{-1}$, respectivamente) sendo estes solos mais suscetíveis à subsidência.

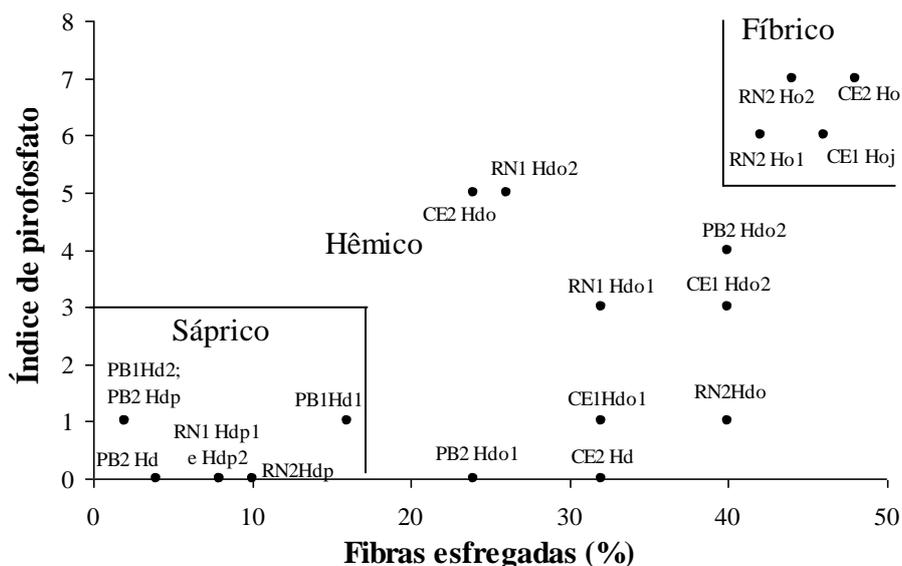
Na medida em que aumenta a profundidade dos horizontes orgânicos, os valores de RM tendem a reduzir, indicando que se preservam nessa profundidade as condições naturais de formação desses solos, ou seja, efeito do lençol freático com e a saturação por água nesses horizontes, que impedem a subsidência. De acordo com Conceição (1989), a taxa de subsidência é influenciada pela profundidade de drenagem e pelo tipo de material orgânico do solo, além de que esta contração tem efeito permanente e mais intenso quanto mais intensa for a drenagem destes solos. Valores mais baixos indicam alto potencial de subsidência, além de estarem associados a menores valores de D_s , conforme mencionado por Valladares (2003) e observado nesse trabalho, através da análise estatística, onde foi identificada elevada correlação entre estes atributos ($r = 0,99$; $p < 0,001$). Sendo assim, os menores valores de RM e de D_s

estão associados ao menor grau de decomposição da matéria orgânica, visto que o RM apresentou correlação negativa com o teor de fibras esfregadas ($r = -0,53$; $p = 0,01$).

O grau de decomposição do material orgânico foi avaliado conforme definido na escala de von Post, em teste a campo que visa identificar horizontes fíbricos (classes identificadas entre 1-4), hêmicos (5-6) e sápricos (7-10), e classificar os Organossolos no terceiro nível (grande grupo) no SiBCS (SANTOS et al., 2006).

Nesse estudo, para fins de classificação dos horizontes, foram usados os teores de fibras esfregadas e o índice de pirofosfato (Figura 12). Os resultados mostram que, entre os perfis, os horizontes em estado de decomposição mais avançado estão na superfície, com redução do grau de decomposição nos horizontes subjacentes.

Figura 12: Relação entre os valores de fibras esfregadas e índice de pirofosfato de amostras de solos com elevados teores de matéria orgânica da região Nordeste do Brasil, com separação das amostras entre sápricos, hêmicos e fíbricos.



O perfil 1 de Organossolo da área do Ceará (CE1) apresentou percentuais elevados de fibras esfregadas (FE) no horizonte superficial, indicando a presença de material orgânico em melhor estado de conservação, provavelmente, em função da ausência de drenagem e uso agrícola deste solo. Neste mesmo perfil, o horizonte glei (Cg1) foi submetido ao teste de fibras esfregadas por apresentar considerável teor de material orgânico pouco decomposto, apesar de não ter conteúdo de carbono suficiente que o qualifique como horizonte orgânico.

O horizonte Agp (CE2) também não apresenta teor de carbono orgânico

total suficiente para classificá-lo como orgânico, segundo critérios do SiBCS (SANTOS et al, 2006), porém ainda apresenta características morfológicas semelhantes as de um horizonte orgânico, e além dos elevados teores de fibras, possui baixa DMO e valores de Ds. As características intermediárias desse horizonte superficial resultam da intensificação do processo mineralização, que levou as perdas de carbono e, portanto, a alteração de sua natureza de horizonte orgânico para mineral.

Os perfis RN1, RN2, PB1 e PB2 tem horizontes em maior estágio de decomposição na superfície (sápricos), atingindo maiores valores na escala de von Post. O material sáprico apresenta menor conteúdo de fibras, os maiores valores de densidade do solo e menor capacidade de reter água do que o material hêmico ou fíbrico (ANDRIESSE, 1984). Em se tratando da correspondência entre os atributos avaliados, pode ser observada correlação positiva dos percentuais de FE com os teores de MO ($r = 0,51$; $p = 0,01$) e inversa com os valores de DMO ($r = -0,69$; $p = 0,000$) mostrando e confirmando afirmações feitas anteriormente, relacionando o menor estágio de decomposição da MO com os menores valores de densidade.

Estes valores são atribuídos ao intenso revolvimento do solo pelo uso agrícola e ao rebaixamento do lençol freático, promovendo a aeração do solo e conseqüente aumento da decomposição da matéria orgânica. Já que os teores de fibras esfregadas aumentaram, o grau de decomposição tende a ser menor em profundidade, onde ainda há condições favoráveis a anaerobiose. O material fíbrico é menos decomposto e apresenta fibras de origem vegetal facilmente identificáveis, além de possuir menor densidade do solo e maior capacidade de reter água quando saturado, chegando a reter mais de mil vezes seu volume em água (ANDRIESSE, 1984).

De acordo com a natureza do material de formação do solo, podem ser quantificados outros materiais que não são fibras, como fragmentos de carvão e grãos de areia nas amostras de solo, o que tende a superestimar a determinação dos teores de fibras. Couto (1984), em estudo desenvolvido com solos orgânicos do alto vale do rio Arrojado, BA, faz observações a respeito dos valores reais de fibras esfregadas serem superestimados em função da presença da fração mineral (grãos de quartzo) em solos com horizontes glei. Em seus estudos com amostras de solos orgânicos de várias regiões do Brasil. Valladares (2003) também faz estas observações e afirma que este método é mais semi-quantitativo do que quantitativo, e que deve ser utilizado com precaução na classificação do material orgânico destes solos.

Outro atributo utilizado para a caracterização dos Organossolos foi o percentual de volume residual (VR) da amostra não deformada após secagem em estufa a 65°C. A medida que diminuiu o grau de decomposição do material orgânico do solo (maiores teores de fibras esfregadas) e aumenta os teores de MO, foi observado a redução dos percentuais de VR ($r = -0,76$ e $-0,56$, respectivamente, significativos a 5%), ou seja, maior a contração do solo pela secagem.

Correlação inversa foi identificada entre os percentuais de VR com o VTP ($r = -0,76$) e com os teores de Ug ($r = -0,78$), ambos significativos a 5%, indicando que as amostras com menor VR têm maior capacidade de reter água, e esta por sua vez compõe a maior parte do volume do solo. Isso pode ser observado no perfil CE2 Hdo (11-30 cm), com maior percentual de fibras esfregadas, menor valor na escala de von Post e maior valor de VR que o horizonte Hd (47-52 cm) do mesmo perfil, ambos classificados como hêmicos. As amostras superficiais de solos drenados indicam que estes tiveram seu volume reduzido ao longo do tempo, por isso os maiores valores de VR.

Ainda com relação ao VR, foram observadas correlações com os valores de MM, com a densidade do solo e com a DMO ($r = 0,53$, $0,69$ e $0,72$, respectivamente). Além disso, o VR também apresentou correlação com o RM, no entanto, este valor de correlação não foi elevado entre as variáveis VR e RM ($r = 0,60$), visto que os valores de RM são mais indicados para inferir o grau de subsidência do solo.

Neste estudo, os valores percentuais do VR estiveram mais relacionados aos teores de fibras esfregadas, os valores de DMO e a capacidade de armazenamento de água. Logo, se pode inferir que este atributo está mais associado ao grau de decomposição do material orgânico do que ao grau de subsidência propriamente dito. Mais estudos devem ser desenvolvidos para validar a eficácia do VR, relacioná-lo com outros atributos e fazer inferências sobre seu uso como indicador do grau de subsidência dos Organossolos.

Os atributos físicos avaliados nos Organossolos desenvolvidos nos ambientes de várzea do Nordeste brasileiro apresentaram forte correlação entre si, mostrando a interdependência das variáveis (Tabela 4), além de terem sido coerentes com estudos de Organossolos em outras regiões do país. Os resultados expostos mostram a importância da avaliação dos atributos físicos e a sua relação com o uso destes solos. Além disso, é necessário monitorar essas áreas quanto aos níveis de alterações das propriedades dos solos ao longo do tempo, e as condições de equilíbrio

atual destes solos em seu ambiente e também para atribuir medidas de conservação cabíveis para cada situação.

3.3 Caracterização química

A caracterização química dos Organossolos é apresentada na Tabela 5, onde encontram-se os valores referentes à acidez, aos teores de P disponível, soma de bases, valor T e valor V%, além dos teores de micronutrientes.

Tabela 5: Caracterização química de solos com elevados teores de matéria orgânica da região Nordeste do Brasil.

Horiz	pH			Ca	Mg	Al	H	Na	K	P _{Melich}	P _{Olsen}	S	T	V%
	H ₂ O	KCl	CaCl ₂											
Perfil CE1														
Hdo1	6,1	5,7	4,5	24,0	25,1	0,2	6,2	9,46	0,70	8	7	59,2	65,6	90
Hdo2	5,2	4,8	3,5	34,5	23,0	0,2	11,0	8,16	0,20	4	4	65,9	77,1	85
Hoj	3,3	3,0	2,2	59,7	14,3	9,3	30,0	4,18	0,08	7	1	78,4	117,7	67
Cg1	4,7	4,3	3,4	12,5	9,9	0,1	5,6	1,58	0,69	6	4	24,6	30,3	81
Cg2	5,8	4,9	4,0	8,2	7,6	0,1	3,2	1,18	0,77	5	4	17,7	21,0	84
Perfil CE2														
Agp	5,2	4,6	3,8	10,8	2,9	0,1	6,2	0,48	0,04	69	17	14,3	20,6	69
Hdo	4,6	4,2	3,4	12,3	5,6	0,3	8,9	0,53	0,01	88	16	18,4	27,6	67
Ho	3,6	3,4	2,7	33,9	15,7	2,3	17,1	1,97	0,03	20	5	51,7	71,1	73
Hd	3,0	2,9	2,4	8,2	13,3	13,6	6,9	0,47	0,01	49	4	22,0	42,5	52
Cg	3,6	3,5	2,9	1,4	1,6	0,5	1,0	0,01	0,00	10	1	3,0	4,5	67
Perfil RN1														
Hdp1	7,6	7,1	6,3	47,2	15,3	0,0	0,2	1,41	0,24	15	1	64,2	64,4	100
Hdp2	7,5	6,8	6,1	47,8	14,6	0,0	0,7	1,21	0,08	10	0	63,7	64,4	99
Hdo1	4,9	4,7	3,8	58,8	23,1	0,2	16,7	1,00	0,07	2	0	83,1	100,0	83
Hdo2	4,8	4,5	3,6	53,7	28,1	0,2	18,9	1,04	0,13	2	0	83,1	102,2	81
Perfil RN2														
Hdp	4,3	3,9	3,1	23,1	4,3	0,7	18,9	0,14	0,17	31	7	27,7	47,3	59
Hdo	4,4	3,9	3,1	45,9	9,6	0,5	44,2	0,46	0,07	8	3	56,1	100,8	56
Ho1	4,7	4,3	3,4	38,0	14,0	0,4	30,5	0,48	0,07	5	3	52,6	83,5	63
Ho2	4,7	4,2	3,5	29,5	14,0	0,5	28,2	0,58	0,08	5	1	44,2	72,9	61
Perfil PB1														
Hd1	6,0	5,6	4,8	53,8	4,4	0,0	4,6	1,55	0,13	17	2	59,9	64,5	93
Hd2	6,7	5,9	5,3	53,5	3,9	0,0	2,9	0,42	0,04	19	3	57,8	60,7	95
Cg1	7,3	6,4	5,9	33,0	2,5	0,0	0,8	0,09	0,13	9	2	35,8	36,6	98
Cg2	7,5	6,7	6,0	6,3	0,3	0,0	0,7	0,03	0,03	7	0	6,7	7,4	91
Perfil PB2														
Hdp	5,1	4,8	3,8	49,8	4,7	0,6	5,3	0,10	0,08	26	1	54,7	60,6	90
Hd	5,3	4,8	3,9	45,6	3,6	0,4	5,9	0,15	0,13	22	0	49,6	55,9	89
Hdo1	5,2	4,9	3,9	81,3	7,0	0,1	7,5	0,28	0,14	12	10	88,8	96,4	92
Hdo2	4,9	4,6	3,6	45,5	5,5	0,0	15,0	0,45	0,12	5	5	51,6	66,6	77

pH em água, KCl e CaCl₂ - relação 1:2,5; P, K⁺, Na⁺ - extrator Mehlich 1; Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺ - extrator KCl 1 mol L⁻¹; H⁺ + Al³⁺ - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0; Valor S= Soma de bases (Ca²⁺ + Mg²⁺ + Na⁺ + K⁺); Valor T - CTC efetiva; V%= Saturação por bases ((S/T)*100).

3.3.1 Acidez do solo

Os valores de pH em água variaram entre 3,0 e 7,6, com mediana de 5,0. Os valores de pH em KCl e CaCl₂ foram menores, quando comparados com o pH em água, com mínimas de 2,9 e 2,2, máximas de 7,1 e 6,3 e medianas de 4,6 e 3,7, respectivamente. Embora nos perfis CE1 e CE2 os valores de pH em KCl tenham sido maiores que os valores de pH em CaCl₂, nos demais perfis o comportamento foi inverso e semelhante ao observado por Ebeling (2006) e Valladares (2003), cujos valores de pH em KCl são menores e os de pH em CaCl₂ tendem a ser intermediários, tendo como referência os valores de pH em água.

Estes valores mais baixos de pH em solução KCl se devem ao efeito da solução salina, que induz a troca de cátions devido a maior concentração de íons K⁺, forçando a saída de íons H⁺ e Al³⁺ do complexo de troca, liberando-os para a solução e favorecendo o aumento da acidez e a redução dos valores de pH (VALLADARES, 2003; EBELING et al., 2008).

Os baixos valores de pH nestes solos também estão relacionados aos elevados teores de ácidos orgânicos formados a partir da decomposição da matéria orgânica, que liberam prótons H⁺ de radicais carboxílicos e fenólicos para a solução do solo (EBELING et al., 2008). Esta afirmação é justificada pelos elevados valores de H⁺ no complexo sortivo, que contribuem com a maior parte da acidez potencial dos Organossolos, comparada aos valores de Al³⁺ (LEPSCH et al., 1990).

Quanto à correlação entre os valores de pH com os diferentes extratores, o coeficiente de correlação mais elevado ($r = 0,99$; $p < 0,001$) foi verificado entre o pH em água e em KCl 1 mol L⁻¹, assim como observado por Ebeling et al. (2008) e Lepsch et al. (1990), sugerindo que o uso do pH com solução de KCl 1 mol L⁻¹ é tão eficaz na determinação do pH em solos com elevados teores de matéria orgânica como a água.

Os perfis CE1 e CE2 apresentaram horizontes com pH em água inferior a 3,5, valor de referência usado para identificar o caráter tiomórfico. No entanto, apenas o horizonte Hoj do perfil CE1 possui espessura maior que 15 cm, critério necessário para a determinação do horizonte tiomórfico. Esta redução do pH se deve à oxidação de materiais sulfídricos, formação de ácido sulfúrico e sua dissociação na solução do solo de prótons H⁺. Nestas condições de baixo pH, aumenta a solubilidade de Al³⁺, além do decréscimo dos teores de P e de Mo; e aumenta a impossibilidade de absorção de Ca, Mg e P pelas plantas (BREEMEN & BUURMAN, 2002; GOMES, 2002).

Os maiores valores de pH em superfície foram encontrados no perfil RN1 (7,6), podendo ser favorecido em parte pela formação geológica da região, que apresentam vestígios de rochas calcárias da formação Jandaíra (DINIZ FILHO, S/D). Além disso, a aplicação de calcário para a correção da acidez do solo também pode ter contribuído para o aumento dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} nesta área.

Os teores de Al^{3+} trocável variaram de 0 a $13,6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, com mediana de $0,2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Embora tenham sido constatados valores altos capazes de causar toxidez às plantas, os altos teores de matéria orgânica e elevado poder tampão destes solos reduzem o efeito da toxidez, complexando o alumínio em seus compostos orgânicos devido à habilidade que possuem de combinar-se com íons metálicos (ZON, 2008).

Em estudos sobre a relação estequiométrica entre H/Al em horizontes hísticos de diferentes regiões do país, Perez et al. (2009) encontraram para os solos orgânicos valores menores de H^+ trocável, sugerindo que os teores deste elemento não contribuem para a acidez trocável destes solos, mas que a maior contribuição provém do hidróxido de Al ligado aos compostos orgânicos. Eles afirmam que a quantidade de H^+ trocável no solo pode ser insignificante em condições de pH maiores que 4,5, condição geral em que os solos deste estudo se encontram. Logo, a determinação da acidez em solos orgânicos por meio de titulação ácido-base pode estar superestimando os teores de H nos solos. Estes resultados corroboram os estudos de Pereira et al. (2005) e Ebeling et al. (2008), que apontaram para a necessidade de novos métodos de análise de rotina para avaliar corretamente as formas de determinação da acidez nos Organossolos no Brasil.

3.3.2 Soma de bases (Valor S)

Os valores de soma de bases apresentaram variações, tanto entre perfis como na sua distribuição dentro de um mesmo perfil. O valor S variou de 3,0 a $88,8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e com mediana de $52,2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, havendo predomínio de perfis que apresentaram elevados valores de soma de bases, prevalecendo os cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} em relação aos demais. Os valores mais altos podem estar relacionados ao emprego de corretivos do solo (calcário), principalmente nos perfis RN1 e RN2. Além do mais, existem estudos geológicos que relatam a presença de material calcário, da Formação Gramame, na proximidade das áreas Caaporã (PB1), o qual é extraído em pedreira da indústria CIPASA (Cimento Poty Paraíba), e também no município de Alhandra (PB2) (FURRIER et al., 2006; NEVES et al., 2009; SOBRAL et al., 2010). A presença deste

material de origem calcário pode ter influenciado o solo pelo fornecimento de cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} para a solução assim contribuindo com o aumento de seus teores. Isto também pode ter contribuído para os maiores valores de pH observados nestes solos.

Embora estes valores sejam altos, eles não devem ser usados de forma direta como indicativo de elevada fertilidade natural, visto que parte destes elementos pode estar indisponível para as plantas, seja complexados junto às moléculas de ácidos orgânicos (MESQUITA et al., 2009), formando humatos de cálcio, ou na constituição do tecido vegetal pouco decomposto.

Com relação aos demais elementos que compõem o valor S, os teores de K^+ mais elevados encontram-se no perfil CE1, certamente pela influência flúvio-marinha e oscilações do lençol freático, favorecendo o fornecimento de sais para o solo. As demais sessões do solo apresentaram valores mais baixos e nota-se distribuição irregular em profundidade. De acordo com Mesquita et al. (2009) embora os solos orgânicos apresentem alta CTC, devido aos elevados conteúdos de matéria orgânica, os teores de K^+ são geralmente baixos devido a baixa capacidade de reter cátions monovalentes como K^+ e Na^+ , já que se trata de ligações fracas. Exceção é dada em solos localizados em ambientes sujeitos às influências marinhas, onde há grande fornecimento destes sais.

Foi observado no perfil CE1 elevado teor de Na, com valores de saturação por sódio de 6% (Cg2) a 14% (Hdo1), conferindo-lhe caráter solódico. Nos demais perfis o Na apresentou valores baixos, havendo também irregularidade na sua distribuição ao longo dos perfis. Os teores de Mg elevados, por vezes maiores que os de Ca, como observado em CE1 (Hdo1) e CE2 (Hd e Cg), também podem ser devidos a influência marinha, que favorece o fornecimento deste cátion nos solos e até mesmo a salinização.

3.3.3 Fósforo

Foram testados dois métodos de extração de fósforo do solo, um com extrator duplo ácido (Melich 1) e outro com uso de solução de bicarbonato de sódio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ (Olsen), sendo este último um extrator mais brando, resultando em teores de P sempre menores, quando comparados ao primeiro.

Os valores de fósforo (Melich 1) apresentaram variação de 2 a 88 mg kg^{-1} , cujas maiores concentrações foram observadas nas camadas superficiais dos perfis RN2, PB1 e PB2, com decréscimo de P em profundidade. Isso se deve às adubações

fosfatadas aplicadas durante o cultivo nestas áreas. O perfil CE2 apresentou valores irregulares de fósforo ao longo do perfil, havendo aumento dos teores de P na profundidade de 47 a 52 cm (Hdo). Este comportamento irregular nos perfis pode ser justificado pelo fato de que o fósforo pode ser adsorvido junto a compostos orgânicos, devido seu caráter aniônico, sendo retido nestas moléculas e formando compostos pouco solúveis.

Os teores de P pelo método de Olsen, de modo geral, também decresceram em profundidade ao longo dos perfis, exceto no perfil PB2, onde o maior teor de P foi observado em profundidade. Os valores de P variaram de 0 a 17 mg kg⁻¹, com mediana de 2 mg kg⁻¹. Foi identificada elevada correlação existente entre os valores obtidos pelos dois extratores ($r = 0,81$; $p < 0,000$) e $R^2 = 0,66$. Com isso, o método pode ser empregado para a quantificação dos teores de P em solos orgânicos, visto que o uso do extrator (solução de NaHCO₃) possibilita a quantificação dos teores de P mais facilmente disponíveis para as plantas.

3.3.4 Valor T e Saturação por bases (V%)

Os perfis apresentaram valores de CTC elevada em virtude dos altos teores de matéria orgânica, havendo correlação positiva entre o valor T com os valores de matéria orgânica ($r = 0,80$; $p < 0,000$). O valor T apresentou valor máximo de 117,7 cmol_c kg⁻¹, mínimo de 4,5 cmol_c kg⁻¹ e mediana de 64,7 cmol_c kg⁻¹.

Com os valores S e T das amostras de solos se estima o quanto da carga total do solo (CTC) é ocupada por bases, valor identificado como saturação por bases (V%). Embora esse critério não seja utilizado para a classificação de Organossolos no SiBCS (SANTOS et al., 2006), foram encontrados valores desde 52 a 100%, com mediana de 77%, mostrando que estes solos podem apresentar V% elevado, associado aos elevados teores de cálcio e magnésio que contribuíram para o aumento do valor S.

Esses resultados são distintos de vários estudos de Organossolos no Brasil. Como nos Organossolos estudados por Valladares et al. (2008) e Ebeling et al. (2011b), que apresentaram predomínio de valores de saturação por bases menores que 50%, e esses estudos incluíram solos formados em planícies litorâneas da Região Nordeste; bem como os Organossolos estudados por Souza Júnior et al. (2011a), no Estado de Alagoas.

3.3.5 *Micronutrientes*

São poucos os estudos que abordam os teores de micronutrientes disponíveis em Organossolos, visto que o comportamento destes metais é diferenciado nos solos com elevados teores de matéria orgânica, comparado aos solos de constituição predominantemente mineral. Segundo Andriessse (1984), a drenagem dos Organossolos resulta na formação de novos compostos orgânicos em função do aumento das taxas de decomposição do resíduo vegetal. Estes compostos orgânicos formam quelatos com os micronutrientes e são lixiviados, podendo causar desbalanço nutricional e deficiência nas plantas.

Com relação aos teores de micronutrientes avaliados (Tabela 6), foram encontrados valores mais baixos de Mn nos horizontes minerais, possivelmente devido ao elevado potencial redox nessa profundidade pelo contato com o lençol freático, favorecendo a redução do Mn^{3+} e Mn^{4+} para Mn^{2+} , que é mais solúvel, possui maior mobilidade e tende a se translocar ao longo no perfil do solo ou mesmo sair do sistema (SILVA et al., 2009). As variações encontradas nos teores de Mn foram de 0,17 mg kg⁻¹ e 83,33 mg kg⁻¹, com mediana de 16,28 mg kg⁻¹. Para este elemento não foi encontrada correlação com os valores de pH do solo.

O ferro apresentou comportamento semelhante ao do Mn, com tendência de redução dos teores deste elemento em profundidade, devido a sua maior solubilidade em ambiente redutor. Como resultado, ferro e o manganês podem ser perdidos com mais facilidade em solos saturados do que em solos bem drenados. Ainda com relação ao Fe, foram encontrados os maiores teores em relação aos demais metais, variando de 0,75 a 3.768,15 mg kg⁻¹ e mediana de 141,42 mg kg⁻¹. Os maiores teores de Fe ocorrem nos perfis do Ceará (CE1 e CE2), que têm menores valores de pH. As condições de pH baixo favoreceram a redução do Fe, como indicado pela correlação negativa entre os valores de pH em água e o teor de Fe com valor de correlação de 0,51, significativo a 1% de probabilidade. Os elevados teores de Fe nesses perfis indicam ainda a formação de pirita.

Tabela 6: Avaliação dos teores de alguns micronutrientes em Organossolos da região Nordeste do Brasil.

Horizontes	Mn	Zn	Cu	Fe
----- mg kg ⁻¹ -----				
Perfil CE1				
Hdo1	26,80	75,59	0,77	443,24
Hdo2	22,87	65,99	1,25	447,52
Hoj	28,01	100,79	6,03	3.768,15
Cg1	4,75	10,06	0,54	650,75
Cg2	2,88	5,49	0,24	318,81
Perfil CE2				
Agp	50,52	83,37	3,06	543,02
Hd	34,59	177,43	3,40	502,83
Ho	83,33	244,00	5,87	1.213,64
Hdo	37,96	168,14	5,81	1.492,08
Cg	1,75	4,42	0,00	201,37
Perfil RN1				
Hdp1	45,74	1,90	0,00	48,79
Hdp2	37,83	2,38	0,00	94,59
Hdo1	8,51	3,48	0,00	240,92
Hdo2	5,44	5,24	0,00	478,51
Perfil RN2				
Hdp	77,89	11,06	0,00	25,85
Hdo	12,49	3,64	0,00	8,34
Ho1	10,34	3,24	0,00	35,26
Ho2	10,22	3,83	0,00	26,37
Perfil PB1				
Hd1	2,57	9,67	0,00	188,25
Hd2	1,12	3,65	0,61	46,08
Cg1	0,97	1,08	0,43	44,04
Cg2	0,17	0,52	0,27	41,12
Perfil PB2				
Hdp	16,57	5,31	0,64	7,85
Hd	29,14	8,38	0,40	19,15
Hdo1	15,99	2,97	0,21	9,17
Hdo2	22,38	8,97	0,25	0,75

Em solos saturados, como os Organossolos, pode ocorrer a formação de zonas de aprisionamento de O₂, causando a precipitação de Fe na forma oxidada. Este fato explica parcialmente os altos teores de ferro encontrados em alguns horizontes ou camadas dos perfis, com distribuição irregular. Devido a colocação escura dos compostos orgânicos, abundantes nos solos estudados, não foram observadas as feições morfológicas de mosqueados.

Os teores de cobre, de forma geral, foram mais baixos que os dos demais elementos analisados, com valores de mínima, máxima e mediana iguais a 0,00; 6,03 e 0,26 mg kg⁻¹, respectivamente. Assim como o Fe, o Cu também apresenta maior

solubilidade em condições de acidez elevada (CANELLAS et al., 1999), e os resultados encontrados entre a correlação dos teores de Cu e pH ($r = -0,54$; $p = 0,005$) reforçam esta afirmação. No entanto, o Cu na solução do solo pode formar complexos organometálicos estáveis com os ácidos orgânicos (INCORA, 1974; ANDRIESSE, 1988), possibilitando sua permanência em forma menos disponível devido a baixa solubilidade desses compostos. Por essa razão, os valores de Cu são menores quando comparados aos dos outros metais, podendo até mesmo haver deficiência deste metal em plantas cultivadas em áreas de Organossolos. Segundo Andriesse (1984), a deficiência de Cu é comum em Organossolos da Região Sul do país, prejudicando as lavouras de arroz inundado, pois promove a esterilidade dos grãos de arroz.

Os teores de zinco variaram de 0,52 a 244,00 mg kg⁻¹, com mediana de 5,4 mg kg⁻¹. Diferentemente do Cu, não foi observado valor de correlação elevado com pH ($r = -0,49$), significativa apenas a 5%. Em estudo sobre a adsorção de cobre e zinco em amostras de turfa coletadas em Arraial do Cabo, Rio de Janeiro, Lamim et al. (2001) verificaram que, no pH de 5,5, houve a máxima adsorção do zinco, no entanto, a presença do íon competidor Cu²⁺ afetou em torno de 66 % a adsorção do Zn. Segundo os autores, a estabilidade do complexo metal-quelato é determinada por vários fatores, incluindo o número de átomos que formam uma ligação com o íon metálico, o número de anéis que são formados, a natureza e concentração do íon metálico e o pH.

3.4 Classificação dos solos

Os solos foram classificados segundo critérios estabelecidos pelo Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos – SiBCS (Santos et al., 2006) (Tabela 7). Os teores de matéria orgânica, obtidos das amostras pelo método da mufla, foram utilizados como padrão para a distinção do tipo de material, se orgânico ou mineral. Todos os solos apresentaram teores de matéria orgânica elevados, maiores que 137,92 g kg⁻¹, sendo este valor correspondente a 80 g de C kg⁻¹ (adotando o fator de conversão de 1,724, segundo EMBRAPA, 1997) e espessura maior ou igual a 40 cm, portando classificados com Organossolos no primeiro nível categórico.

Tabela 7: Classificação dos perfis de solos com elevados teores de matéria orgânica localizados na Região Nordeste do Brasil.

Perfil	Classificação SiBCS
CE1	ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO Hêmico solódico
CE2	ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico térrico
RN1	ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico típico
RN2	ORGANOSSOLO HÁPLICO Fíbrico típico
PB1	ORGANOSSOLO HÁPLICO Sáprico térrico
PB2	ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico típico

No segundo nível categórico, diferencia-se apenas o perfil CE1, por apresentar horizonte sulfúrico (horizonte Hoj), cujo valor de pH foi menor que 3,5 e espessura do horizonte maior que 15 cm, sendo portanto classificado como Tiomórfico, enquanto que os demais perfis foram classificados Háplicos. O perfil CE2 também apresenta horizontes com material sulfúrico (Ho e Hdo, com valores de pH de 3,6 e 3,0, respectivamente), não atendendo porém o critério de espessura. No entanto, a variação sazonal da influência marinha pode levar a valores de pH desses horizontes menores do que os encontrados no momento da coleta desse estudo e, eventualmente, este solo poderia também ser classificado como Tiomórfico. Mas seguindo com rigor o SiBCS, foi mantida a classificação do perfil CE2 como Háplico.

O grau de decomposição da matéria orgânica, determinado pela relação entre a porcentagem de fibras esfregadas e o índice de pirofosfato, é uma propriedade importante na classificação dos Organossolos no terceiro nível categórico, visto que está diretamente relacionado aos teores de matéria orgânica, densidade do solo e os riscos de subsidência. Embora este critério seja sensível a alterações antrópicas, deve ser empregado no SiBCS, pois permite inferir sobre aspectos do manejo destes solos.

O perfil PB1 apresenta horizonte hístico com material orgânico em avançado estágio de decomposição, classificado como sáprico. Esta área do perfil de Organossolo PB1 apresenta propriedades que evidenciam as consequências do processo de degradação no qual foram submetidos, principalmente mediante ao grau de decomposição da matéria orgânica e à pouca espessura, que se encontra no limite para a classe (40 cm). Embora o estabelecimento de uma espessura para a classificação destes solos pareça arbitrário, seu rigor é válido.

Já no perfil RN2 foi observado predomínio de material orgânico menos decomposto, portanto classificado como fíbrico. Os demais perfis, CE1, CE2, RN1 e

PB2 apresentam predomínio de material com grau de decomposição intermediário ao longo do perfil, classificados como hêmicos.

No perfil CE1, os elevados teores de Na em subsuperfície atribuíram ao perfil o caráter solódico, enquanto em CE2 e PB1, a presença de camada de material de constituição mineral (glei) dentro de 100 cm a partir da superfície levou a sua classificação como térricos. Os demais perfis (RN1, RN2 e PB2) são típicos.

3.5 Teores de carbono orgânico, nitrogênio e matéria orgânica do solo

Os teores de matéria orgânica do solo, de C e de N são apresentados na Tabela 8, assim como os fatores de conversão e a relação C/N, juntamente com os valores máximos, mínimos, mediana, desvio padrão e coeficiente de variação de cada atributo.

Tabela 8: Teores de matéria orgânica, carbono orgânico, nitrogênio e relação C/N em solos com elevados teores de matéria orgânica da região Nordeste do Brasil.

Horiz.	Prof. (cm)	MO_Mufla	C_Embr	C_WBmd	C_Fibras	f_Embr	f_WBmd	N	C/N
		----- g kg ⁻¹ -----						g kg ⁻¹	
CE1 - ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO Hêmico solódico									
Hdo1	0-8	504,00	257,86	246,09	110,09 (45)	0,51	0,49	17,10	14,39
Hdo2	8-21	504,00	261,49	261,97	126,42 (48)	0,52	0,52	15,20	17,23
Hoj	21-40	534,50	248,78	237,67	159,47 (67)	0,47	0,44	13,55	17,54
Cg1	40-50	132,00	39,19	39,75	4,51 (11)	0,30	0,30	3,05	13,03
Cg2	50-85 ⁺	94,00	19,37	19,38	-	0,21	0,21	1,89	10,25
CE2 - ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico térrico									
Agp	0-11	118,00	42,52	49,59	7,61 (15)	0,36	0,42	4,13	12,01
Hdo	11-30	164,50	58,56	61,80	56,63 (95)	0,36	0,38	5,43	11,38
Ho	30-47	511,50	251,95	266,51	180,95 (68)	0,49	0,52	17,69	15,07
Hd	47-52	207,00	82,82	102,36	56,72 (55)	0,40	0,49	6,16	16,62
Cg	52-100 ⁺	12,00	4,62	5,34	-	0,39	0,45	0,33	16,18
RN1 - ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico típico									
Hdp1	0-9	174,50	69,81	76,14	3,05 (4)	0,40	0,44	4,81	15,83
Hdp2	9-26	180,50	83,39	88,12	13,68 (16)	0,46	0,49	4,49	19,63
Hdo1	26-50	472,00	253,77	261,97	116,29 (44)	0,54	0,56	10,34	25,34
Hdo2	50-150 ⁺	496,00	266,03	296,40	96,98 (33)	0,54	0,60	11,48	25,82
RN2- ORGANOSSOLO HÁPLICO Fíbrico típico									
Hdp	0-13	248,00	133,27	142,94	8,30 (6)	0,54	0,58	8,80	16,24
Hdo	13-26	722,50	430,97	445,20	160,82 (36)	0,60	0,62	19,72	22,58
Ho1	26-57	741,50	437,84	469,30	120,82 (26)	0,59	0,63	20,47	22,93
Ho2	57-100 ⁺	732,50	441,58	333,80	80,31 (24)	0,60	0,46	16,86	19,80
PB1 - ORGANOSSOLO HÁPLICO Sáprico térrico									
Hd1	0-20	211,00	85,41	78,97	9,21 (12)	0,40	0,37	7,86	10,05
Hd2	20-40	163,00	59,96	50,00	2,67 (5)	0,37	0,31	5,83	8,58
Cg1	40-60	75,00	5,13	7,42	-	0,07	0,10	0,66	11,24
Cg2	60-100 ⁺	12,50	1,33	2,42	-	0,11	0,19	0,37	6,54
PB2 - ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico típico									
Hdp	0-25	572,50	435,50	459,72	5,21 (1)	0,76	0,80	8,95	51,37
Hd	25-45	480,50	379,74	387,87	10,57 (3)	0,79	0,81	10,58	36,66
Hdo1	45-70	734,00	432,09	455,68	80,14 (18)	0,59	0,62	9,06	50,30
Hdo2	70-100 ⁺	416,00	433,25	444,81	176,16 (40)	1,04	1,20	5,26	84,56
Mínimo		12,00	1,33	2,42	2,67	0,07	0,10	0,33	6,54
Máximo		741,50	441,58	469,30	180,95	1,04	1,20	20,47	84,56
Mediana		332,00	191,03	190,31	68,43	0,48	0,49	8,33	16,43
Dp		240,81	165,43	166,74	64,05	0,20	0,22	6,10	17,00
CV%		67,95	82,46	81,93	88,81	42,59	43,07	77,36	70,96

Dp: Desvio padrão; CV%: Coeficiente de variação.

Valores em parêntese representam a proporção dos teores de C_Fibras em relação aos teores de C_WBmd.

O coeficiente de variação dos teores de C obtidos por diferentes métodos foi elevado, com valores de 67,95% para MO_Mufla, 82,46% para C_Embr e 81,93% para C_WBmd. Fontana et al. (2008) e Ebeling et al. (2008), em estudos de atributos de Organossolos, avaliaram a determinação de C por diferentes métodos e também

observaram elevado coeficiente de variação. De acordo com Ebeling et al. (2011a), essas variações nos teores de C se deve às variações dos ambientes onde foram coletadas os solos e também em função da heterogeneidade das camadas de sedimentos orgânicos, resultante das variações da cobertura vegetal, clima e saturação por água.

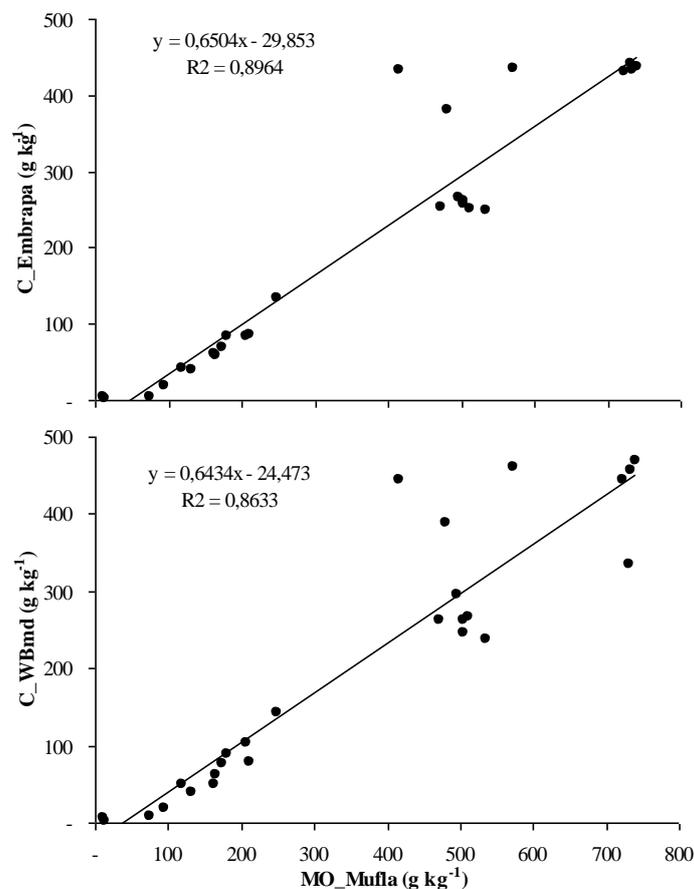
O método de calcinação (MO_Mufla) foi usado como referência para a classificação dos solos, conforme Santos et al. (2006). Nos Organossolos este método teve maior correspondência com as características morfológicas observadas em campo, de forma que os horizontes CE1 Hdo, RN1 Hdp1, PB1 Hd1 e PB 1 Hd2 foram classificados como hísticos. Caso fosse usado o método de determinação de C via úmida, os perfis CE2 e PB1 não seriam classificados como Organossolos, mas sim como Gleissolos Melânicos. Este fato destaca a importância de se determinar o teor de MO_Mufla.

Outro método adotado como de referência é o de determinação do C por combustão a seco em analisador elementar CNH. No entanto algumas considerações a respeito deste método, como a determinação do C inorgânico e a baixa representatividade das amostras, limitam seu uso, principalmente em solos orgânicos, cujas variações dos teores de C, em uma pequena amostra de solo, são grandes. Além do mais, possui custo operacional relativamente alto, necessidade de calibração adequada dos padrões de referência para controlar a qualidade dos dados adquiridos e conhecimento técnico do operador (VALLADARES, 2003; PEREIRA et al., 2005).

Mendonça (1999) e Conceição et al. (1999) avaliaram os teores de matéria orgânica de Organossolos com uso de mufla, com resultados que relacionaram satisfatoriamente com os teores de C obtidos por métodos de oxidação via úmida. Pereira et al. (2006a) indicam como métodos mais adequados para quantificação do carbono em Organossolos o C_WB md e o da mufla.

Os valores de MO_Mufla se correlacionaram com o C_WB mod, onde os valores de r são menores ($r = 0,93$) do que aqueles obtidos na correlação com o C_Embr ($r = 0,95$), sendo ambas as correlações altas e significativas a 1%. Quanto a comparação entre os três métodos (MO_Mufla x C_Embr x C_WBmd), os gráficos de dispersão apontam maior variabilidade nas amostras de solo com mais de 250 g kg^{-1} de C, indicando menor eficiência na comparação destes métodos em solos com teores muito elevados de matéria orgânica (Figura 13).

Figura 13: Relação entre os valores de matéria orgânica com os teores de COT pelos métodos da Embrapa e Walkley-Black modificado.



Como os métodos de determinação de C via úmida tem menor capacidade de oxidação da matéria orgânica, foi proposto o uso de um fator de correção para aumentar a eficiência destes métodos (TEDESCO et al., 1995). Neste estudo, este fator foi calculado com base nos teores de MO_Mufla (valor de referência) em relação ao teor de C determinado pelos métodos via úmida (Embrapa e Walkley-Black modificado). Dos resultados obtidos, foi observado que, para os horizontes hísticos, os valores destes fatores variaram entre 0,36 e 1,04 (f_{Embr}); e entre 0,31 e 1,20 (f_{WBmd}).

Para a conversão dos teores de C orgânico para a matéria orgânica do solo é usando o fator de 1,724, pressupondo que, na composição média da matéria orgânica, o carbono participa com 58% (EMBRAPA, 1997). Nesse estudo os valores deste fator, para os horizontes hísticos, variaram de 0,94 a 3,26, com mediana de 1,92, sendo este último valor próximo daquele adotado por Embrapa (1997).

Segundo Valladares (2003), uma possível fonte de erro nesse método é quantificação da umidade das amostras na gravimetria, o que conduz as variações deste

fator entre os horizontes. Conceição et al. (1999), em estudos com determinação dos teores de C em Organossolos da Baixada Fluminense (RJ), encontraram valor médio para o fator de correção dos teores de C_Embr para MO_Mufla de 3,18; enquanto Pereira et al. (2006a) adotaram o valor de 2,10 para a conversão dos teores de C obtidos pelo método W&Bmd para a obtenção dos teores de MO. Segundo estes autores, o método de determinação do C por W&Bmd e o da Mufla, para determinação da matéria orgânica, são mais adequados para amostras de solo com alto teor de matéria orgânica.

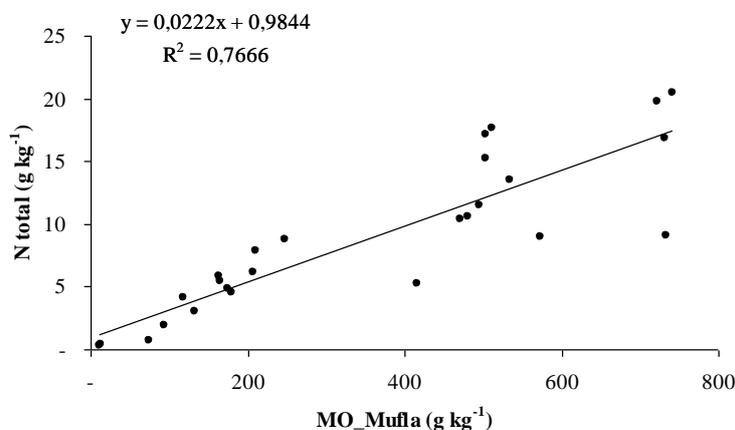
Já para os horizontes e camadas de constituição mineral, este fator de correção apresentou valores mais altos e com maiores variações, sendo a mínima, máxima e mediana de 2,25, 10,11 e 4,08, respectivamente. Outra possível fonte de erro nesta análise seria a presença de carbonatos. Nas áreas onde foram coletados os perfis no Estado da Paraíba (PB1 e PB2) há relato da presença de material calcário proveniente da Formação Gramame (FURRIER, et al., 2006; NEVES et al., 2009; SOBRAL et al., 2010). Na região próxima de Ceará-Mirim, onde se localiza o perfil RN, é relatada a presença de material calcário da Formação Jandaíra (DINIZ FILHO, S/D), distribuído de forma irregular ao longo da bacia do rio Ceará-Mirim.

A determinação do C contido nas fibras (C_Fibras) baseou-se nos percentuais de fibras esfregadas nas amostras de solo, e foi realizada para avaliar quanto do carbono nas amostras ainda permanece na constituição de tecidos vegetais. Desta forma se avaliaria quanto do C orgânico não estaria participando de forma efetiva nas reações de troca de cátions no solo (CTC), mas sim contribuindo com o estoque de carbono no sistema. Os percentuais de contribuição do C_Fibras nos valores de carbono total foram bastante heterogêneos, apresentando variações de 1% (Hdp, perfil PB2) a 95% (Hdo, perfil CE2), indicando que o restante do C está na forma de compostos humificados.

Foram feitas correlações entre os teores de C_Fibras nas amostras de solo e outras variáveis, tais como teor de umidade, valores de H^+ , pH, nitrogênio e carbono orgânico, testados ao nível de significância de 5%. Com os resultados foi possível afirmar que o aumento dos teores de C_Fibras está associado ao ambiente de saturação por água e aos valores de pH baixos, que favorecem a redução da atividade biológica, reduzindo as taxas de decomposição do material vegetal aportado no solo. Ainda, o aumento do teor de C_Fibras está associado ao aumento da densidade da matéria orgânica (DMO) e dos teores de nitrogênio do solo, devido a composição deste material mais fibroso e menos decomposto.

O teor de N total variou de 0,33 a 20,47g kg⁻¹, com mediana de 8,33 g kg⁻¹. Pereira et al (2006b), comparando dois métodos de determinação de N em horizontes hísticos, afirmaram que os teores de N obtidos por oxidação via úmida (TEDESCO et al., 1995) apresentaram valores estatisticamente comparáveis com os teores obtidos por oxidação via seca (CHN), com a vantagem de ser de mais simples e de fácil operação. Os teores de N obtidos neste estudo apresentaram boa correlação com os teores de MOS ($r = 0,88$; $p < 0,000$; $R^2 = 0,78$). Mendonça (1999), em estudos com Organossolos de Santa Cruz, na Baixada Fluminense, e Valladares et al. (2008a), também verificaram que os teores de nitrogênio variavam em função dos teores de matéria orgânica do solo. Desta forma, o aumento do aporte de material vegetal contribuiu com maiores teores de carbono do solo e de nitrogênio total (Figura 10). Em contra partida, a drenagem e o cultivo de áreas de Organossolos contribui com o processo de mineralização da matéria orgânica e, associados à temperatura e às condições de umidade do solo, favorecem as perdas de N e o aumento das taxas de emissão de N₂O (LIMA et al., 2006).

Figura 14: Relação entre os teores de matéria orgânica e nitrogênio total do solo em Organossolos de ambientes de planície da Região Nordeste.



Valladares et al. (2008a), Ebeling, et al. (2011a) e Andriess (1984) ressaltam que a avaliação da disponibilidade de N para as culturas não deve se basear apenas pelo teor total de N, mas na relação C/N. O que é explicado pois quando esta relação é elevada, com valores maiores que 16, o N não está disponível para as plantas, seja na constituição de tecidos vegetais lignificados, ou imobilizados pela microbiota do solo. Além disso, o nitrogênio também é deficiente aos microorganismos

decompositores, que têm sua população reduzida e nesse processo, a decomposição/mineralização da matéria orgânica torna-se mais lenta (VALLADARES et al., 2008a).

Nos horizontes avaliados, a relação C/N apresentou variação nos valores, tanto em profundidade como entre os perfis, com valores entre 6,54 e 84,56, com mediana de 16,42. Andriess (1984) ressalta como fatores que influenciam na disponibilidade de nitrogênio no solo a temperatura, a umidade no solo, a aeração e a acidez. Porém, neste estudo, não foram observadas correlações significativas entre os valores de C/N com a umidade do solo ou com os valores de pH.

3.6 Fracionamento químico da matéria orgânica

Os teores de carbono nas frações das substâncias húmicas (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e humina) e as relações entre essas frações são apresentados na Tabela 8. Foi observada elevada variabilidade nessas frações, com valores superiores a 70%, além de elevada amplitude onde, na fração humina, os valores variaram de 1,93 a 278,12 g kg⁻¹. Os teores de C na fração ácido fúlvico variaram de 0,32 a 14,82 g kg⁻¹ e a fração ácido húmico teve valores entre 0,32 a 161,76 g kg⁻¹.

O teor de C da fração humina total (C-HU_{Total}) foi maior em relação às demais frações, com variações tanto entre os perfis como em profundidade. Freixo et al. (1997) e Valladares et al. (2008) também verificaram predomínio de C da fração humina em Organossolos de diferentes regiões do Brasil, havendo menor contribuição das frações alcalino-solúveis na composição dos solos. No entanto, eles salientaram que parte do C da fração humina é composta pela matéria orgânica leve, presente no resíduo sólido na forma de compostos não humificados (fragmentos de fibras e carvão). Isso teria favorecido o predomínio da humina em detrimento às demais frações.

O carbono da fração humina total é obtido pelo somatório dos valores de C da matéria orgânica que persiste ao final da marcha analítica, aqui denominada de matéria orgânica leve (MOL) com e os valores reais de humina (C_HU_{real}). Mesmo havendo a separação da MOL, os valores de humina foram elevados, contribuindo com cerca de 95% dos valores de humina total. Apenas os perfis RN2 e PB2 apresentaram horizontes cujos valores de C_HU_{Real} estiveram em menor proporção comparados com os valores de C_HU_{Total}, com mínimo de 33%.

Tabela 9: Valores de carbono das frações húmicas de solos com elevados teores de matéria orgânica da região Nordeste do Brasil.

Horiz.	C_WBmd	C_HU _{Total}	C_Fibras	C_MOL	C_HU _{Real}	C-AF	C-AH	C-EA	C-AH/ C-AF	C-EA/ C-HU _{Real}	TR%
----- g kg ⁻¹ -----											
CE1 - ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO Hêmico solódico											
Hdo1	275,63	215,99	110,09	3,17	212,82	14,82	36,00	50,81	2,43	0,24	97
Hdo2	293,41	214,61	126,42	2,02	212,59	13,04	39,19	52,22	3,01	0,25	91
Hoj	266,19	199,41	159,47	9,46	189,95	13,37	32,49	45,86	2,43	0,24	92
Cg1	44,52	41,38	4,51	1,30	40,08	2,72	7,76	10,47	2,86	0,26	116
Cg2	21,70	15,52	-	0,85	14,67	1,37	6,53	7,90	4,76	0,54	108
CE2 - ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico térrico											
Agp	55,54	39,36	7,61	0,61	38,75	5,24	11,89	17,13	2,27	0,44	102
Hdo	69,22	44,48	56,63	0,45	44,03	5,01	21,79	26,80	4,35	0,61	103
Ho	298,49	232,53	180,95	26,14	206,39	14,37	29,53	43,90	2,06	0,21	93
Hd	114,64	76,89	56,72	0,63	76,26	5,67	20,95	26,62	3,69	0,35	90
Cg	5,98	3,31	-	0,15	3,16	0,64	1,44	2,08	2,24	0,66	90
RN1 - ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico típico											
Hdp1	85,27	71,21	3,05	0,04	71,17	2,47	2,94	5,41	1,19	0,08	90
Hdp2	98,70	76,19	13,68	0,11	76,08	2,10	5,51	7,61	2,63	0,10	85
Hdo1	293,41	234,16	116,29	21,56	212,60	5,65	24,11	29,76	4,27	0,14	90
Hdo2	331,97	276,43	96,98	19,44	256,99	4,93	37,40	42,33	7,59	0,16	96
RN2- ORGANOSSOLO HÁPLICO Fíbriico típico											
Hdp	160,09	82,07	8,30	0,46	81,61	6,99	49,65	56,64	7,10	0,69	87
Hdo	498,62	370,46	160,82	139,01	231,45	4,86	93,87	98,73	19,31	0,43	94
Ho1	525,62	367,06	120,82	142,63	224,43	6,03	42,31	48,34	7,02	0,22	79
Ho2	373,86	299,47	80,31	64,99	234,48	7,43	34,02	41,45	4,58	0,18	91
PB1 - ORGANOSSOLO HÁPLICO Sáprico térrico											
Hd1	88,44	75,10	9,21	0,40	74,70	4,43	10,58	15,01	2,39	0,20	102
Hd2	56,00	42,19	2,67	0,48	41,71	4,05	9,80	13,85	2,42	0,33	100
Cg1	8,30	7,55	-	0,00	7,55	0,43	0,59	1,02	1,39	0,14	103
Cg2	2,70	1,93	-	0,00	1,93	0,32	0,32	0,63	1,00	0,33	95
PB2 - ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico típico											
Hdp	514,89	371,31	5,21	143,95	227,36	10,47	63,38	73,84	6,05	0,32	86
Hd	434,41	342,77	10,57	64,65	278,12	13,52	87,62	101,14	6,48	0,36	102
Hdo1	510,36	313,43	80,14	209,53	103,90	3,01	161,76	164,77	53,71	1,59	94
Hdo2	498,19	338,72	176,16	218,27	120,45	3,48	57,01	60,49	16,41	0,50	80

Mínimo	2,70	1,93	2,67	0,00	1,93	0,32	0,32	0,63	1,00	0,08	79,00
Máximo	525,62	371,31	180,95	218,27	278,12	14,82	161,76	164,77	53,71	1,59	116,00
Mediana	213,14	140,74	68,43	1,66	92,76	4,97	26,82	35,61	3,35	0,29	93,50
DP	186,75	134,95	64,05	68,68	92,75	4,51	36,40	37,91	10,51	0,30	8,44
CV%	81,93	80,60	88,81	166,83	73,45	75,00	106,52	94,34	157,44	81,92	8,93

C-HU: Carbono da fração humina; C-AF: Carbono da fração ácido fúlvico; C-AH: Carbono da fração ácido húmico; C-EA: Carbono do extrato alcalino (AH+AF); TR(%): Taxa de recuperação.

O método adaptado para esse estudo permitiu a separação da matéria orgânica leve por diferença de densidade, com o uso de solução de iodeto de sódio, de densidade de $1,8 \text{ g cm}^{-3}$. No entanto, algumas observações devem ser levantadas: i) Inicialmente foi usada água ($d = 1,0 \text{ g cm}^{-3}$) para a separação da matéria orgânica leve. Porém, não houve suspensão da matéria orgânica contida no resíduo, sendo observada apenas a formação de duas fases no fundo do tubo de ensaio, uma (“mineral”) abaixo de outra (“orgânica”); ii) O uso da solução de maior densidade possibilitou a separação e suspensão da matéria orgânica contida no resíduo; e iii) Na observação da fração MOL, verificou-se bastante heterogeneidade de características entre as amostras, além da presença de fragmentos de material orgânico bastante alterados, já em estágio avançado de decomposição. Assim, nesse estudo, a terminologia “MOL” refere-se à fração da matéria orgânica não humificada separada do resíduo final, de constituição predominantemente mineral.

Partindo do princípio que a mesma fração que compreende a MOL tem como constituintes as fibras nas amostras de solo, buscou-se correlações entre os teores de C_MOL e C_Fibras. Porém, não foram observadas correlações significativas entre as duas variáveis, e o valor de coeficiente de regressão linear foi baixo, de 0,18. Também não foi observada correlação entre os teores de C_MOL com os teores de fibras esfregadas. Estes resultados indicam que a MOL obtida ao final da marcha analítica foi alterada em sua composição. A adição de hidróxido de sódio ($0,1 \text{ mol L}^{-1}$) durante o processo de separação do extrato alcalino pode ter influenciado na alteração das propriedades do material vegetal (fibras) nas amostras de solo, dificultando a separação da matéria orgânica não humificada do restante do resíduo.

Guerra & Santos (2008) apontam estudos que indicam que este extrator causa a dissolução de materiais não degradados (hemicelulose, celulose e lignina); e a hidrólise de polímeros, aminoácidos e açúcares, reações que levam a formação artificial de ácidos húmicos. Uma alternativa seria o emprego de um extrator mais fraco que o NaOH, como é o caso do $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ (pirofosfato de sódio).

Comparando as frações do extrato alcalino, foram observados maiores teores de C_AH em relação ao C_AF entre perfis e em diferentes profundidades, exceto na camada Cg2 do perfil PB1, onde os teores foram iguais. Os ácidos fúlvicos se caracterizam por maior polaridade e menor peso molecular, resultando em maior solubilidade, mobilidade e variação dos teores ao longo do perfil que as demais frações (BENITES et al., 2003). A dinâmica hídrica nos Organossolos, com a influência do

lençol freático e a heterogeneidade das camadas de sedimentos orgânicos e minerais também podem ser responsável pelas oscilações dos teores de carbono desta fração.

Os ácidos húmicos possuem maior peso molecular e menor solubilidade quando comparados com os ácidos fúlvicos, além de maior grau de polimerização, inferindo um estágio mais avançado de humificação. Assim, como observado por Valladares et al. (2003), os valores de ácidos húmicos apresentaram correlação positiva e significativa (5%) com os teores de N, indicando que os teores desta fração estão associados aos níveis de nitrogênio no solo.

O predomínio de C_{AH} culminou em valores da relação C_{AH}/C_{AF} maiores que 1, atingindo valor máximo de 53,71 (Hdo1, perfil PB2). De acordo com Benites et al. (2003) e Ebeling et al. (2011a e 2011b), esta razão pode ser usada como indicativo da qualidade da MOS, expressando o maior grau de polimerização e condensação dos compostos orgânicos. Valladares et al. (2003) também observaram predomínio da fração ácido húmico em relação ao ácido fúlvico em horizontes de perfis de Organossolos de diferentes regiões do Brasil.

Na relação C_{EA}/C_{HU_{Real}} foi observado predomínio de valores abaixo de 1, com mínimo de 0,08 e mediana 0,29. Apenas o horizonte Hdo1 (PB2) apresentou valor acima de 1 (1,59). Valores menores desta relação evidenciam a translocação ou mesmo perda de compostos mais solúveis das frações químicas e manutenção de compostos insolúveis, com consequente aumento da estabilidade e interação da matéria orgânica com a matriz mineral, indicando o predomínio da humina na composição da matéria orgânica (EBELING et al., 2011a). Segundo Anjos et al. (2008) e Fontana et al. (2010) as diferenças observadas nos teores das frações húmicas presentes nos solos expressam variações de origem pedogenética, permitindo relacioná-las com atributos químicos e físicos do solo, além de inferências a respeito do manejo.

Não foi identificado comportamento homogêneo da relação C_{EA}/C_{HU_{Real}} em profundidade. Assim, outros fatores estão influenciando na proporção entre os compostos orgânicos do solo, seja devido a oscilação do nível do lençol freático ao longo do ano, o uso e manejo adotado no solo, os ambientes de formação, o clima e/ou o tipo de vegetação que favoreceu a formação destes sedimentos.

Como proposta de separação entre classes de Organossolos em níveis inferiores de família e série (5° e 6° níveis), Valladares et al. (2003) utilizaram como referência os teores das substâncias húmicas obtidos nas análises de solo, em função dos elevados teores destes compostos orgânicos na composição dos Organossolos.

Valladares et al. (2003) propuseram as seguintes divisões das classes com base nos teores de ácidos húmicos, fúlvicos e na relação entre extrato alcalino e humina:

- I - Fração ácido fúlvico (FAF) no solo com 20 g kg^{-1} de C ou menos = hipofúlvico; e maior do que 20 g kg^{-1} de C = fúlvico;
- II - Fração ácido húmico (FAH) no solo com 90 g kg^{-1} de C ou menos = hipohúmico; e maior do que 90 g kg^{-1} = húmico; e
- III - Relação EA/HU igual a 1 (um) ou menos = hipoalcalino-solúvel; e maior do que 1 = alcalino-solúvel.

Segundo esta classificação, todos os perfis seriam classificados como hipofúlvicos, para os teores de C_AF. Nenhum horizonte dos 6 perfis avaliados apresenta predomínio de teores de C_AH acima de 90 g kg^{-1} em profundidade, isso os classifica como hipohúmicos; e quanto aos valores da relação EA/HU, também todos os perfis receberam a classificação de hipoalcalino-solúveis.

Valladares (2003) encontrou maior variação na classificação proposta para Organossolos localizados em regiões litorâneas de diferentes estados do Brasil, inclusive do Nordeste brasileiro. Porém, no trabalho citado, os perfis situados em local de menor latitude foram do Estado de Alagoas.

3.7 Repelência à água

São escassos estudos sobre hidrofobicidade dos compostos orgânicos em Organossolos, com maior número de referências em solos minerais. Como em Bastos et al. (2005), que avaliam as características hidrofóbicas e hidrofílicas de compostos orgânicos adicionados a amostras de solo, e sua relação com a formação e estabilidade dos agregados. Também são recentes os estudos que tem como objetivo caracterizar melhor a composição e o comportamento destes compostos hidrofóbicos.

Os valores nesse estudo (Tabela 10) mostram que algumas amostras apresentaram tempo de infiltração superior ao limite estimado pelo método, que foi de 3600 segundos. Essas amostras foram reservadas e foi esperado o tempo que fosse necessário para que houvesse a absorção total das gotas de água. Com isso, alguns horizontes apresentaram tempos superiores a 24 horas (86400 segundos), destacando-se o perfil PB2, onde todos os horizontes foram classificados com grau de repelência

muito severa. Devido a essa amplitude entre os valores numéricos, os resultados, em segundos, foram convertidos em \log_{10} para os devidos cálculos com esta variável.

Tabela 10: Grau de repelência das amostras de solos com elevados teores de matéria orgânica da região Nordeste do Brasil.

Horizontes	MED	WD	Grau de repelência
	mol L ⁻¹	s	
CE1 - ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO Hêmico solódico			
Hdo1	5,75	24000	Muito Severa
Hdo2	5	27600	Muito Severa
Hoj	2,25	151,3	Moderada
Cg1	0	0	Não-significante
Cg2	0	0	Não-significante
CE2 - ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico térrico			
Agp	0	0	Não-significante
Hdo	0	1	Não-significante
Ho	6,25	86400	Muito Severa
Hd	3,5	4080	Muito Severa
Cg	0	0	Não-significante
RN1 - ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico típico			
Hdp1	0	1	Não-significante
Hdp2	1,5	3	Baixa a moderada
Hdo1	3,5	64800	Muito Severa
Hdo2	3,25	600	Muito Severa
RN2- ORGANOSSOLO HÁPLICO Fíbriico típico			
Hdp	2,5	325	Severa
Hdo	2	1680	Moderada a severa
Ho1	2,25	2760	Severa
Ho2	2,25	100	Moderada
PB1 - ORGANOSSOLO HÁPLICO Sáprico térrico			
Hd1	4	480	Muito Severa
Hd2	0	0	Não-significante
Cg1	0	0	Não-significante
Cg2	0	0	Não-significante
PB2 - ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico típico			
Hdp	5	86400	Muito Severa
Hd	6,5	86400	Muito Severa
Hdo1	4	86400	Muito Severa
Hdo2	5	7800	Muito Severa

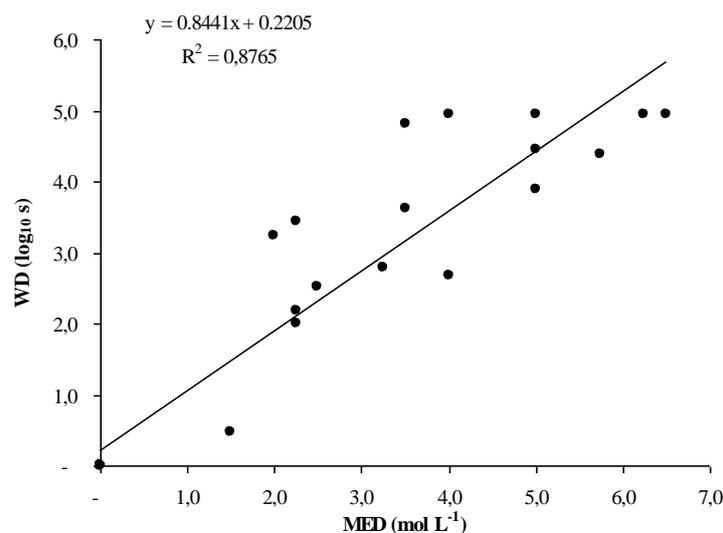
MED - Molaridade de gotas de etanol; WD - Tempo de penetração de gotas de água.

As camadas Cg (CE1, CE2 e PB1) não apresentam grau de repelência, enquanto alguns horizontes orgânicos superficiais apresentaram graus de repelência baixos ou ausentes, como em CE2 e RN1. Harper et al. (2000) sugerem que a calagem pode reduzir a repelência à água, ao promover a mineralização da matéria orgânica, com consequente redução dos seus teores no solo.

A variável MED (molaridade de gotas de etanol) apresentou correlação positiva e significativa a 5% com os teores de matéria orgânica do solo ($r = 0,50$) e com os teores de C_WBmd ($r = 0,59$). Já para o WD (tempo de penetração das gotas de água), os valores de correlação para as mesmas variáveis foram de 0,68 e 0,79, respectivamente. Ambas as variáveis (WD e MED) não apresentaram correlação com o percentual de fibras esfregadas. Estes resultados indicam que as características hidrofóbicas do solo estão mais relacionadas aos teores de matéria orgânica do que com o grau de decomposição do material orgânico.

O valor de correlação entre MED e WD foi alto, com $r = 0,94$ ($p = 5\%$) e coeficiente de correlação de 0,88, indicando que ambas as variáveis estão diretamente e fortemente relacionadas com o grau de hidrofobicidade do solo (Figura 15).

Figura 15: Relação entre os teores de WD (tempo de penetração das gotas de água) e MED (Molaridade das gotas de etanol).



Em solos de natureza mineral, Perez et al. (1998), avaliando hidrofobicidade em solos arenosos, e Harper et al. (2000), em revisão abordando os efeitos das propriedades e manejo do solo sobre a repelência à água, afirmam que o grau de repelência está associado não somente com os teores de CO, mas também com a qualidade, ou natureza, deste material. A partir desta afirmação, buscou-se correlacionar o grau de repelência com as substâncias húmicas e foi verificada correlação positiva, e significativa a 5%, entre MED com os teores de ácidos fúlvicos ($r = 0,65$), ácidos húmicos ($r = 0,44$) e com a fração húmica ($r = 0,64$). Enquanto que, para

o tempo de penetração da gota de água (WD), os valores das correlações com os ácidos fúlvicos, húmicos e com a humina foram de 0,55; 0,60 e 0,70; respectivamente.

Estes resultados permitem afirmar que o caráter hidrofóbico está associado as substâncias húmicas no solo, havendo maior contribuição da fração humina, que também está em maior quantidade. O grau de hidrofobicidade dos solos também está associado aos teores de nitrogênio, onde o aumento nos valores deste elemento contribuiu com maiores valores de MED e WD ($r = 0,67$ e $0,59$; respectivamente).

Perez et al. (1998), na separação de compostos com caráter hidrofóbico, identificou a presença de n-alcenos, ésteres e alcoóis graxos, todos alifáticos e de alto peso molecular, sendo estes compostos comumente encontrados em ceras vegetais, como em palmeiras e gramíneas. Kaiser & Zech, 2000, complementam afirmando que estes compostos apresentam cadeias longas, são ricos em polifenóis oriundos principalmente da oxidação da lignina e da celulose. Doerr et al. (2000) identificaram esses compostos e os reuniram em grupos de hidrocarbonetos alifáticos apolares insolúveis em água e de compostos de estruturas ambifílicas, que possuem grupamentos polares (hidrofílica) e apolares (hidrofóbica). Neste último grupo, a porção hidrofílica da matéria orgânica se liga a fração mineral do solo, orientando-se na direção do interior do agregado, de forma que a porção hidrofóbica se orienta na face externa do agregado, promovendo a repelência da água de contato (BASTOS et al., 2005). A fração humina estaria associada a este grupo de compostos.

4 CONCLUSÕES

- a) O uso e manejo agrícola é um dos principais agentes causadores de modificações nos Organossolos, principalmente nas propriedades morfológicas, como a redução da espessura dos horizontes hísiticos, e físicas, como o grau de decomposição da matéria orgânica e a densidade do solo.
- b) Os valores de densidade do solo foram baixos e apresentaram alta correlação com outros atributos do solo, como teores de matéria orgânica, percentuais de fibras esfregadas e, conseqüentemente, com o grau de subsidência destes solos.
- c) O volume residual (VR) apresentou correlação significativa com outros atributos do solo, até mesmo com o RM, podendo ser usado para auxiliar na interpretação de estudos relacionados à subsidência de Organossolos.

- d) O elevado poder tampão dos Organossolos favoreceu a pequena alteração de suas propriedades químicas, o que é importante para a manutenção do equilíbrio no sistema, mesmo após intervenção antrópica.
- e) Os dois métodos para determinação de carbono, Embrapa e Walkley-Black modificado, mostraram resultados semelhantes. No entanto, pela facilidade operacional, se recomenda o segundo método, pois pode reduzir erros durante a marcha analítica. Já a determinação da matéria orgânica pelo método da mufla foi a mais indicada para classificar os materiais como orgânicos.
- f) Houve predomínio de C na fração humina, porém esses valores foram afetados pelos elevados teores de material não humificado nessa fração, como fragmentos de fibras e tecido vegetal. Além disso, o método adaptado utilizado para a separação das fibras, a partir do fracionamento físico, se mostrou pouco eficiente, e devem ser feitos mais estudos para o ajuste deste método.
- g) O fracionamento químico da matéria orgânica em Organossolos pode estar superestimando os teores reais de ácidos húmicos no solo a partir da degradação do material vegetal presente nas amostras de solo.
- h) As oscilações dos teores de ácidos húmicos e fúlvicos em profundidade podem estar associadas aos diferentes graus de decomposição da matéria orgânica e a diferenças inerentes a natureza dos mesmos, como também ao uso agrícola.
- i) Foi verificada relação entre o caráter hidrofóbico do solo e a quantidade de matéria orgânica.
- j) Os perfis foram classificados como: CE1= Organossolo Tiomórfico Hêmico solódico; CE2= Organossolo Háptico Hêmico terrico; RN1= Organossolo Háptico Hêmico típico; RN2= Organossolo Háptico Fíbrico típico; PB1= Organossolo Háptico Sáprico terrico; e PB2= Organossolo Háptico Hêmico típico. Quanto à classificação proposta para os níveis categóricos inferiores, todos os solos foram classificados como: hipofúlvicos, hipohúmicos e hipoalcalino-solúveis.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRIESSE, J.P. Uso de solos orgânicos em condições tropicais e subtropicais aliado às possibilidades brasileiras. *In: SIMPÓSIO NACIONAL DE SOLOS ORGÂNICOS*, 1984, Curitiba. **Anais...** Curitiba: MA / Provárzeas Nacional, Embrater, Seag - Paraná e Acarpa / Emater - Paraná, 1984. p.11-34.

ANDRIESSE, J.P. **Nature and management of tropical peat soils**. Rome, FAO, 1988. (FAO SOILS BULLETIN 59).

ANJOS, L.H.C.; PEREIRA, M.G.; FONTANA, A. Matéria orgânica e pedogênese. *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*. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 65-86.

BASTOS, R.S.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREZ V.H.V.; CORRÊA, M.M. Formação e estabilização de agregados do solo decorrentes da adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 11-20, 2005.

BELTRÃO, B.A.; MASCARENHAS, J.C.; SOUZA JUNIOR, L.C.; PIRES, S.T.M.; ROCHA, D.E.G.A.; CARVALHO, V.G.D. (Org). **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Rio do Fogo, Estado do Rio Grande do Norte**. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005, 11 p.

BENITES, V.M.; MADARI, B.; MACHADO, P.L.O.A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos (Comunicado Técnico, 16), 2003. 7 p.

BREEMEN, N.V. & BUURMAN, P. **Soil formation**. 2. ed. Dordrecht, Kluwer Academic, 2002. 404 p.

CAMPOS, J.R.R.; SILVA, A.C.; FERNANDES, J.S.C.; FERREIRA, M.M.; SILVA, D.V. Water retention in a peatland with organic matter in different decomposition stages. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1217-1227, 2011.

CANELLAS, L.P.; NELSON, G.A.S.; AMARAL SOBRINHO, M.B.; MORAES, A.A.; RUMJAMEK, V.M. Absorção de Cu e Cd em ácidos húmicos extraídos de resíduos orgânicos de origem urbana. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 1, p. 21-26, 1999.

CONCEIÇÃO, M.; GOMES, I.A.; ARAÚJO, W.S.; CUNHA, T.J.F.; MARTIN NETO, L.; SAAB, S.C. **Caracterização das substâncias húmicas em solos orgânicos do estado do Rio de Janeiro**. Embrapa Solos - Pesquisa em andamento, n.4, 1999, 6 p.

COUTO, E.G.; RESENDE, M. Caracterização da matéria orgânica de alguns solos orgânicos e gleizados do Sudeste da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 9, p. 185-191, 1985.

COUTO, E.G. **Caracterização, gênese e uso de solos utilizados pelos agricultores do alto vale do Rio Arrojado, Bahia**. Viçosa. (Tese de Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, 119p, 1984.

DINIZ FILHO, J.B.; MELO, J.G.; BARROSO, T.T.; DUARTE, U. Potencialidades e consumo de águas subterrâneas no médio e baixo curso da bacia hidrográfica do rio Ceará-Mirim/RN. **I Joint World Congress on Groundwater**, s/d, 20 p.

DOERR, S.H.; SHAKESBY, R.A.; WALSH, R.P.D. Soil water repellency, its characteristics, causes and hydro-geomorphological consequences. **Earth Sci. Rev.**, v. 51, p. 33-65, 2000.

EBELING, A.G. **Caracterização analítica da acidez em Organossolos**. 2006. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 2006.

EBELING, A.G.; ANJOS, L.H.C.; PEREZ, D.V.; PEREIRA, M.G.; VALLADARES, G.S. Relação entre acidez e outros atributos químicos em solos com teores elevados de matéria orgânica. **Bragantia**, v. 67, n. 2, p. 261-266, 2008.

EBELING, A.G.; ANJOS, L.H.C.; PEREZ, D.V.; PEREIRA, M.G.; GOMES, F.W.F. Atributos químicos, carbono orgânico e substâncias húmicas em Organossolos Háplicos de várias regiões do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 325-336, 2011a.

EBELING, A.G.; ANJOS, L.H.C.; PEREIRA, M.G.; PINHEIRO, E.F.M.; VALLADARES, G.S. Substâncias húmicas e relação com atributos edáficos. **Bragantia**, v. 70, n. 1, p.157-165, 2011b.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. EMBRAPA/SNLCS. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA - SNLCS. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Rio grande do Norte**. SUDENE-DRN/Ministério da Agricultura, DNPEA-DPP, Recife. (Brasil. Ministério da Agricultura - DNPEA-DPP, Boletim Técnico 21; SUDENE, Série Pedologia 9), 1971.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA - SNLCS. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado da Paraíba**. SUDENE-DRN/Ministério da Agricultura, DNPEA-DPP, Rio de Janeiro (Brasil. Ministério da Agricultura - DNPEA-DPP, Boletim Técnico 15; SUDENE, Série Pedologia 8), 1972.

FELIPE, J.L.A.; CARVALHO, E.A. **Atlas escolar do Rio Grande do Norte**, João Pessoa, Grafset, 1999.

FONTANA, A.; BENITES, V.M.; PEREIRA, M.G. & ANJOS, L.H.C. Substâncias húmicas como suporte à classificação de solos Brasileiros. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, p. 2073-2080, 2008.

FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; BENITES, V.M. Quantificação e utilização das frações húmicas como característica diferencial em horizontes diagnósticos de solos Brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p.1241-1257, 2010.

FONTANA, A; PEREIRA, M.G; ANJOS, L.H.C; BENITES, V.M. Classificação de horizontes diagnósticos em níveis hierárquicos inferiores com base nas frações húmicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p.313-324, 2011.

FORTALEZA. **Inventário ambiental de Fortaleza**. Prefeitura Municipal de Fortaleza, Fortaleza. 2003.

FREIXO, A.A.; CONCEIÇÃO, M.; CUNHA, T.J.F.; SAAB, S. da C.; MARTINETO, L. Estudo comparativo do húmus de quatro solos orgânicos do estado do Rio de

Janeiro. *In*; II ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS. São Carlos-SP, 1997. **Anais...** São Carlos, 124 p.

FURRIER, M.; ARAÚJO, M.E.; MENESES, L.F. Geomorfologia e tectônica da Formação Barreiras no Estado da Paraíba. **Geologia USP Série Científica**, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 61-70, outubro 2006.

GOMES, F.H. Caracterização de solos de manguezais e de restinga no município de Ilhéus-Bahia, 2002. 96 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa. 2002.

GUERRA, J.G.M.; SANTOS, G.A. Métodos químicos e físicos. *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**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 185-199.

HARPER, R.J.; MCKISSOCK, I.; GILKES, R.J.; CARTER, D.J.; BLACKWELL, P.S. A multivariate framework for interpreting the effects of soil properties, soil management and landuse on water repellency (Review). **Journal of Hydrology**, 2000, p. 371–383.

HORAK, I. **Relações pedológica, isotópicas e palinológicas na reconstrução paleoambiental da turfeira da Área de Proteção Especial (APE) Pau-de-fruta, Serra do Espinhaço Meridional – MG**. 2009. 282f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2009.

INCORA. **Mapificación caracterización y clasificación de los suelos orgánicos del Valle de Sibundoy**. Bogotá. Instituto Colombiano de la Reforma Agraria – INCORA, 1974. 148 p.

KAISER, K.; ZECH, W. Sorption of dissolved organic nitrogen by acid subsoil horizons and individual mineral phases. **Europ. J. Soil Sci.**, v. 51, p. 403-411, 2000.

KING, P.M. Comparison of methods for measuring severity of water repellence of sandy soils and assessment of some factors that affect its measurement. **Aust. J. Soil Res.**, v. 19, p. 275-285, 1981.

LAMIM, A.P.B.; JORDÃO, C.P.; PEREIRA, J.L.; BELLATO, C.R. Caracterização química e física de turfa litorânea e avaliação da adsorção competitiva por cobre e zinco. **Química Nova**, v. 24, n. 1, 18-23, 2001.

LEPSCH, I.F.; QUAGGIO, J.A.; SAKAI, E.; CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Caracterização, classificação e manejo agrícola de solos orgânicos do vale do Rio Ribeira de Iguape, SP**. Campinas: Instituto Agronômico (Boletim Técnico, 131), 1990, 58 p.

LIMA, M.A.; LUIZ, A.J.B.; VIEIRA, R.F.; PESSOA, M.C.P.Y.; NEVES, M.C. **Emissão de óxido nitroso (N₂O) proveniente dos solos agrícolas**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA Meio Ambiente, 2006. 127 p.

LYN, W.C.; MCKINZE, W.E.; GROSSMAN, R.B. Field laboratory test for characterization of histosols. *In*: STELLY, M. (ed.). **Histosols: their characteristics and use**. Madison, Soil Science Society of America (SSSA Special Publication Series, 6), 1974, p. 11-20.

MENDONÇA, M.M. **Diagnósticos de propriedades edáficas em áreas agrícolas e de floresta com elevado teor de matéria orgânica no município do Rio de Janeiro**.

1999. 178 f. Dissertação (Mestrado em ciência do solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 1999.

MESQUITA, L.F.; ZON, C.; ANDRADE, F.V. Atributos químicos como indicador de qualidade de solos orgânicos submetidos a diferentes tipos de manejo. *In: XIII ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E IX ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO*, São José dos Campos, 2009. **Anais...** Universidade do Vale do Paraíba, São Paulo. 2009.

MORAES, J.F.S. **Turfa nos Estados de Alagoas, Paraíba e Rio Grande do Norte**. Recife: CPRM (Informe de Recursos Minerais - Série Oportunidades Minerais – Exame Atualizado de Projeto, 14), 2001. 16 p.

NEVES, B.B.B.; ALBUQUERQUE, J.P.T.; COUTINHO, J.M.V.; BEZERRA F.H.R. Novos dados geológicos e geofísicos para a caracterização geométrica e estratigráfica da Sub-bacia de Alhandra (Sudeste da Paraíba). **Revista do Instituto de Geociências – USP**. São Paulo, v. 9, n. 2, p. 63-87, junho 2009.

OLSEN, S.R.; COLE, C.V.; WATANABE, F.S.; DEAN, L.A. **Estimation of available phosphorus in soils extraction with sodium bicarbonate**. Washington, USDA (Circular, 939), 1954. 19 p.

PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. e VALLADARES, G.S. Organossolos: Ocorrência, gênese, classificação, alterações pelo uso agrícola e manejo. *In: TORRADO, P.V.; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M.; SILVA, A.P. e CARDOSO, E.J., eds Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa, v.4, 2005. p. 233- 276.

PEREIRA, M.G.; VALLADARES, G.S.; ANJOS, L.H.C.; BENITES, V.M.; ESPÍNDULA JR. A.; EBELING, A.G. Organic carbon determination in Histosols and soil horizons with high organic matter content from Brazil (Note). **Sci. Agric.**, v. 63, n. 2, p. 187-193, 2006a.

PEREIRA, M.G.; ESPINDULA JÚNIOR, A.; VALLADARES, G.S.; ANJOS, L.H.C.; BENITES, V.M.; SCHULTZ, N. Comparison of total nitrogen methods applied for Histosols and soil horizons with high organic matter content. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, n. 37, p. 939–943, 2006b.

PEREZ, D.V.; SIMÃO, S.M.; SALATINO, A. Identificação e caracterização da repelência à água em alguns solos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, n. 22, p. 197-207, 1998.

PEREZ, D.V., ANJOS, L.H.C.; EBELING, A.G.; PEREIRA, M.G. Comparison of H/Al stoichiometry of mineral and organic soils in Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 33, 2009. p. 1071-1076.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C. e ANJOS, L.H.C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. Vicososa, SBCS, 2005. 100 p.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; OLIVEIRA, J.B.; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F.; CUNHA, T.J.F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

SILVA, A.C; HORÁK, I; CORTIZAS, A.M; TORRADO, P.V; RACEDO, J.R; GRAZZIOTTI, P.H; SILVA, E.B; FERREIRA, C.A. Turfeiras da Serra do Espinhaço Meridional, MG I - Caracterização e classificação. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, n. 33, p.1385-1398, 2009.

SILVA NETO, L.F. **Pedogênese e matéria orgânica de solos hidromórficos da região metropolitana de Porto Alegre**. 2010. 96f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). UFRGS, Porto Alegre, 2010.

SOARES, I.A. **Análise de degradação ambiental das áreas de preservação permanente localizadas no estuário do rio Ceará-Mirim/RN**. 2010, 95 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2010.

SOBRAL, A.C.S.; ZUCON, M.H.; BARRETO, A.M.F. Amonóides da bacia de Pernambuco - Paraíba, NE, Brasil. **Estudos Geológicos** v. 20, v. 1, 2010.

SOUZA JÚNIOR, V. S.; RIBEIRO, M. R.; OLIVEIRA, L. B. Propriedades químicas e manejo de solos tiomórficos da várzea do Rio Coruripe, Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 811-822, 2001a.

SOUZA JÚNIOR, V. S.; RIBEIRO, M. R.; OLIVEIRA, L. B. Caracterização e classificação de solos tiomórficos da várzea do Rio Coruripe, no Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 977-986, 2001b.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais** (Boletim Técnico, 5). Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p.

VALLADARES, G. S. **Caracterização de Organossolos, auxílio a sua classificação**. 2003. 129f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2003.

VALLADARES, G.S.; BENITES, V.M.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; EBELING, A.G. **Proposta para classificação de Organossolos em níveis inferiores com base nas frações húmicas** (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 2). Campinas, São Paulo: Embrapa Monitoramento por Satélite; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 35 p.

VALLADARES, G.S.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; BENITES, V.M.; EBELING, A.G. & MOUTA, R.O. Humic substance fractions and attributes of Histosols and related high-organic-matter soils from Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, n. 38, p. 763-777, 2007.

VALLADARES, G.S.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; EBELING, A.G. Caracterização de solos brasileiros contendo elevados teores de material orgânico. **Magistra**, Cruz das Almas-BA, v. 20, n. 1, p. 95-104, 2008a.

VALLADARES, G.S.; GOMES E.G.; MELLO, J.C.C.B.S.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; EBELING, A.G.; BENITES, V.M. Análise dos componentes principais e métodos Multicritério ordinais no estudo de Organossolos e solos afins. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 285-296, 2008b.

WALKLEY, A.; BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v. 37, p. 29-38, 1934.

ZON, C. **Influencia de drenagem sobre solos orgânicos e parâmetros de qualidade de água. Estudo de caso: “Vale do Suruaca”, delta do Rio Doce**. 2008. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. 2008.

CAPÍTULO II: CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS DE VÁRZEA DO BAIXO ACARAÚ-CE.

1 INTRODUÇÃO

As planícies litorâneas pouco representam em termos de ocupação agrícola devido o baixo grau de desenvolvimento pedogenético do material depositado, composto predominantemente por sedimentos arenosos, e pela baixa fertilidade natural, mas é um importante recurso para a população caiçara, além do turismo regional. Nestas áreas podem ser encontradas lavouras de subsistência, particularmente com o plantio da mandioca, além de coqueirais (SOUZA et al., 1979). Destacam-se também os ambientes de mangue como importante fonte de renda para a população local através do extrativismo. Já as planícies fluviais oferecem melhores condições e maior potencial de uso agrícola. Ocupam o leito dos rios e constituindo pequenos compartimentos de relevos plano, muitas vezes suscetíveis à inundações, mas oferecem maiores possibilidades para o desenvolvimento de atividades agrícolas (SOUZA et al., 1979), principalmente na Região Nordeste, onde a produção através da agricultura de vazantes, abastece as áreas periféricas e capitais. Como exemplo, pode ser citado a Bacia do rio Acaraú, que apresenta extensas áreas de planícies fluviais e onde foi implantado um dos principais perímetros irrigados de maior expressão no Estado Ceará, ocupando além das planícies, áreas dos tabuleiros pré-litorâneos (NASCIMENTO et al., 2008).

Devido à proximidade com o litoral, e condicionadas pelo clima semi árido, os solos sedimentares formados nesses ambientes estão mais propensos a salinização. Estes solos comumente apresentam quantidades apreciáveis de minerais intemperizáveis, dos quais sais são liberados gradativamente na solução do solo. As condições climáticas, com baixa taxa de precipitação e elevada evapotranspiração, favorecem o acúmulo de cátions como cálcio, magnésio e sódio na solução do solo, além de ânions como cloreto, sulfato, carbonato e bicarbonato, mantendo altas as atividades destes íons (CORRÊA et al., 2003; BREEMEN & BUURMAN, 2002; RIBEIRO et al., 2003; MIRANDA et al., 2008). Dependendo das concentrações de sais e da distribuição entre os cátions e ânions, os solos formados apresentam distinções nas suas características morfológicas, físicas e químicas (MIRANDA et al., 2008).

A maior ou menor predisposição dos solos à salinização está atrelada a outros fatores pedogenéticos, tais como: a topografia, relacionada com a condição de

drenagem do solo e com os limites de influência do lençol freático com água enriquecida de sais, além de sua maior ou menor proximidade com o litoral; e o clima, através do balanço das taxas de evapotranspiração e precipitação, reduzindo a lixiviação dos sais e favorecendo a ascensão capilar da água do lençol freático e o acúmulo dos sais provenientes desta água em superfície. Fatores adicionais são a intervenção antrópica e características inerentes ao próprio solo, como a textura e o tipo de argila. (CHHABRA, 1996; BREEMEN & BUURMAN, 2002; RIBEIRO et al., 2003; RUIZ, et al., 2006).

Moreira et al. (1989), Mota & Oliveira (1999) e Corrêa et al. (2003), em estudos relacionando atributos químicos e físicos com a mineralogia de solos do Nordeste brasileiro, afirmaram que o elevado teor de sais nos solos (Na, K e Ca) é em grande parte herdado do intemperismo dos minerais primários, ou seja, do material de origem, encontrados nas frações silte e areia. Por isso, pode-se afirmar que é grande a influência da formação geológica predominante na paisagem e do tipo de material de origem de formação do solo, contribuindo de forma direta no fornecimento de sais à medida que os minerais são intemperizados, além de influenciar nos íons liberados.

A identificação dos minerais nos sedimentos de origem, com potencial contribuição no processo de salinização, e a caracterização dos solos é fundamental para compreender os processos pedogenéticos que ocorrem em ambientes de planície da região nordeste do Brasil e a variabilidade espacial dos solos na paisagem.

Este estudo teve como objetivo a caracterização física, química, mineralógica e micromorfológica de solos formados de sedimentos aluviais na região de baixo curso do Rio Acaraú (CE) e inferir sobre sua gênese.

2 MATERIAL E MÉTODOS

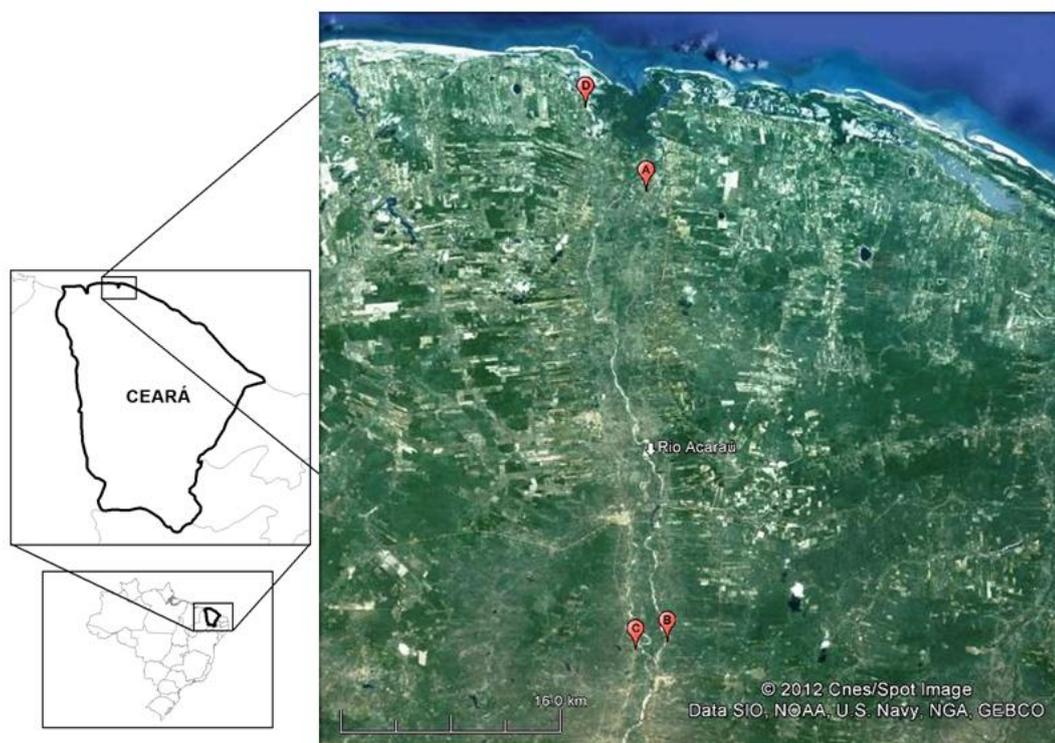
2.1 Material

2.1.1 Aspectos gerais das áreas de estudo

As áreas de coleta de solo foram selecionadas com base em amostragem por conveniência, a partir de observações dos aspectos fisiográficos, com escolha de áreas que fossem representativas na região do baixo curso do rio Acaraú e que apresentavam elevada salinidade. Com base nestes critérios de observação, foram definidas quatro áreas, onde se procedeu a abertura de trincheiras em cada uma para a descrição dos horizontes e coleta de amostras de terra de todos os perfis, de acordo com normas do Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (SANTOS et al., 2005), totalizando quatro perfis de solos (Figura 16). A coleta foi feita em dezembro de 2010.

A bacia hidrográfica do Rio Acaraú está localizada na região norte do Estado do Ceará, ocupando cerca de 10% de seu território, cuja área total é de 14.416 km². Ela se dispõe no sentido sul-norte, e tem cerca de 352 km de extensão (SOBRINHO, 2006; MOTA & VALLADARES, 2011). No alto vale, a largura é de aproximadamente 123 km, na jusante atinge, em média, 75 km no médio curso e menos de 20 km no baixo curso (SOBRINHO, 2006).

Figura 16: Localização dos perfis de solo distribuídos ao longo da bacia do rio Acaraú-CE. Ponto A: BAC1; ponto B: BAC2; ponto C: BAC3 e ponto D: BAC4 (Fonte: Google Earth).



A área de estudo encontra-se na porção mais baixa da bacia do Rio Acaraú, onde se localizam os municípios de Acaraú e de Marco (Tabela 11). O perfil BAC1 foi coletado na margem de rio intermitente, que atravessa área de pastagem natural e com carnaubeiras (Figura 17), cujas folhas são retiradas pela população local para o artesanato, confecção de telhados e para a obtenção da cera de carnaúba. Foram observadas nesta área marcas de pisoteio do gado, provavelmente deixadas no período mais úmido, quando o solo encontra-se saturado. Na data da coleta, o solo apresentava bastante fendilhamento e com eflorescência de sais na superfície dos torrões.

Tabela 11: Características gerais dos perfis coletados no Baixo Acaraú-CE.

Perfis	Localização	Coordenadas geográficas	Vegetação/Drenagem	Situação/altitude
BAC1	Acaraú	40° 08' 07" W ; 2° 54' 21" S	Carnaúbas associadas à pastagem/ Imperfeitamente drenado.	Planície fluvial/ 7m.
BAC2	Marco	40° 07' 16" W ; 3° 12' 10" S	Vegetação nativa com carnaúbas/ Imperfeitamente drenado.	Terraço aluvial/ 23m.
BAC3	Marco	40° 08' 31" W ; 3° 12' 30" S	Vegetação nativa com carnaúbas/ Imperfeitamente drenado.	Ilha fluvial/ 25m.
BAC4	Acaraú	40° 10' 31" W ; 2° 51' 02" S	Campos salinos/ Mal drenado.	Planície fluvio- marinha/ 6m.

Figura 17: Área de coleta do perfil BAC1, localizado no município de Acaraú -CE



O perfil seguinte (BAC2, Figura 18), está localizado em área de terraço fluvial plano, à direita das margens do rio Acaraú, e a baixa permeabilidade do solo nesta feição favorece a saturação temporária por água. Além das carnaúbas, ocorre vegetação arbóreo-arbustiva caducifólia bastante ramificada e com lianas. Por vezes, nos períodos de seca, nessas áreas é feita a extração de areia acumulada em bancos formados no leito dos rios.

Figura 18: Área de coleta do perfil BAC2, localizado no município de Marco-CE



A área onde está localizado o perfil BAC3 (Figura 19) é parte de ilha fluvial em rio intermitente ligado ao rio Acaraú, com a presença de espécies de lianas e arbóreas, além de raízes expostas em seu leito. Assim como nas áreas anteriores, além do extrativismo, foram observados pontos de queimada, onde a pouca serrapilheira que recobria os solos foi reunida em pequenos montes para depois atear fogo.

Figura 19: Área de coleta do perfil BAC3, localizado no município de Marco-CE.



Próximo ao litoral, no município de Acaraú, foi coletado o perfil BAC4 (Figura 20), em área de campo salino com lençol freático a cerca de 75 cm de profundidade e recebendo forte influência marinha. Nos arredores foi observada extensa área de manguezal associada a outra área, com predomínio de carnaúbas. A vegetação é rala, com algumas espécies de gramíneas e pequenos arbustos adaptados ao ambiente halomórfico. Próximo a área de estudo encontram-se viveiros de carcinicultura, prática em grande expansão na região, com forte pressão antrópica sobre os ambientes de planície fluvio-marinha, onde estão presentes os mangues e os apicuns.

Figura 20: Área de coleta do perfil BAC4, localizado no município de Acaraú-CE.



2.1.2 Clima

A região onde está inserida a bacia do rio Acaraú é influenciada por várias combinações dos fatores naturais relacionados ao clima semi-árido, associadas a geomorfologia característica deste ambiente, seus limites e potencialidades de uso (NASCIMENTO et al., 2008). De acordo com a classificação de Köppen, a região do baixo curso do rio Acaraú possui clima do tipo Aw', descrito como tropical chuvoso com chuvas de outono e temperatura média do mês mais frio sempre superior a 18° C. A umidade relativa média varia de 50%, para regiões mais interioranas e secas, a 80% para as regiões mais úmidas, próximas ao litoral. A temperatura média é elevada, variando de 25°C a 29°C, com índices de evapotranspiração que variam de 700 mm a 1.000 mm anuais. As chuvas são irregulares ao longo do ano, com grandes variações no tempo e no espaço, sendo, geralmente, torrenciais no primeiro semestre (DINIZ et al., 2008).

Os ventos são um importante componente da dinâmica morfogenética das paisagens costeiras, no transporte e acúmulo de sedimentos arenosos. As médias de velocidade chegam a superar os 4,5 m/s nos meses mais secos e, associados com os baixos índices de precipitação, levam a migração das dunas (MEIRELES et al., 2005).

2.1.3 Geologia e geomorfologia

O substrato geológico na bacia do rio Acaraú é composto, em quase toda a sua extensão, por rochas do embasamento cristalino datadas do Pré-cambriano, pertencentes ao Complexo Nordestino. Neste complexo predominam rochas ígneas e metamórficas, como gnaisses variados, núcleos granitóides e migmatitos (complexo migmatítico-granítico), além de xisto, quartzitos, filitos, anfibólitos e ardósias (SOBRINHO, 2006). Já o contexto geológico local é formado por sedimentos fluviais e eólicos litorâneos holocênicos derivados de rochas sedimentares compostas por material areno-argiloso e arenoso do Grupo Barreiras (DINIZ et al., 2008). A área também é influenciada por sedimentos provenientes da Formação Serra Grande, composta por arenitos conglomeráticos, conglomerados com intercalações de siltitos e de folhelhos (SOBRINHO, 2006). É comum a extração de sedimentos na área de estudo, atividade que causa forte impacto e degradação dos solos.

Quanto à geomorfologia, em seu trecho inicial, a bacia do rio Acaraú apresenta forte declividade, por ser região montanhosa, reduzindo bastante no primeiro terço, onde passa a predominar o relevo suave, característico da bacia (SOBRINHO, 2006). No seu baixo curso, a baixa energia hídrica do rio favoreceu a formação de planícies e terraços fluviais de relevo predominantemente plano, com declives de 0% a 3% em faixas alongadas e estreitas, formados pela deposição de sedimentos argilosos e silteosos. Estes ambientes formados sob influência do rio são periodicamente afetados pelas condições de hidromorfismo, influenciando na gênese dos solos.

Mais próximo ao litoral, o relevo da bacia em seu baixo curso foi fortemente afetado pela dinâmica marinha, através de processos de transgressão e regressão, associados à influência fluvial e eólica, responsáveis pela formação de planícies marinhas e flúvio-marinhas inundáveis. Estas feições geomorfológicas são formadas por sedimentos holocênicos, de textura predominantemente arenosa, resultante de processos de acumulação predominantemente marinha. Nestas áreas além da drenagem imperfeita, formam-se solos com elevados teores de sais pela influência dos sais provenientes da água do mar.

2.1.4 *Vegetação*

O tipo de cobertura vegetal predominante na região é de caatinga hiperxerófila de espécies arbóreas e arbustivas, predominantemente caducifólia (RADAMBRASIL, 1973), além da ocorrência de floresta subcaducifólia, atualmente substituída por vegetação secundária (capoeira) ou plantios agrícolas.

Ao longo da planície fluvial, às margens do Rio Acaraú, ocorre formação florestal com predomínio de carnaúba (*Copernicia prunifera* (Miller) H.E. Moore), comum em áreas de acúmulo de sais e onde o solo é saturado por água nos períodos chuvosos. Estas áreas são usadas para extrativismo vegetal, com práticas rudimentares, com o emprego de queimadas para a “limpeza” das áreas.

Nas planícies litorâneas a cobertura vegetal de maior ocorrência é o manguezal que, segundo a SUDEC/DNOCS (1974) são formações vegetais características das zonas alagadiças, lamacentas e pantanosas, sujeitas ao movimento das marés, formadas nas desembocaduras dos rios.

2.2 Métodos

2.2.1 *Amostragem e preparo da amostra*

Após a descrição dos perfis, amostras de cada horizonte ou camada dos perfis foram colocadas em sacos plásticos, identificadas e levadas para casa de vegetação onde foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm, obtendo-se assim a terra fina seca ao ar (TFSA). As análises foram feitas nos laboratórios do Departamento de Solos da UFC e no laboratório de Gênese e Classificação de Solos da UFRRJ por intermédio de parceria pelo programa de cooperação acadêmica PROCAD – Novas Fronteiras.

A partir dos dados de morfologia e das análises químicas e físicas, os perfis foram classificados até o quarto nível categórico segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos – SiBCS (SANTOS et al., 2006).

Também foram coletadas quatro amostras de solo com estrutura indeformada, uma em cada horizonte ou camada de cada perfil. Este material foi cuidadosamente retirado do perfil com o auxílio de faca e martelo pedológicos, acondicionado em pequenas caixas de papelão e enroladas com plástico filme para

evitar danos na amostra de solo. Posteriormente este material foi usado para a confecção de lâminas delgadas de solo e descrição micromorfológica (Ver item 2.2.10).

2.2.2 *Análise do complexo sortivo e extração de fósforo*

Foram determinados o pH em água, em CaCl_2 $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ e em KCl 1 mol L^{-1} na suspensão solo-solução 1:2,5. As amostras foram previamente tratadas para a retirada dos sais em excesso através da lavagem com etanol 60%, em filtro de papel, e posterior secagem ao ar.

Os teores de Na^+ , K^+ trocáveis e P disponível foram obtidos com o extrator “Mehlich 1”, sendo o P determinado por espectroscopia e o Na e K por fotometria de emissão de chama. A acidez trocável (Al^{3+} e H^+) foi obtida com o extrator acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ (pH de 7,0), e a determinação dos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} foi feita com o extrator KCl 1 mol L^{-1} (EMBRAPA, 1997). Posteriormente foram calculados os valores da soma de bases ($S = \text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{K}$), capacidade de troca de cátions ($\text{CTC} = \text{H} + \text{Al} + \text{S}$), além do valor de saturação por bases ($\text{V}\% = \text{S}/\text{T} \times 100$) e Porcentagem de Sódio Trocável ($\text{PST} = \text{Na}/\text{CTC} \times 100$).

O teor de fósforo também foi determinado com solução extratora de NaHCO_3 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ (pH de 8,5). Os teores de fósforo extraído foram quantificados por espectroscopia, através da leitura da intensidade da cor do complexo fosfomolibdico após uso de ácido ascórbico em presença do sal de bismuto (OLSEN et al., 1954).

2.2.3 *Micronutrientes*

Os teores de ferro, manganês, zinco e cobre foram determinados por meio do uso de extrator “Mehlich 1”, e as leituras feitas em aparelho de espectroscopia de absorção atômica (EAA) (EMBRAPA, 1997), no Departamento de Solos da UFRRJ.

2.2.4 *Granulometria*

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta, com uso de hexa-metafosfato de sódio como agente dispersante, e quantificação das frações de argila, silte e areia. A partir destas foram calculadas as relações silte/argila e areia grossa/areia fina. A argila naturalmente dispersa em água foi determinada pelo mesmo

método, sem o dispersante, e, com este valor, foi calculado o grau de floculação (EMBRAPA, 1997).

2.2.5 Condutividade elétrica

A condutividade foi determinada a partir do extrato de saturação, obtido em pasta de solo saturado, usando proporção água/solo de 1:1, podendo esta proporção variar em função do tipo e quantidade de argila no solo. A condutividade elétrica foi obtida através de leitura em condutivímetro (EMBRAPA, 1997).

Nas amostras do extrato da pasta de saturação, com maiores valores de condutividade elétrica, também foram analisadas as concentrações de sódio e de potássio solúveis através de fotometria de emissão de chama (EMBRAPA, 1997), assim como os teores de Ca e Mg, estes por espectrofotometria de absorção atômica.

2.2.6 Teores de carbono orgânico do solo

Para a determinação do teor de C das amostras foi adotado o método descrito por EMBRAPA (1997). O procedimento consiste na pesagem de 0,5 g de amostra de TFSA, trituradas em almofariz de ágata e passadas em peneira de malha 80 mesh. Depois a amostra pesada foi colocada em erlenmeyer de 250 ml, juntamente com 10 ml solução de $K_2Cr_2O_7$ 0,4 N em meio ácido e uma pitada de sulfato de prata. A solução é aquecida até fervura branda, retirada e deixada esfriar em repouso. Depois foram adicionados 80 ml de água destilada e 2 ml de ácido ortofosfórico. A titulação foi feita com solução 0,1 N de sulfato ferroso amoniacal, usando difenilamina como indicador.

2.2.7 Fracionamento químico da matéria orgânica

O fracionamento da matéria orgânica do solo foi realizado segundo o princípio da solubilidade diferencial dos compostos, sendo o método aplicado neste estudo uma adaptação de BENITES et al. (2003).

Foi pesado 1,0 g de TFSA em tubos de centrífuga, adicionado 20mL de NaOH 0,1 mol L⁻¹ e deixado em repouso por aproximadamente 16 horas, para a obtenção do extrato alcalino (EA= AH+AF), que posteriormente foi separado do

resíduo sólido por centrifugação a 5.000 g por 20 min. Após o processo, o extrato foi recolhido e reservado. O resíduo obtido ao final foi seco, pesado e depois usado para a determinação de carbono da fração humina (C-HU). O pH do extrato alcalino recolhido foi rebaixado para 1 ($\pm 0,1$) com uso de solução de H₂SO₄ 20% visando promover a coagulação da fração ácido húmico (AH). O precipitado, correspondente ao ácido húmico, foi separado da fração solúvel (ácido fúlvico) por filtragem em filtros de papel.

A determinação quantitativa de carbono nos extratos das frações ácido fúlvico (C_AF) e ácido húmico (C_AH) foi feita com a adição de uma alíquota do extrato em 1 mL de dicromato de potássio 0,042 mol L⁻¹ e 5 mL de H₂SO₄ concentrado em erlenmeyer de 125 mL e levadas para digestão em chapa aquecedora a 150°C por 30 minutos. A titulação foi com sulfato ferroso amoniacal 0,0125 mol L⁻¹ usando como indicador Ferroin. Para a determinação do carbono do resíduo, denominada fração humina (C_HU), procedeu de forma semelhante às demais frações, com adição de 5 mL de dicromato de potássio 0,1667 mol L⁻¹, 10 mL de H₂SO₄ e a titulação feita com sulfato ferroso amoniacal 0,25 mol L⁻¹.

2.2.8 Teores de nitrogênio do solo

Os teores de N foram determinados através do método descrito em Tedesco et al. (1995). A análise é realizada através da pesagem de 0,200 g de solo, sendo o material digerido em presença de ácido sulfúrico, água oxigenada e de uma mistura catalisadora (K₂SO₄ + Na₂SO₄ + Cu), possibilitando a conversão do N orgânico em NH₄.

A destilação foi feita após a destilação a vapor, com a adição de 5 ml de solução NaOH 1 mol L⁻¹ no extrato de digestão, possibilitando que a amônia seja separada juntamente com o vapor de água, sendo recolhida em erlenmeyer contendo solução de ácido bórico. A titulação foi feita com solução padronizada de ácido sulfúrico diluído.

2.2.9 Difractometria de raio X

A técnica de difração de raios X foi aplicada em determinadas amostras dos perfis, selecionadas por apresentarem maiores evidências dos processos pedogenéticos ou com características diferenciadas, como o caráter vértico.

As frações argila e areia destas amostras foram separadas a partir da dispersão da amostra de solo (TFSA) em hexa-metafosfato de sódio, deixando a mistura em agitação por 12 horas em agitador horizontal. Decorrido o tempo, as amostras foram transferidas para provetas de um litro através de uma peneira com malha de 0,053 mm, cujo material retido corresponde à fração areia. A fração argila foi separada por decantação, segundo a equação de Stokes (EMBRAPA, 1997). Após serem separadas, as frações de areia e argila foram encaminhadas para análise no laboratório de mineralogia (Argilab) da Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiróz (ESALQ).

A fração argila, foi saturada com potássio ($\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$) à 25 °C, 350 °C e 500 °C por 2 horas com magnésio ($\text{MgCl}_2 \text{ } 0,5 \text{ mol L}^{-1}$), seguida de solvatação com glicerol 10% (Mg+Glicerol). As amostras da fração areia foram moídas e passadas em peneira de 200 mesh para obtenção do material em pó e posteriormente foi feita a montagem em lâminas de vidro escavadas, sem orientação.

As amostras da fração areia e argila tratadas foram analisadas por difratometria de raio-X (DRX) em difratômetro Philips 3026, operando numa tensão de 40 kV e corrente de 40 mA; no intervalo de 3 a 60° 2 θ ; com velocidade de varredura de 1,2° 2 θ /min; ânodo de cobre (Cu K α) e com filtro de níquel (Ni). Os difratogramas gerados foram interpretados de acordo com os espaçamentos basais, comportamento frente aos tratamentos e forma e assimetria dos picos de difração.

2.2.10 Descrição micromorfológica de laminas delgadas de solo

Para os estudos micromorfológicos, foi selecionada uma sessão em cada perfil, conforme maior expressão dos processos pedogenéticos, para a obtenção de amostras indeformadas para confecção das lâminas delgadas. As dimensões aproximadas dos blocos eram de 15x10x10 cm. Estes blocos foram cuidadosamente acondicionados em caixinhas de papelão devidamente identificadas, orientadas e envolvidas com filme plástico. Depois as amostras foram encaminhadas para o laboratório de micromorfologia da ESALQ para serem impregnadas e analisadas.

Como estes solos apresentam argila de atividade alta, foi necessário tratamento prévio das amostras, que consiste na imersão dos blocos em acetona para a retirada da água presente no solo (troca de água por acetona). Posteriormente, os blocos de solo foram colocados dentro de potes plásticos com volume de 2 litros contendo uma mistura líquida de resina de poliéster, monômero de estireno e peróxido metilcetonato.

como agente catalisador para a polimerização do poliéster final. Estes potes foram então colocados em dessecadores sob vácuo para a impregnação completa dos poros do solo pela resina. Esse material foi seco e cortado em pequenos blocos para a confecção das laminas delgadas, de acordo com o procedimento descrito por CASTRO et al. (2003). As lâminas foram analisadas em microscópio petrográfico dotado de luz polarizada e a descrição das características micromorfológicas observadas foi realida com base em critérios e terminologias propostas por Bullock et al. (1985).

2.2.11 Ataque sulfúrico

As amostras dos horizontes usados para análise de difratometria de raio-X também foram submetidas ao ataque sulfúrico, no laboratório da Embrapa Solos (RJ). Foi pesado 1 g de TFSA em erlemmeyer e adicionada 20 mL de solução de ácido sulfúrico (1:1) com aquecimento e fervura por 1 hora e posterior extração e quantificação dos teores de ferro, alumínio, titânio e sílica. Os valores foram expressos na forma de óxidos, segundo o método preconizado em EMBRAPA (1997). Com os valores obtidos foram calculados os valores do k_i e k_r .

2.2.12 Análise estatística

Os dados foram avaliados através de estatística descritiva e as inferências feitas sobre os resultados foram baseadas em análises de regressão linear simples, correlação de Pearson e testes para médias.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização morfológica

Os perfis de solo descritos e coletados em áreas do baixo curso do rio Acaraú apresentaram características morfológicas distintas entre si, principalmente no que refere à profundidade dos perfis e espessura dos horizontes e camadas (Tabela 12).

A similaridade entre estes solos está em características que denotam o grau de hidromorfismo ao qual estão sujeitos devido as condições do ambiente, principalmente a coloração. Nos perfis BAC1, BAC2 e BAC3 houve o predomínio da

matiz 10YR, com cores brunadas, valor variando de 3 a 6, croma de 1 a 4. Poucos horizontes apresentaram mosqueados, cujos tamanhos variaram de muito pequeno a grande, e contraste distinto a proeminente. Enquanto que o perfil BAC4 é provido de características que indicam maior grau de hidromorfismo entre os demais perfis analisados, com cores neutras, de tons acinzentados em profundidade e com valor abaixo de 4. As camadas possuem mosqueados variando de pequeno a grande, com contraste proeminente e quantidade comum a abundante. A morfologia evidencia o processo de gleização na gênese deste solo, permitindo classificar este solo como Gleissolo.

O grau de estruturação foi predominantemente forte para BAC1 e BAC2, com estruturas prismáticas, em blocos, cuneiforme e paralelepípedica. Estas estruturas são características de solos com argila de atividade alta, onde ocorrem ciclos alternados de expansão e contração, aproximando as partículas primárias do solo. A expansividade também é evidenciada pelas superfícies de compressão e de fricção (“slickensides”) entre os agregados adjacentes, sendo mais visível e abundante no perfil BAC1.

Tabela 12: Características morfológicas de solos formados na Bacia do Baixo Acaraú-CE.

Horiz	Prof. (cm)	Cor (Úmida)	Mosqueado	Estrutura	Textura	S.C/SK	Consistência	Transição
Perfil - BAC1								
Apnz	0-(24-26)	10YR 3/2	-	F/ Pr G e Bl ang M.	Argila	-	Ext. d/ Mfm/ Mpl e Pg.	Ondulado e Clara
CA	(24-26)-47	10YR 3/3	-	F/ Cn e Pl G.	Argila	Pco/Pco.	Ext. d/Mfm/ Mpl e Pg .	Plana e Gradual
Cvn	47-80	10YR 5/2	-	F/ Cn e Pl G.	Franco argilosa	Cm/Mod.	Ext. d/Mfm/ Mpl e Pg.	Plana e Gradual
2Cn	80-120 ⁺	Var. 2,5Y 6/2 e 7,5YR 6/8	-	Grãos simples.	Areia	-	Slt /Slt / Npl e Npg .	-
Perfil - BAC 02								
A	0-20	10YR 3/4	-	F/ M e P Bl ang.	FAA	-	Mc/ Mfr/ Lpl e Npg.	Plana e Clara
2A	20-33	10YR 4/4	-	F/ M Pr.	Média	-	Mc/ Mfr /pl e Lpg.	Plana e Abrupta
2E	33-50	10YR 5/3	-	Grãos simples.	Areia	-	Mc/ Slt /Npl e Npg.	Plana e Abrupta
2EB	50-60	10YR 5/4	10YR 6/8 cm, Mp e Dst.	Mod/ P Bl ang.	Areia franca	-	Mc/ Mfr /Pl e Pg.	Plana e Clara
2Bt1	60-71	Var. 10YR 5/3 e 10YR 3/3	-	F/ M e G Pr.	Franco argilosa	-	Ext. d/ fm/ Pl e Pg.	Plana e Difusa
2Bt2	71-98	Var. 10YR 5/3 e 10YR 4/3	-	F/ M e G Pr.	Argila	-	Ext. d/ fm/ Mpl e Mpg.	Plana e Difusa
2Btvnz	98-140 ⁺	10YR 4/3	-	F/ M e G Pr.	Argila	Cm/Pco.	Ext. d/ fm/ Mpl e Mpg.	-
Perfil - BAC3								
A	0-16	10YR 4/3	10YR 6/8 cm, P e Dst.	Mod/ M Pr.	Franca.	-	D/ fr/ Pl e Lpg.	Plana e Abrupta
CA	16-38	10YR 3/3	-	Maciça.	FAS.	-	Ext d/ fm/ Mpl e Mpg.	Plana e Gradual
Cnz1	38-92	10YR 4/2	-	Maciça.	FAS.	-	Ext d/ fm/ Mpl e Mpg.	Pln e Dif
Cnz2	92- (125-140)	10YR 4/2	-	Maciça.	FAS.	-	Ext d/ fm/ Mpl e Mpg.	Ondulada e Clara
2Cnz	(125-140)- (150-160)	2,5YR 4/2	2,5Y 5/6 cm, G e Prm.	Maciça.	Franca.	-	Ext d/ fm/ Mpl e Mpg.	Ondulada e Clara
3Cvn	(150-160)- 175 ⁺	10YR 4/1	10YR 6/6 pco, P e Dst.	Maciça.	Franco argilosa.	Cm/Pco.	Ext d/ fm/ Mpl e Mpg.	-

Continuação...

Horiz	Prof. (cm)	Cor (Úmida)	Mosqueado	Estrutura	Textura	S.C/SK	Consistência	Transição
Perfil - BAC 04								
Agnz	0-8	Var. 5YR 4/4 e 5YR 3/4	-	Fc/ P Grn e Bl sub.	Areia franca.	-	Mfr/Npl e Npg	Plana e Abrupta
Cgnz1	8-32	2,5Y 5/2	5YR 4/4 cm P e Prm.	Maciça.	Franco arenosa.	-	Fr/Npl e Npg.	Plana e clara
Cgnz2	32-50	5Y 4/1	5YR 4/4 Abd G e Prm.	Maciça.	Argilo silosa.	-	Fr/Lpl e Npg.	Plana e clara
2Cgnz	50-72	N4/	5YR 4/4 pco M e Prm.	Maciça.	Franco siltosa.	-	Fr/Lpl e Npg.	Plana e gradual
3Cgnz	72-80	N4/	5YR 4/4 pco M e Prm.	Maciça.	Franca.	-	Fr/Npl e Npg.	Plana e gradual
4Cgnz	80-110 ⁺	N2/	-	Maciça.	Franca.	-	Fr/Npl e Npg.	-

Cm: comum; Abd: abundante; Pco: pouco; Mp: muito pequena; P: pequena; M: média; G: grande; Dst: distinto; Prm: proeminente; F: forte; Mod: moderado; Fc: fraca; Pr: prismática; Bl: blocos (ang: angulares e sub: subangulares); Grn: granular; FAA: franco-argilo-arenosa; FAS: franco argilo-siltosa; S.C: Superfície de compressão; SK: Slickensides; Ext d: extremamente dura; D: dura; Sl: solta; Mc: macia; Mfr: muito friável, Fr: friável; Mfm: muito firme; Fm: firme; Npl: não plástica; Lpl: ligeiramente plástica; Pl: plástica; Mpl: muito plástica; Npg: não pegajosa; Lpg: ligeiramente pegajosa; Pg: pegajosa; Mpg: muito pegajosa.

O perfil BAC3 possui estrutura predominantemente maciça. No entanto, foi observada no campo fraca estruturação do tipo cuneiforme e paralelepipedica nas camadas mais profundas, indicando um início de agregação do solo. Tanto para o perfil BAC2 como para BAC3, foi atribuído a alguma camada ou horizonte o caráter vértico. Já o perfil BAC4 apresenta grau fraco de estrutura em superfície, com agregados do tipo granular em função da atividade biológica, enquanto que, em profundidade, predomina a estrutura maciça, atribuída a sua saturação por água na maior parte do ano, que impede a formação de agregados estáveis.

Com exceção do perfil BAC1, os demais perfis apresentam textura expedita com predomínio da fração areia. Notando-se, porém que, mesmo em baixos teores, os argilo minerais 2:1 conduzem a sensação de maior plasticidade e pegajosidade nas amostras de solo, o que pode superestimar os teores de argila no teste de campo (textura expedita).

Os resultados das análises granulométricas (Tabela 13) mostram variação textural, tanto entre camadas ou horizontes, como entre perfis, o que é atribuído a deposição de diferentes materiais nos sedimentos dos quais estes solos são formados.

O Perfil BAC1 apresentou textura argilosa até 80 cm de profundidade, onde foi observada descontinuidade litológica, passando a haver predomínio da fração areia grossa. No horizonte C_{vn} foi observado fendilhamento e presença de superfícies de fricção, formadas em decorrência dos ciclos de umedecimento e secagem, que favorecem a expansão e contração do solo associada a presença de argila expansiva do tipo 2:1. Estas características permitiram classificar este horizonte como vértico, enquadrando o solo na ordem dos Vertissolos.

No perfil BAC2 foi identificado um horizonte B, com mudança textural abrupta e aumento gradual dos teores de argila em subsuperfície, embora estes teores tenham sido irregulares. Esta característica, associada as cores variegadas, o predomínio de matiz 10YR e valores de croma iguais ou menores a três, bem como estrutura prismática e drenagem imperfeita, permitiram diagnosticar o horizonte B plânico, portanto o solo é classificado, no primeiro nível categórico, como Planossolo.

O perfil BAC3 apresentou menor diferenciação textural, com predomínio da classe franco-argilosa em subsuperfície e franco-arenosa em superfície (0-16 cm), com alternância entre camadas e sobreposição de sedimentos de natureza diversa. A presença de caráter flúvico e o baixo grau de pedogênese permitem classificar este solo como Neossolo Flúvico. Estes solos são formados a partir de sedimentos não consolidados

sobre camadas estratificadas de material recente, do Quaternário, com pequena expressão dos processos pedogenéticos em consequência da sua baixa intensidade de atuação, não havendo modificações expressivas do material originário.

Tabela 13: Valores granulométricos de solos formados na Bacia do rio Acaraú-CE.

Horizontes	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Si/Ar	Ag/Af	GF %
	-----g kg ⁻¹ -----						
Perfil - BAC1							
Apnz	84	88	295	534	0,6	1,0	21
CA	79	76	315	531	0,6	1,0	14
Cvn	139	111	312	439	0,7	1,3	16
2Cn	962	15	3	20	0,2	64,1	50
Perfil - BAC2							
A	55	594	214	138	1,5	0,1	55
2A	36	353	237	375	0,6	0,1	72
2E	190	714	43	54	0,8	0,3	100
2EB	29	664	183	125	1,5	0,0	65
2Bt1	7	137	548	309	1,8	0,1	46
2Bt2	10	200	514	277	1,9	0,1	48
2Btvnz	19	132	463	387	1,2	0,1	49
Perfil - BAC3							
A	236	386	199	179	1,1	0,6	82
CA	109	211	328	353	0,9	0,5	25
Cnz1	143	229	291	337	0,9	0,6	35
Cnz2	137	222	343	298	1,2	0,6	11
2Cnz	268	226	275	231	1,2	1,2	15
3Cvn	64	257	395	285	1,4	0,2	23
Perfil - BAC4							
Agnz	536	262	122	80	1,5	2,0	46
Cgnz1	487	147	194	173	1,1	3,3	14
Cgnz2	398	123	215	265	0,8	3,2	17
2Cgnz	98	128	480	295	1,6	0,8	42
3Cgnz	544	172	134	151	0,9	3,2	17
4Cgnz	619	217	94	70	1,3	2,9	40

GF: Grau de flocação; Si/Ar: Relação Silte/Argila; Ag/Af: Relação Areia grossa/Areia fina

O solo formado na área de campo salino (BAC4) também apresentou textura arenosa, com predomínio da fração areia grossa nas camadas amostradas e com baixos teores de argila. Devido à proximidade com o litoral, pressupõe-se que esta área foi formada por sedimentos marinhos em épocas pretéritas de transgressão, onde houve a deposição das frações mais grosseiras de quartzo, principalmente. A variação no tamanho de partículas nestes solos está associada de forma direta com a energia da água no transporte de sedimentos. Desta forma, quanto maior essa energia, maior será a

granulometria do material de formação da camada ou horizonte (CORRÊA et al., 2003; BULLINGER-WEBER & GOBAT, 2006).

Os valores de grau de flocculação variaram em profundidade em todos os perfis, apresentando, de modo geral, baixo grau de flocculação. Este efeito pode estar relacionado ao baixo grau de desenvolvimento pedogenético destes solos. Além disso, os elevados teores de sais presentes (Principalmente sódio. Ver Tabela 15) atuam como agentes dispersantes das partículas de argila, sendo verificado que diminuição do grau de flocculação está diretamente relacionada com o aumento dos teores de Na no solo ($r = -0,77$ a 5% de significância). Outra causa para a redução do grau de flocculação, segundo Corrêa et al. (2003), é a ocorrência de argilominerais 2:1 no solo, que também podem contribuir com o aumento da dispersão das partículas no solo devido ao aumento das cargas negativas do meio. O aumento da dispersão das frações finas do solo culmina em condições físicas desfavoráveis para os solos, reduzindo a permeabilidade da água e o desenvolvimento de raízes em profundidade.

No perfil BAC1 a camada superficial apresentou maior grau de flocculação em relação às camadas subsuperficiais, com exceção da camada 2Cn. Comportamento semelhante foi observado no Perfil BAC3, onde houve decréscimo do grau de flocculação em profundidade associado ao aumento dos teores de sódio em profundidade. No horizonte B plânico do Perfil 2, a maior dispersão das argilas contribui para a redução da macroporosidade e, conseqüentemente, na condutividade hidráulica dos solos, limitando a percolação de água e favorecendo condições de redução neste horizonte (OLIVEIRA et al., 2003).

O Gleissolo (BAC4) apresentou baixo grau de flocculação, havendo variação entre camadas, com valores maiores em superfície, mesmo apresentando baixos teores de argila total, comparado com as camadas subsequentes. Nas camadas superficiais, os maiores teores de matéria orgânica e a ação de forças físicas de contração e expansão da massa do solo, associada a atividade da biota do solo e das raízes contribuem para a aproximação e união das partículas primárias formando agregados mais estáveis.

A relação silte/argila e o teor de silte são atributos diagnósticos utilizados para inferir sobre o grau de intemperismo dos solos. Os resultados encontrados indicaram baixo grau de intemperismo para a maioria dos horizontes. Mas para solos formados de sedimentos, esta relação, associada aos valores da relação areia grossa/areia fina, também é usada como indicativo de descontinuidade do material de

origem do solo. Este padrão de distribuição foi observado em todos os perfis, mesmo em BAC2, classificado como Planossolo.

3.2 Caracterização química

3.2.1 *Complexo sortivo*

Com relação às características químicas (Tabela 14), os solos apresentaram valores de pH que variaram de fortemente ácido (pH de 5,2) a moderadamente alcalino (pH de 8,3) e com mediana de 6,1, ou seja, houve um predomínio de horizontes e camadas na faixa de pH que os classificam como moderadamente ácido (61% das amostras). Nestas condições pode ocorrer a redução da disponibilidade de determinados elementos, dentre eles o fósforo (CORRÊA et al., 2003).

Quando comparados os resultados de pH em KCl e CaCl₂, a correlação com pH em água mostrou valores elevados, de 0,76 e 0,86, respectivamente, ambos significativos a 1%. Valladares (2009), estudando solos salinos no Golfão maranhense, encontrou valores de correlação para pH em água e em KCl de 0,86. Os valores de pH em KCl apresentaram-se sempre mais baixos, oscilando de 3,7 a 6,7 unidades, e mediana de 4,8. Os valores de pH em CaCl₂ foram semelhantes aos em KCl, com os mesmos máximos e mínimos, e mediana de 4,6, e o coeficiente de correlação foi de 0,96 ($p = 0,01$), indicando maior semelhança entre os valores obtidos nas duas análises.

A diferença entre os valores de pH em água e em KCl se deve à concentração da solução de KCl (1 mol L^{-1}) que, por efeito de concentração, desloca mais íons H^+ da superfície dos colóides para a solução, tornando-a mais ácida. O mesmo vale para a solução de CaCl₂ que, mesmo em menor concentração ($0,1 \text{ mol L}^{-1}$), apresentou eficácia semelhante à solução KCl 1 mol L^{-1} . Esta afirmação foi comprovada através de teste de correlação entre os teores de H^+ com pH em KCl e CaCl₂, onde ambas apresentaram valores iguais a -0,86 ($p = 0,05$). Com o pH em água, este coeficiente foi de -0,63.

Tabela 14: Valores de atributos químicas de solos formados na Bacia do Baixo Acaraú-CE

Horiz.	pH		Ca	Mg	Al	H	Na	K	P _{melich}	P _{olsen}	PST	S	T	V%	
	H ₂ O	KCl													
	CaCl ₂	-----cmol _c kg ⁻¹ -----					mg kg ⁻¹								
Perfil - BAC1															
Apnz	5,2	4,1	4,0	8,7	8,8	0,0	2,2	6,4	0,2	1,9	1,4	24	24,2	26,3	92
CA	5,9	4,6	4,6	5,4	10,0	0,0	1,5	8,7	0,3	1,6	1,0	34	24,3	25,8	94
Cvn	7,0	5,3	5,4	4,6	8,2	0,0	0,9	7,3	0,3	1,5	0,9	34	20,4	21,3	96
2Cn	7,3	5,7	5,7	0,5	2,1	0,0	0,5	0,2	0,0	3,3	0,1	6	2,8	3,3	85
Perfil - BAC 02															
A	6,1	4,7	4,3	4,4	3,1	0,0	1,5	0,0	0,2	17,5	5,4	1	7,7	9,2	84
2A	5,4	3,7	3,7	6,7	5,7	0,4	1,7	0,1	0,0	7,2	6,1	1	12,6	14,6	86
2E	6,1	4,5	4,5	1,3	1,4	0,0	0,5	0,0	0,0	43,4	1,8	1	2,8	3,3	85
2EB	5,4	4,0	4,2	4,2	3,4	0,2	0,9	0,1	0,1	24,6	4,4	1	7,8	8,9	88
2Bt1	5,8	3,8	3,9	11,1	8,6	0,3	2,1	0,2	0,1	12,2	11,9	1	20,1	22,5	89
2Bt2	6,1	3,9	4,0	9,5	7,9	0,3	1,8	0,3	0,1	11,5	8,5	1	17,8	19,9	89
2Btvnz	6,1	3,8	3,8	11,6	9,9	0,0	2,5	1,7	0,1	7,8	8,2	7	23,3	25,8	90
Perfil - BAC3															
A	5,9	4,4	4,3	4,2	5,2	0,2	1,2	0,3	0,1	7,2	2,9	3	9,8	11,2	88
CA	6,4	4,1	4,2	8,6	9,9	0,0	1,6	2,2	0,1	2,9	2,8	10	20,8	22,4	93
Cnz1	6,8	5,6	5,8	6,3	9,1	0,0	0,5	5,3	0,1	11,4	5,4	25	20,8	21,3	98
Cnz2	8,0	6,6	6,6	6,2	7,3	0,0	0,0	8,4	0,1	8,9	4,5	38	22,0	22,0	100
2Cnz	7,9	6,6	6,6	4,3	5,8	0,0	0,3	5,9	0,1	15,5	6,8	36	16,1	16,4	98
3Cvn	8,3	6,7	6,7	7,1	7,1	0,0	0,0	9,2	0,0	7,04	4,0	39	23,5	23,5	100
Perfil - BAC 04															
Agnz	5,7	5,5	5,0	2,7	0,7	0,0	0,7	1,5	0,8	10,4	2,1	23	5,7	6,4	89
Cgnz1	6,0	5,3	5,2	1,2	2,8	0,0	0,6	3,9	2,0	7,3	4,0	37	9,8	10,4	94
Cgnz2	5,3	4,8	4,6	1,5	4,5	0,0	1,3	6,8	2,6	2,9	2,5	41	15,3	16,6	92
2Cgnz	5,2	4,8	4,4	1,6	4,1	0,0	1,1	5,5	2,2	4,7	3,1	38	13,4	14,5	92
3Cgnz	6,1	5,7	5,2	1,1	3,0	0,0	0,6	2,9	1,4	6,5	3,7	33	8,4	9,0	93
4Cgnz	6,1	5,9	5,1	1,2	1,7	0,0	0,7	1,5	0,4	4,5	2,3	27	4,8	5,5	87
Máxima	8,3	6,7	6,7	11,6	10,0	0,4	2,5	9,2	2,6	43,4	11,9	41,0	24,3	26,3	100
Mínima	5,2	3,7	3,7	0,5	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,1	1,0	2,8	3,3	84
Mediana	6,1	4,8	4,6	4,4	5,7	0,0	0,9	2,2	0,1	7,2	3,7	24,0	15,3	16,4	92,0
DP	0,9	0,9	0,9	3,4	3,0	0,1	0,7	3,3	0,8	9,2	2,8	15,9	7,3	7,6	4,8
CV%	14,2	19,2	18,8	67,7	53,7	202,7	64,8	95,6	157,4	96,0	69,0	79,4	50,5	48,6	5,2

Os teores de alumínio foram baixos, e em sua maioria ausente. O Perfil BAC3 apresentou teores de Al apenas na camada superficial, enquanto que no perfil BAC2, os valores foram ligeiramente mais altos e oscilaram em profundidade, com teor de Al máximo igual a 0,4 no horizonte 2A, mesmo em condições de pH igual a 5,4 ou maiores. Valladares (2009), também obteve teores de Al superiores a $1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ em amostras com pH superior a 5,0, apontando o comportamento diferenciado destes solos comparados a outros, onde não se encontra Al em pH maiores que 5,0. Isso é possível em decorrência da formação de compostos insolúveis de alumínio no solo, e reduzindo o risco de toxidez por este elemento.

Elevados teores de Ca e Mg foram encontrados nos perfis, com distribuição irregular nas diferentes camadas ou horizontes. Por vezes os teores de Mg foram maiores que os de Ca, sendo também observado este comportamento nos valores obtidos do extrato de saturação (Tabela 15), provavelmente pela influência marinha, fornecendo sais dissolvidos com Mg. Oliveira et al. (2003) e Valladares (2009) afirmam que o desequilíbrio entre os cátions Ca e Mg pode ser prejudicial às plantas.

O aumento dos teores desses cátions contribui de forma direta com o aumento dos valores S e T. No entanto, os elevados teores de sódio podem competir nos sítios de troca com o cálcio e o magnésio, causando desequilíbrio da relação Na:Ca, tornando-a alta, e com isso, favorecer na redução da taxa de mineralização e na liberação de enxofre e nitrogênio da matéria orgânica para as plantas (CHAVES et al., 1998). Também, concentrações de Na maiores que K são um indicativo negativo para a fertilidade, visto que o Na não é considerado nutriente essencial aos vegetais, e em excesso nos solos causam desbalanço no sistema. (VALLADARES, 2009).

O sódio apresentou valores altos, principalmente nos Perfis BAC1, BAC3 e BAC4, onde o acúmulo de sais contribuiu para que o valor do percentual de saturação por sódio (PST) fosse maior que 15%, atingindo valor máximo de 41%, permitindo atribuir a estes solos o caráter sódico. Desta forma, estes três perfis foram classificados como sódicos no terceiro nível categórico do SiBCS.

O perfil BAC2 apresentou valores baixos de sódio, mas que aumentaram em profundidade (98-140⁺), o suficiente para atribuir ao horizonte 2Btvnz também o caráter solódico, usado para classificar este Planossolo como solódico no quarto nível categórico, visto que no terceiro nível categórico este perfil foi classificado como eutrófico, devido a elevada saturação de bases. Parahyba et al. (2010), em estudos com Planossolos do agreste pernambucano, também observaram elevados teores de Na, cuja

contribuição no complexo sortivo (PST) atingiu até 22%, enquanto que Mota & Oliveira (1999) e Moreira et al. (1989), em estudo de solos com excesso de Na no Estado do Ceará, encontraram valor para o PST de 31,6% e 35,7%, respectivamente.

A influência flúvio-marinha e a alta taxa de evapotranspiração, juntamente com a interferência do lençol freático, favorecem o acúmulo e aumento de sais que contém principalmente Na e Mg nas camadas e horizontes de solo pela ascensão capilar de águas subterrâneas. Além deste fator, vários solos em regiões de clima semi-áridos apresentam quantidades apreciáveis de minerais primários intemperizáveis (feldspatos, hornblendas, plagioclásios, calcita e gipsita), os quais favorecem no fornecimento de íons cálcio, magnésio e sódio para a solução do solo ao longo do tempo em que sofrem ação do intemperismo (CORRÊA et al., 2003; OLIVEIRA et al., 2003). Estes minerais formam importantes reservas de nutrientes, com a contribuição de feldspatos-K, plagioclásios e calcita, principalmente da fração silte, no aumento da concentração de cálcio e magnésio, além de potássio na solução do solo (CORRÊA et al., 2003).

Os teores de fósforo disponível (P_{melich}) variaram de 43,4 a 1,5 mg kg⁻¹ de solo, com mediana de 7,2 mg kg⁻¹, onde os maiores valores foram observados em BAC2. No entanto, estes valores não são indicativos de que há disponibilidade total do nutriente para a planta, visto que, em solos alcalinos e com altos teores de cálcio, o P forma compostos de fosfatos pouco solúveis no solo, mas que são facilmente atacados pelo extrator Mehlich-1 (CORRÊA et al., 2003).

Para tanto, foi adotado o método proposto por Olsen et al. (1954), com extrator mais brando (NaHCO_3 0,5 mol L⁻¹), para determinar os teores de fósforo prontamente disponíveis no solo, e seus valores foram menores (P_{olsen}) que os do outro método. Comparando os dois métodos por meio de correlação de Pearson e análise de regressão, não se observam valores estatisticamente significativos, de forma que não há relação entre os teores obtidos entre os dois métodos.

Os perfis apresentaram alta capacidade de troca catiônica (CTC), associada a elevados valores de soma de bases (S), logo os valores de saturação por bases (V) são próximos ou iguais a 100%. No entanto, vale ressaltar que os elevados valores de V% não indicam a fertilidade do solo, uma vez que em alguns perfis, como em BAC4, grande parte dos sítios de troca está ocupada por Na devido a abundância deste íon na solução do solo. Portanto, este critério não é utilizado na classificação desses solos.

Diferentemente do observado no Capítulo I, os valores de CTC destes solos não apresentam correlação com os teores de carbono orgânico, visto que estes são muito

baixos, mas sim com a quantidade e a mineralogia da fração argila ($r = 0,91$; $p = 0,05$), retratando a importância da fração mineral para o complexo de troca e para a fertilidade.

Através do valor T, e dos teores de argila, foi calculada a atividade da fração argila para os perfis, exceto em BAC4, que apresenta textura arenosa (SANTOS et al., 2006). Os valores obtidos foram superiores a $24 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de argila, conferindo-lhes alta atividade, condizente com as feições morfológicas observadas.

3.2.2 Sais solúveis

Os valores referentes à condutividade elétrica do extrato de saturação e os sais solúveis (Tabela 15) indicam teores de sais elevados. As camadas ou horizontes com valores de condutividade elétrica (CE) maiores que 4 dS m^{-1} foram submetidos a análise para a determinação dos teores de Na, K, Ca e Mg do extrato saturado de solo.

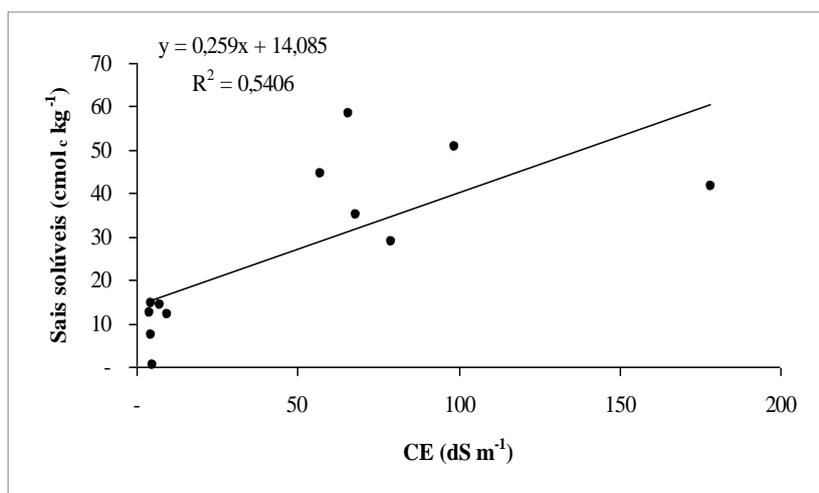
Tabela 15: Valores de condutividade elétrica e de sais do extrato de saturação de solos formados na Bacia do rio Acaraú-CE.

Perfil	CE dS m^{-1}	Na	K	Ca	Mg
		----- $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ -----			
Perfil - BAC1					
Apnz	4,1	9,5	0,5	0,7	1,7
CA	4,8	11,5	0,9	1,0	1,3
Cvn	1,7	-	-	-	-
2Cn	0,2	-	-	-	-
Perfil - BAC2					
A	0,6	-	-	-	-
2A	0,2	-	-	-	-
2E	0,2	-	-	-	-
2EB	0,1	-	-	-	-
2Bt1	0,1	-	-	-	-
2Bt2	0,1	-	-	-	-
2Btvnz	5,2	0,1	0,0	0,1	0,1
Perfil - BAC3					
A	0,4	-	-	-	-
CA	0,5	-	-	-	-
Cnz1	9,8	9,7	0,0	0,8	1,7
Cnz2	7,2	8,7	0,0	0,4	5,2
2Cnz	4,8	6,7	0,0	0,3	0,3
3Cvn	0,2	-	-	-	-
Perfil - BAC 04					
Agnz	178,6	34,5	2,0	0,9	4,2
Cgnz1	68,2	29,5	2,2	0,4	2,9
Cgnz2	57,4	34,9	1,5	1,4	6,6
2Cgnz	65,8	49,5	1,2	1,5	6,3
3Cgnz	98,7	43,0	1,8	0,9	4,9
4Cgnz	79,0	25,8	0,9	0,3	1,8

CE: Condutividade elétrica.

Os dados de correlação mostram haver relação direta entre os valores de CE com os teores de Na (0,75) e K (0,80), ambos significativos a 5%. Quando somados os teores destes cátions e relacionados com os valores de CE através de gráfico de dispersão e pela equação da reta (Figura 21), foi observado valor de R^2 igual a 0,54, além de apresentar um valor de coeficiente de Pearson de 0,75, significativo a 5%.

Figura 21: Relação entre os valores de condutividade elétrica (CE) e somatória dos teores de sais solúveis do extrato de saturação de solos formados na Bacia do Baixo Acaraú-CE.



O perfil BAC4 apresentou os maiores valores de condutividade, associado a elevados teores de Na do extrato salino. Estes dados reforçam a influência das marés no fornecimento de sais com Na e Mg através do lençol freático, o que justifica os teores deste último cátion serem maiores que os teores de Ca em alguns horizontes ou camadas. Devido a estas características, o Gleissolo foi classificado, no segundo nível categórico, como sálico, por apresentar valor de CE maior que 7 dS m^{-1} nas camadas dentro de 100 cm a partir da superfície. Os perfis BAC1 e BAC2 apresentaram teores de CE maiores que 4 dS m^{-1} e menores que 7 dS m^{-1} em alguma profundidade, conferindo-lhes o caráter salino, enquanto que os demais (BAC3 e BAC4) apresentaram valores de condutividade maiores que 7 dS m^{-1} , enquadrando-se no caráter sálico.

Segundo Ramalho Filho & Beek (1995) valores de condutividade elétrica do solo variando entre $4 \text{ e } 8 \text{ dS m}^{-1}$ e saturação por sódio entre 8 e 20%, já representam grau de limitação moderado à agricultura por deficiência de fertilidade; enquanto que valores de CE entre $8 \text{ e } 15 \text{ dS m}^{-1}$ e saturação por sódio superior a 15% indicam forte limitação ao desenvolvimento vegetal.

3.2.3 Micronutrientes

Foram determinados os teores de micronutrientes (Tabela 16) para avaliar o comportamento destes metais em ambiente de várzea. Os teores de ferro foram maiores que os demais elementos, tanto entre perfis como em profundidade. O Gleissolo Sáfico (BAC4) mostrou os teores mais elevados deste metal. Em ambientes hidromórficos, onde o oxigênio dissolvido está em baixas concentrações, ou mesmo ausente, a oxidação da matéria orgânica pelos organismos anaeróbicos ocorre na presença de outros componentes oxidados do solo, como o Fe e o Mn que, quando reduzidos, apresentam maior solubilidade e mobilidade, apresentando-se disponíveis no sistema.

Tabela 16: Valores de micronutrientes de solos formados na Bacia do Baixo Acaraú-CE.

Horizontes	Mn	Zn	Cu	Fe
	-----mg kg ⁻¹ -----			
Perfil BAC1				
Apnz	53,2	1,0	0,6	95,1
CA	31,1	0,8	1,1	107,6
Cvn	11,6	0,9	0,0	91,7
2Cn	2,7	0,8	0,8	75,7
Perfil - BAC2				
A	89,9	2,0	1,8	189,5
2A	67,6	3,2	0,3	274,3
2E	13,8	0,8	0,9	97,3
2EB	28,6	2,1	2,1	176,1
2Bt1	55,1	3,5	2,6	254,3
2Bt2	36,9	3,9	2,1	240,0
2Btvnz	52,9	4,0	1,3	145,2
Perfil - BAC3				
A	95,3	1,9	1,7	274,2
CA	74,7	2,9	0,9	206,3
Cnz1	55,7	2,1	1,2	121,6
Cnz2	45,3	2,3	0,8	129,0
2Cnz	36,8	2,0	1,1	121,0
3Cvn	48,7	3,0	0,4	168,0
Perfil - BAC 04				
Agnz	1,7	1,3	0,2	577,4
Cgnz1	1,8	1,2	0,5	592,9
Cgnz2	0,8	0,7	0,3	396,5
2Cgnz	0,3	1,1	0,5	247,6
3Cgnz	0,5	0,9	0,6	72,6
4Cgnz	0,8	1,3	0,0	35,6
Máxima	95,3	4,0	2,6	592,9
Mínima	0,3	0,7	0,0	35,6
Mediana	36,8	1,9	0,8	168,0
DP	30,2	1,1	0,7	147,0
CV%	86,3	55,9	74,9	72,1

DP: Desvio Padrão; CV%: Coeficiente de variação

Os teores de Mn também foram elevados, principalmente no Planossolo Háplico e no Neossolo Flúvico. Este fato é justificado pela influência do material de origem e as condições de drenagem imperfeita, que condicionam a solubilização de compostos que contenham este metal. O zinco e cobre apresentaram os menores valores, além de distribuição errática, entre as camadas ou horizontes e entre os perfis. Segundo Chaves et al. (1998), em condições de pH ligeiramente alcalino, são baixos os teores de fósforo disponível, além de micronutrientes como o cobre e o zinco.

3.3 Classificação dos solos

De acordo com os resultados das análises morfológicas, físicas e químicas expressos acima e com a designação de atributos aos horizontes e camadas, foi possível classificar os solos até o quarto nível categórico do Sistema Brasileiro de Classificação dos solos, conforme mostrado na Tabela 17.

Tabela 17: Classificação dos perfis de solos com elevados teores de sais formados na Bacia do Rio Acaraú-CE.

Perfil	Classificação SiBCS
BAC1	VERTISSOLO HÁPLICO Sódico salino
BAC2	PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico
BAC3	NEOSSOLO FLÚVICO Sódico salino
BAC4	GLEISSOLO SÁLICO Sódico típico

O perfil BAC1 foi classificado, no primeiro nível categórico, como Vertissolo por apresentar horizonte vértico (C_{vn}, de 47-80 cm profundidade) associado à textura argilosa nos primeiros 20 cm. No segundo nível categórico, foi denominado Háplico, por não apresentar horizonte glei nem caráter ebânico; e Sódico salino (grande grupo e subgrupo) devido à presença de camadas com caráter sódico e salino.

Por apresentar horizonte B plânico, com mudança textual abrupta e cores de redução, associado à presença de caráter solódico apenas em maiores profundidades (98-140⁺ cm), o perfil BAC2 foi classificado como Planossolo Háplico. Os valores de saturação por bases foram maiores que 50 % na maior parte do horizonte B, portanto classificado como eutrófico no terceiro nível categórico. No quarto nível o solo foi classificado como solódico.

O perfil BAC3 apresentou o menor grau de desenvolvimento pedogenético e estratificação entre as camadas de sedimento fluviais, caracterizando um Neossolo Flúvico. Este perfil apresentou camadas com caráter sódico (Valor de saturação por sódio maior que 15%) e caráter salino (valor de condutividade elétrica maior que 7 dS m⁻¹) dentro da sessão de controle, permitindo classificá-lo como Sódico salino no terceiro e quarto níveis.

No perfil BAC4 foram identificadas camadas glei, evidenciando o maior grau de hidromorfismo devido a saturação por água deste solo na maior parte do tempo, permitindo classificá-lo como Gleissolo. É classificado como Sálco (subordem) devido os elevados valores de condutividade elétrica, cujos valores chegam a 178,6 dS m⁻¹ (horizonte Agnz). E como Sódico no terceiro nível categórico devido à presença do caráter sódico. Na categoria de subgrupo (quarto nível) foi classificado como típico por não se enquadrar em nenhuma das classes estabelecidas para este nível.

3.4 Teores de carbono, nitrogênio e fracionamento químico

Os teores de carbono orgânico (CO) foram baixos (Tabela 18), apresentando variação de 0,5 a 7,5 g kg⁻¹, com mediana de 3,8 g kg⁻¹; teores estes condizentes com estudos em solos do semi-árido brasileiro (CORRÊA, et al., 2003; PARAHYBA et al., 2010), reflexo da baixa densidade da vegetação e da baixa produção de biomassa. Além disso, a elevada temperatura favorece a mineralização da matéria orgânica do solo.

A distribuição irregular do conteúdo de carbono orgânico em profundidade no perfil de Neossolo é um indício de sua natureza aluvionar, pela deposição de diferentes camadas de sedimentos. Este fato lhe permite atribuir o caráter flúvico.

O Planossolo Háplico também apresenta esta característica, porém, com variações mais sutis nos valores de C em profundidade, assim como nos teores de areia, silte e argila. O que mostra que este solo vem sendo modificado pela ação de processos pedogenéticos, principalmente a translocação de argila, ao longo do tempo. Assim, o solo evoluiu pedogeneticamente da classe dos Neossolos Flúvicos para a dos Planossolos, até mesmo porque já é observado um horizonte B diagnóstico.

Com relação aos teores de C das substâncias húmicas, houve predomínio da fração húmica em detrimento das demais frações, tanto entre perfis como em profundidade. Estes valores indicam a prevalência de compostos com avançado grau de humificação e maior estabilidade, comumente associados à fração mineral do solo.

O baixo conteúdo de matéria orgânica e a velocidade com que os compostos orgânicos são mineralizados ou alterados para formas mais estáveis fez com que os teores de C_AF e de C_AH fossem muito baixos, até mesmo ausentes ($0,0 \text{ g kg}^{-1}$). Ainda a elevação do lençol freático e o fluxo das águas subterrâneas nos períodos chuvosos podem favorecer as perdas destes compostos.

De acordo com Benites et al. (2003), uma das formas de avaliar se há perda seletiva da fração solúvel (ácidos fúlvicos) é através da relação C_AH/C_AF. O horizonte 2E (Perfil BAC2) apresentou maiores valores desta relação (5,3) em virtude da textura arenosa, que facilita a mobilidade dos compostos orgânicos mais solúveis. Comportamento semelhante foi observado na camada 4Cgnz (2,4), no perfil BAC4.

Já os valores da relação EA/HUM foram menores que uma unidade (1,0), o que reflete o maior grau de humificação da matéria orgânica do solo. Além disso, estes valores estão relacionados com a perda de compostos orgânicos solúveis do sistema e a manutenção de compostos insolúveis, mais estáveis e com maior interação com a matriz do solo, neste caso, a humina.

A taxa de recuperação, calculada a partir da soma das três frações das substâncias húmicas e comparada aos teores de carbono orgânico, mostrou ampla variação, de 47 a 125%, fora dos limites propostos por Benites et al. (2003), que são de 90 a 105%.

Tabela 18: Valores de carbono das frações de substâncias húmicas, nitrogênio e relação C/N de solos formados na Bacia do Baixo Acaraú-CE.

Horiz.	Prof. (cm)	COT	C_HU C_AH C_AF C_EA				C_AH/ C_AF	C_EA/ C_HU	N g kg ⁻¹	C/N	TR%
			-----g kg ⁻¹ -----								
BAC1- VERTISSOLO HÁPLICO Sódico salino											
Apnz	0-(24-26)	7,5	5,4	0,4	0,6	1,0	0,6	0,2	0,6	12,6	85
CA	(24-26)-47	5,0	4,9	0,1	0,3	0,4	0,5	0,1	0,5	9,1	106
Cvn	47-80	3,3	3,7	0,0	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	10,8	119
2Cn	80-120 ⁺	0,5	0,2	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	0,0	11,5	47
BAC2- PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico											
A	0-20	5,0	4,0	0,6	0,4	1,0	1,5	0,2	0,5	10,2	100
2A	20-33	3,3	3,4	0,1	0,5	0,6	0,3	0,2	0,4	8,5	123
2E	33-50	0,8	0,5	0,1	0,0	0,1	5,3	0,2	0,1	7,5	70
2EB	50-60	1,4	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	8,3	111
2Bt1	60-71	4,7	4,9	0,1	0,3	0,4	0,4	0,1	0,5	9,2	112
2Bt2	71-98	3,7	3,9	0,1	0,2	0,3	0,4	0,1	0,4	8,9	112
2Btvnz	98-140 ⁺	4,8	5,6	0,1	0,3	0,3	0,3	0,1	0,5	9,4	125
BAC3- NEOSSOLO FLÚVICO Sódico salino											
A	0-16	4,2	3,6	0,2	0,3	0,5	0,5	0,1	0,4	9,7	97
CA	16-38	4,2	4,1	0,0	0,2	0,2	0,2	0,0	0,4	10,9	103
Cnz1	38-92	3,7	3,4	0,1	0,1	0,1	0,9	0,0	0,2	16,6	96
Cnz2	92-(125-140)	2,6	2,6	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,3	9,4	105
2Cnz	(125-140)-(150-160)	1,6	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	8,8	110
3Cvn	(150-160)-175 ⁺	2,5	2,3	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,3	9,0	95
BAC 04- GLEISSOLO SÁLICO Sódico típico											
Agnz	0-8	6,8	4,5	0,5	1,6	2,1	0,3	0,5	0,5	13,9	97
Cgnz1	8-32	3,0	1,8	0,1	0,8	0,9	0,1	0,5	0,3	10,7	92
Cgnz2	32-50	4,3	2,9	0,1	1,6	1,7	0,1	0,6	0,3	12,4	106
2Cgnz	50-72	4,8	3,3	0,3	1,5	1,7	0,2	0,5	0,3	17,3	105
3Cgnz	72-80	3,8	2,8	0,3	0,8	1,1	0,3	0,4	0,1	24,5	102
4Cgnz	80-110 ⁺	5,1	3,0	1,3	0,5	1,8	2,4	0,6	0,2	23,9	95

Máxima	7,5	5,6	1,3	1,6	2,1	5,3	0,6	0,6	24,5	125
Mínima	0,5	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,5	47
Mediana	3,8	3,4	0,1	0,3	0,4	0,3	0,1	0,3	10,2	103
DP	1,7	1,4	0,3	0,5	0,7	1,2	0,2	0,1	4,6	16,8
CV%	45,8	44,5	147,9	110,6	102,0	178,4	99,5	46,0	38,8	16,7

Corrêa et al. (2003), comparando o fracionamento químico com e sem tratamento em HCl 0,1 mol L⁻¹, também observou bastante variação entre estes valores, para ambos os tratamentos empregados, atribuindo este comportamento ao predomínio de argilominerais 2:1, que são capazes de formar complexos com a fração húmica do solo, favorecendo a polimerização e formação de compostos orgânicos de elevado peso molecular. Na análise de correlação entre C_{HU} e o teor de argila, foi obtida correlação positiva e significativa entre as variáveis, confirmando o citado pelos autores acima. Além disso, é possível que em virtude dos valores de C orgânico serem muito baixos, pequenas variações de seus teores e na somatória das frações resultem em grandes valores percentuais dessa diferença.

O N teve comportamento semelhante ao C, sendo observados teores baixos deste elemento, além da distribuição irregular em profundidade. A respeito da relação C/N, houve predomínio de valores próximos de 10, sendo observados no perfil BAC2 menores valores e em BAC4 os maiores valores para esta relação.

3.5 Ataque Sulfúrico

Como observado na Tabela 19, em todas as amostras de solo, os teores de SiO₂ foram maiores que os de Al₂O₃, resultando em valores de Ki elevados (> 3,0), indicando baixa perda de sílica do sistema. As condições climáticas nas regiões semi-áridas, com baixa precipitação pluviométrica, aliada à alta evapotranspiração e à deficiência de drenagem em decorrência da posição no relevo, resultaram na formação e predomínio de argilominerais 2:1 expansíveis em todos os solos estudados.

Tabela 19: Valores de Si, Al, Fe e Ti no ataque sulfúrico e relações em horizontes de solos na Bacia do Baixo Acaraú-CE.

Amostra	Prof.	g kg ⁻¹				Ki	Kr	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂			
BAC 01 Cvn	47-80	221	115	64	8,3	3,27	2,41	2,82
BAC 02 2Bt2	71-98	179	92	62	8,1	3,31	2,30	2,33
BAC 02 2Btvnz	98-140 ⁺	230	122	74	8,0	3,20	2,31	2,59
BAC 03 3Cvn	(150-160)-175 ⁺	175	83	63	7,4	3,58	2,41	2,07
BAC 04 Cgnz2	32-50	118	58	50	3,9	3,46	2,23	1,82

Os teores de Fe₂O₃ foram baixos e aproximadamente iguais entre os horizontes dos perfis, indicando perda deste composto no sistema por desferritização, condicionada pela drenagem deficiente. Este efeito é mais evidente no Gleissolo, com

drenagem mais restrita favorecendo a redução do Fe e eventual remoção no horizonte avaliado. Os teores de TiO_2 também mostraram-se baixos em todos os horizontes.

3.6 Difratomia de raio-X

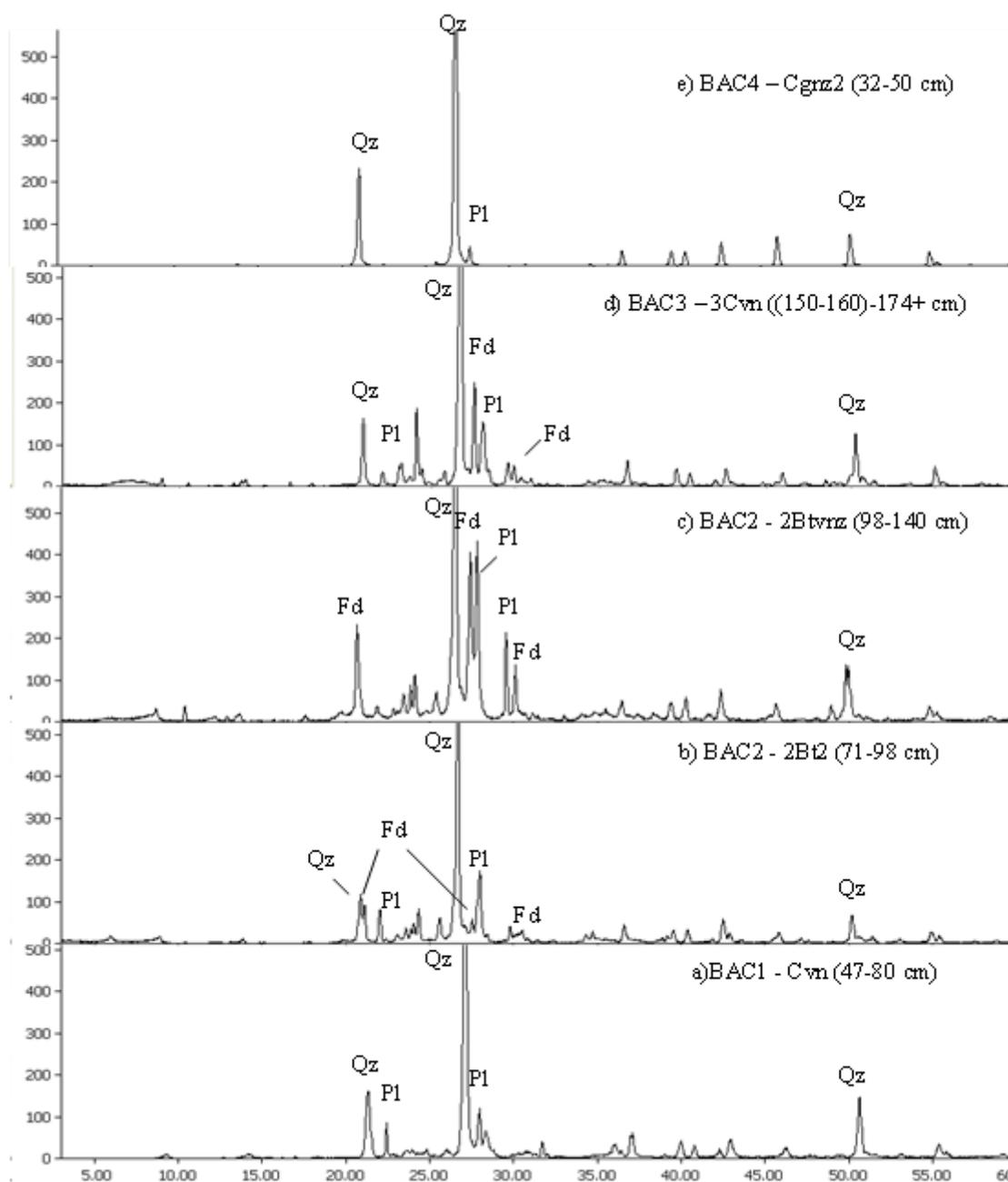
3.6.1 Fração areia

Nos horizontes onde foi avaliada a mineralogia, nos difratogramas de raio-X (Figura 22) o quartzo foi o principal mineral (0,424; 0,335; 0,213 e 0,182). Principalmente no perfil BAC4, em função dos sedimentos que deram origem a estes solos, em área adjacente ao mangue, no delta do rio Acaraú, portanto com maior proximidade do litoral e maior influência de sedimentos quartzosos marinhos. No horizonte Cvn do perfil BAC1 também predomina o quartzo, além de plagioclásios, já com padrões de alteração, identificados pelos picos principais de difração em 0,397, 0,319 e 0,314 nm; principalmente albita, indicando que a origem de rochas ácidas no material parental, o que também justifica os altos teores de Na nos solos.

Os horizontes do Planossolo Háptico (BAC2 - 2Bt2 e 2Btvnz) e do Neossolo Flúvico (BAC3 - 3Cvn) apresentaram outras fases minerais além do quartzo. No BAC2, os difratogramas dos horizontes 2Bt2 e 2Btvnz foram semelhantes, embora neste último o grau de cristalinidade tenha sido maior. Os minerais identificados foram plagioclásios (albita, labradorita, oligoclásio e bitownita) e feldspatos potássicos (microclínio = 0,420; 0,377; 0,330; 0,323 e 0,300 nm). No horizonte 3Cvn (Perfil 3), também foram observados plagioclásios como albita, andesina, labradorita e bitownita, além de feldspatos potássicos como microclínio e anortoclásio.

Estes perfis encontram-se próximos ao leito do rio, onde predomina rochas metamórficas do Pré-Cambriano, principalmente migmatitos, o que justifica parte dos plagioclásios. Parahyba et al. (2010), em estudos com Planossolos do Agreste pernambucano, observou o predomínio de quartzo e feldspatos nas frações silte e areia.

Figura 22: Mineralogia da fração areia de alguns horizontes e camadas de solos formados na Bacia do Baixo Acaraú-CE. Qz: Quartzo; Pl: Plagioclásios; e Fd: Feldspatos-K.



A origem do feldspato, apontado nos difratogramas, pode ser do embasamento cristalino que predomina na bacia, com ocorrência de materiais graníticos. A permanência deste mineral no sistema pode ser devida a sua menor superfície específica, que desfavorece a hidrólise e dissolução, de modo que este último processo é retardado quando os valores de pH são elevados, como os observados nestes solos (MARTINS & MARTINS, 2004).

A presença de minerais primários nos solos está relacionada com a diversidade litológica em toda a extensão da bacia do rio. Segundo Mota & Valladares (2010), em cerca de 90% da área da bacia do Acaraú, predominaram rochas ígneas e metamórficas com elevada resistência ao intemperismo. Os 10% restantes são formados por rochas sedimentares ou por sedimentos inconsolidados, em áreas do Grupo Barreiras e ao longo dos leitos dos rios. Nesses locais a maior parte dos materiais é transportada pela água durante os períodos onde o fluxo de água nos canais de drenagem é mais intenso.

Os resultados da mineralogia da fração areia confirmam a presença de importante reserva de elementos no solo, como o potássio (microclínio), o sódio e o cálcio (feldspatos calco-sódicos). Mas a intemperização e aumento dos teores destes elementos também são fatores agravantes para a salinização no ambiente semi-árido. O que exige maior rigor na adoção de práticas agrícolas, principalmente relacionadas à irrigação. Souza (1995), em estudos na Serra Talhada (PE), encontrou plagioclásios sódicos, provenientes do material de origem, na mineralogia da fração areia e silte. Segundo o autor a presença destes minerais favorece a sodificação pelo suprimento de Na no sistema, havendo uma tendência de acúmulo de sais no solo.

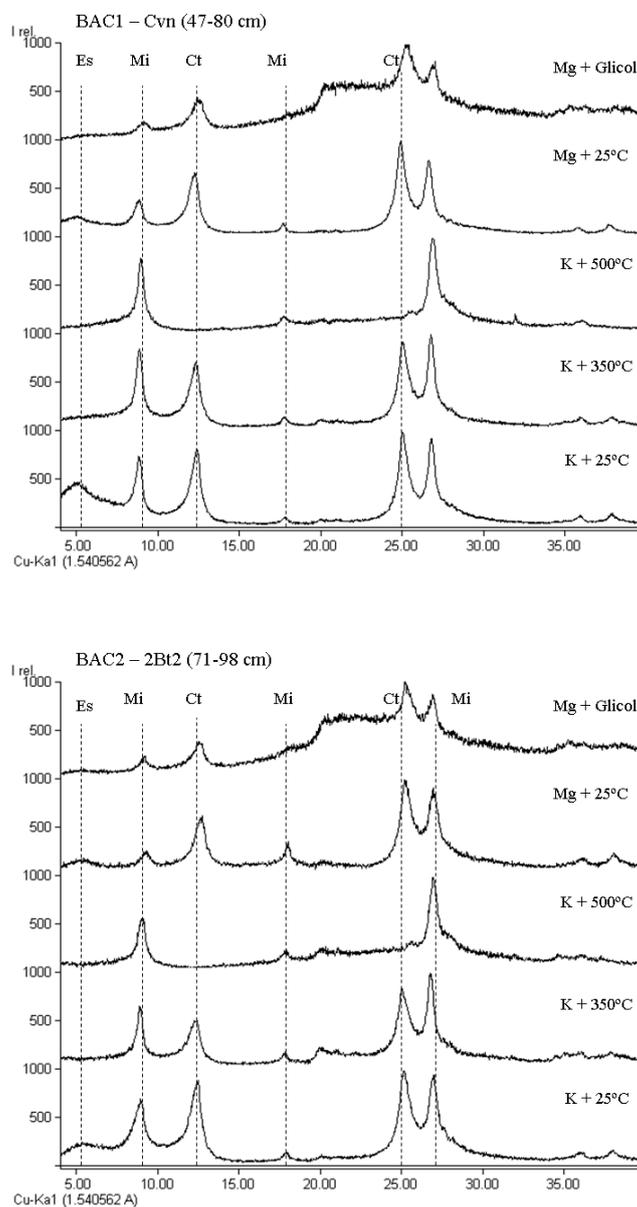
3.6.2 Fração argila

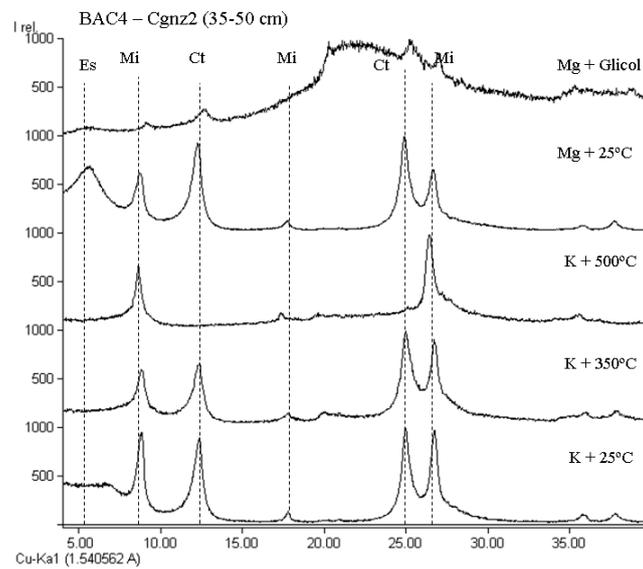
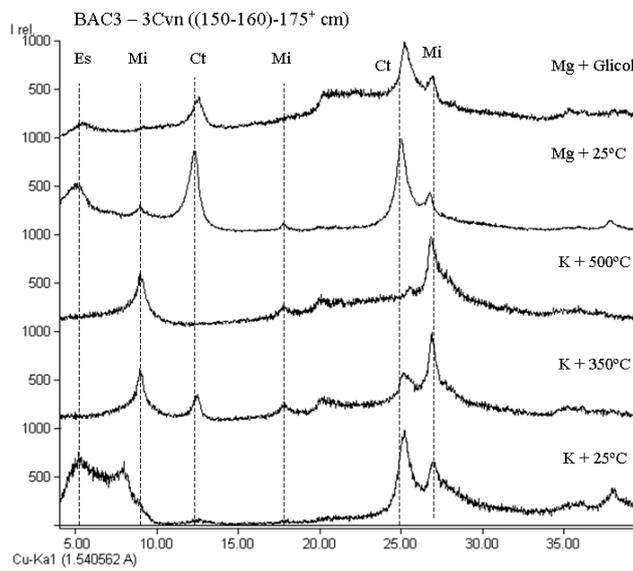
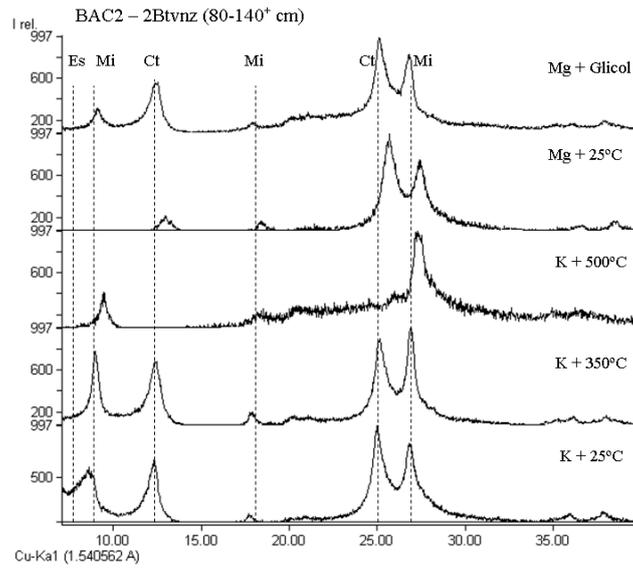
Com relação à mineralogia da fração argila (Figura 23) os horizontes apresentaram características bastante semelhantes. Assim, se pode interpretar que predominam condições herdadas do material de origem, com alterações quanto ao grau de cristalinidade e na quantidade dos minerais nas camadas de solo, de acordo com as condições do ambiente de formação.

Dentre os minerais de filossilicatos, foi identificada a caulinita (Ct), através dos picos 0,71 e 0,36 nm, que sofreram colapso e não apareceram nos difratogramas, quando as amostras foram saturadas com K e aquecidas a 500°C (DIXON, 1989). A caulinita é um mineral de argila de ampla ocorrência nos solos e sua formação se dá em diversos tipos de materiais de origem, a partir de alterações hidrotérmicas e do intemperismo de minerais como o feldspato. O horizonte 3C_{vn} do perfil BAC3 foi o que apresentou menor grau de cristalinidade das partículas, quando comparado aos demais horizontes avaliados, havendo maior expressão de filossilicatos 2:1, indicativo

de menor grau de desenvolvimento pedogenético, e sendo condizente com a classificação de Neossolo deste perfil.

Figura 23: Mineralogia da fração argila de alguns horizontes e camadas de solos formados na Bacia do Baixo Acaraú-CE. Ct: caulinita; Mi: Ilita; ES: Esmectita.





Outro filossilicato identificado nas amostras foi a illita (Mi) (1,04; 0,50 e 0,33 nm), mineral 2:1 do grupo das micas, cujas entrecamadas são preenchidas com K, fazendo com que não seja observada expansão ou contração do mineral. Foi observada, nas camadas dos perfis avaliados, uma assimetria basal e menor agudez dos picos de illita, indicando a transformação da mica em outros minerais (OLIVEIRA et al., 2004).

Além deste filossilicato, foi constatada a presença de esmectita, apontada pelo difratograma através dos picos a 1,4-1,5 nm, após tratamento com K, seguido de colapso parcial quando aquecida, além da expansão após saturação com glicol. A baixa pluviosidade, aliada à alta evapotranspiração, e neste caso, a condição de saturação do solo, onde ocorrem elevados teores de bases e menor perda de sílica, a formação de esmectita no solo é favorecida, a exemplo da camada Cgnz2 do perfil BAC4.

Os picos de esmectita nas camadas do perfil BAC2 (2Bt2 e 2Btvnz) indicam a menor expressão deste tipo de filossilicato na fração argila do solo, havendo o predomínio de illita e caulinita. Talvez esse comportamento indique a ocorrência da intemperização das esmectitas, formando caulinitas. Enquanto que a presença deste mineral de argila no perfil BAC1, em maior quantidade, confere ao solo grande capacidade de expansão e contração, favorecendo o fendilhamento, a formação das superfícies de compressão e fricção, além da dureza dos agregados. Corrêa et al. (2003), relatou composição mineralógica semelhante em Vertissolo da região de Souza-PB.

3.7 Micromorfologia

A descrição micromorfológica de horizontes selecionados é apresentada na Tabela 20 e nas Figuras 24, 25, 26 e 27.

O horizonte Cvn (BAC1) apresentou esqueleto (ou fração de material grosso) distribuído de forma aleatória, com grãos pobremente selecionados e comumente revestidos com argila não orientada e óxidos de ferro. Esta fração é representada principalmente pelo quartzo, seguido de feldspatos, além de outros minerais opacos não identificados, com padrões de alteração linear com algumas cariações (quartzo) e linear cruzada (feldspatos) (Figura 25a e 25b). A presença de minerais primários pouco intemperizados, mal selecionados e com formas mais angulares são evidências do baixo grau de intemperismo do material sedimentar do qual o solo foi formado.

O material fino, correspondente ao fundo matricial, apresentou orientação do tipo salpicada granida e estriada (poroestriada e granoestriada). Este material possui abundante teor de argila expansiva dispersa, havendo orientação deste material fino em áreas onde há compressão e expansão (entre agregados). Esta reorganização plasmática leva à formação de feições macroscópicas conhecidas como superfícies de compressão e fricção. O fendilhamento em períodos sazonais favorece o processo de pedoturbação, onde o solo das camadas mais superficiais é transportado para maior profundidade. Como efeito, o fundo matricial apresenta zonas mais heterogêneas que outras.

O tipo de microestrutura é em blocos angulares com fissuras e com trama porfírica. Ocorrem feições texturais de hiporrevestimento, possivelmente de compostos de ferro e manganês solúveis, translocados no perfil quando o solo está saturado por água e depois de secos, se depositam na superfície dos poros. Foram observados também nódulos ferruginosos, compostos por argila e grãos de quartzo. Alguns destes nódulos apresentaram limites difusos, com a ocorrência de alterações dos mesmos, indicando sua formação *ex situ*, onde foram transportados para o ambiente onde se encontram cujas condições são diferentes das de origem.

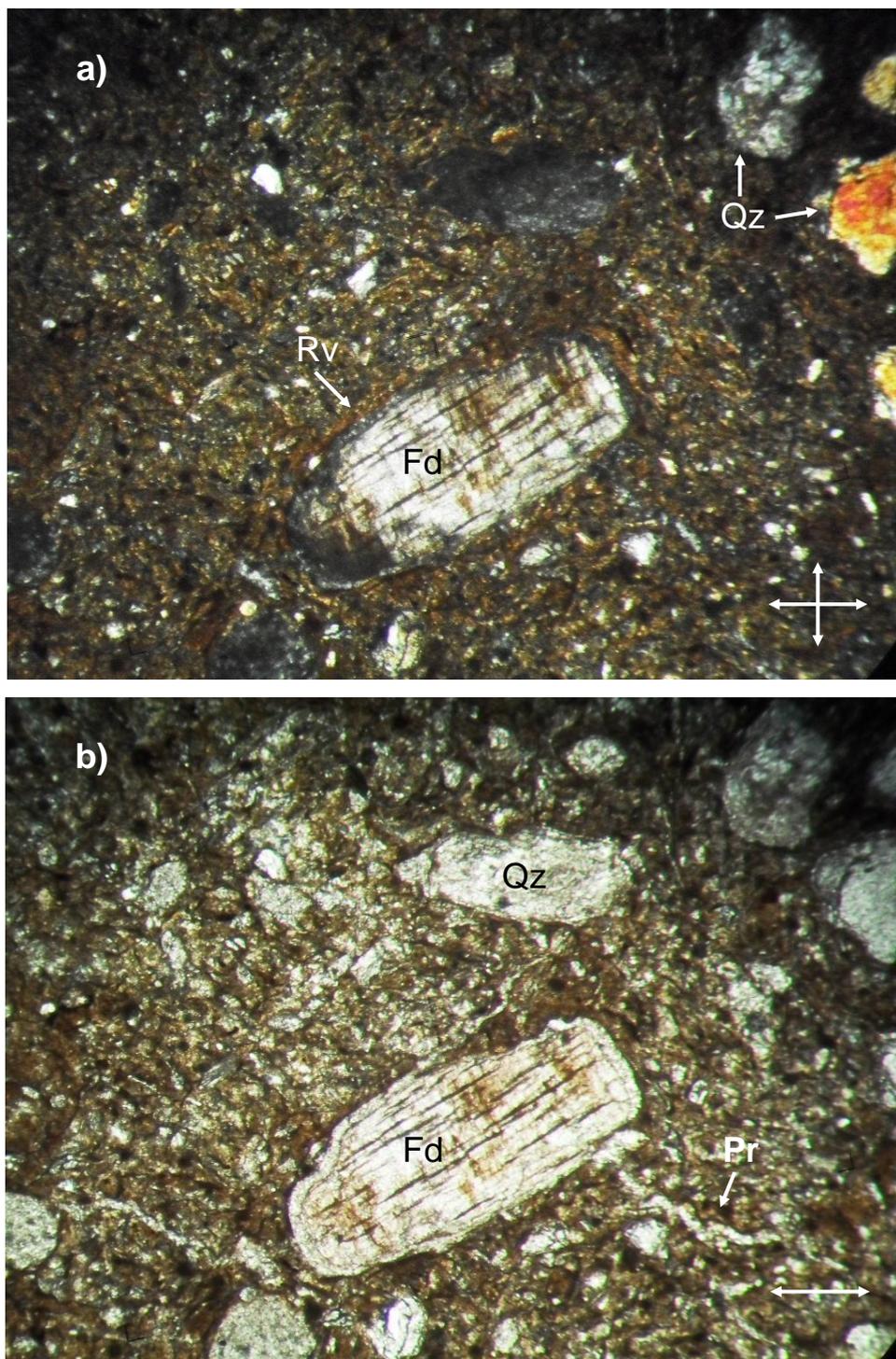
O horizonte B plânico (BAC2) apresenta material grosso com distribuição aleatória, composto principalmente por minerais de quartzo com melhor grau de seleção e de tamanho reduzido, quando comparados com o perfil anterior (figura 25a). Feldspatos estão presentes em maior grau de alteração entre outros minerais primários. Os sedimentos que formaram este solo foram acumulados ao longo do leito do rio Acaraú de forma gradual, onde a baixa energia fluvial favoreceu a seleção de materiais de granulometria mais fina.

O fundo matricial, composto por argila em menor proporção, apresentou orientação do tipo salpicada granida. Foram observadas zonas de concentração de Fe amorfo (Figura 25a e 25b), principalmente próximos de poros, identificando zonas de segregação e acúmulo de ferro oxidado. No campo, essas zonas se expressam na forma de pequenos mosqueados. Estas feições indicam a ocorrência de flutuações sazonais do nível do lençol freático e da saturação temporária do solo durante a sua gênese, condizentes com as características morfológicas que identificam os Planossolos. Também foram observados nódulos de contraste nítido e outros com contraste difuso por causa da liberação de ferro no fundo matricial. O tipo de microestrutura observada foi de blocos subangulares, com agregados fracamente desenvolvidos e com trama porfírica, e predomínio de poros em forma de canais e fissuras.

Tabela 20: Características micromorfológicas de solos formados na Bacia do Baixo Acaraú-CE

Horizonte (prof.)	Material grosso	Material fino	Microestrutura	Poros	Feições pedológicas
BAC 01 Cvn (47-80 cm)	20%; Pobremente selecionado, sendo: Quartzo 45%; Quartzitos 5%; Fesdspato 30% e outros opacos 10%.	50%; Argila de coloração bruno amarelado claro; Salpicada granida (70%); Poroestriadas e granoestria (30%).	Tipo: Blocos angulares com fissuras; Trama Porfírica; Blocos angulares; Fortemente desenvolvido, Acomodado.	30%; Sendo: Fissuras 65%; Câmaras 20%; Cavidades e canais 15%.	Revestimentos de argila e Fe amorfo; Hiporrevestimentos; Nódulos (2%) típicos, com ferro e quartzo. Contraste nítido e abrupto.
BAC 02 4Btvnz (98-140 cm)	40%; Perfeitamente selecionado, sendo: Quartzo 60%; Feldspato 30% e outros 10%.	30%; Argila de coloração amarelo oliváceo; Salpicada granida.	Tipo: Blocos subangulares; Trama Porfírica; Blocos subangulares Fracamente desenvolvido Parcialmente acomodado.	30%; Sendo: Canais 35%; Fissuras 30%; Cavidades 20%; e Câmaras 15%.	Revestimentos e Hiporrevestimentos; Preenchimento de poros com material aderente, denso completo (80%) e incompleto (20%); Nódulos (1%) típicos, com ferro e quartzo; Excrementos intactos, elipsóides.
BAC 03 3Cvn (155-175 cm)	30%; Pobremente selecionado, sendo: Quartzo 55%; Quartzitos 5%; Feldspatos 30%; e outros 10%.	50%; Argila de coloração bruno acinzentado.	Tipo: Blocos angulares; Trama Porfírica; Blocos angulares; Fracamente desenvolvido acomodado.	20%; Sendo: Canais 10%; Fissuras 30%; Cavidades 25%; e Câmaras 35%.	Hiporrevestimentos; Revestimentos com Óxidos de Ferro e argila; Nódulos (1%) típicos, com ferro, manganês e/ou quartzo.
BAC 04 Cnz2 (32-50 cm)	50%; Pobremente selecionado, sendo: Quartzo 70%; Quartzito 10%; 15% Feldspato e outros 5%	40% Argila de coloração bruno acinzentado. Salpicada granida e mosaico.	Tipo: Maciça; Trama Porfírica.	10%, Sendo: Canais 40%; e Cavidades 60%.	Nódulos típicos composto por Fe amorfo e quartzo; Hiporrevestimentos de ferro.

Figura 24: Feições pedológicas da camada Cvn (perfil BAC1), distribuídas no fundo matricial, observadas em luz polarizada (a) e luz natural (b). Fd: Feldspato; Rv: Revestimento; Qz: Quartzo; Pr: Poros.



Outra feição observada, embora em pequena quantidade, foram os revestimentos de argila, depositadas na superfície de poucos agregados e poros, porém sem orientação (Figura 25a). Essa feição é um indício da ocorrência da translocação de

argilominerais dos horizontes superficiais e acúmulo destes em profundidade, evidenciando o processo de eluviação e iluviação e contribuindo desta forma com o aumento do gradiente textural. Parahyba et al. (2010), estudando a pedogênese em Planossolos do agreste pernambucano, não identificaram revestimentos de argila nos horizontes Bt, justificando o fato pela destruição destas feições devido ao movimento das argilas no solo e as características inerentes de alta atividade e expansividade. Estes autores, juntamente com Mota & Oliveira (1999) e Parahyba et al. (2009), afirmam ainda que o incremento de argila em horizonte Bt de Planossolos pode ocorrer através de alterações *in situ* dos minerais primários. A feição de excremento, assim como a grande quantidade de canais identificados nessa lâmina, mostra a importância da atividade biológica neste solo, mesmo em grande profundidade (98 a 140 cm).

O horizonte do perfil BAC3 (3Cvn), correspondente ao Neossolo Flúvico, apresentou material grosso pobremente selecionado, de distribuição aleatória e predomínio de quartzo com formato subhedral (Figura 26a e 26b). Assim como discutido em BAC1, este perfil apresenta condições semelhantes de gênese, visto que está situado ao longo do curso de um rio intermitente da região.

O fundo matricial apresenta argila com padrão de orientação salpicada granida. Também foi identificada microagregação do tipo blocos subangulares fracamente desenvolvida com trama porfírica. Estas características são condizentes com o baixo grau de desenvolvimento pedogenético desse solo, sem o desenvolvimento de agregados estáveis, como observado no campo.

Sobre a influência do predomínio de argilominerais 2:1, que condiciona a contração e expansão do material do solo, os poros em forma de fissuras foram predominantes, onde a junção entre fissuras com outros poros possibilitou a formação de câmaras. De acordo com Oliveira et al (2004) e Parahyba et al. (2010) a presença de minerais expansivos em grandes quantidades, associados a ciclos alternados de umedecimento e secagem, são capazes de gerar perturbações na massa do solo que podem destruir parte dos revestimentos de argila. Esta afirmativa justifica a presença de poucas áreas com essas feições.

Na parede de alguns poros foram observadas feições de hiporrevestimento, possivelmente de compostos ferro e manganês, conferindo-lhes coloração brunada, mais escura que o fundo matricial (Figura 26b). Embora em menor quantidade, foram descritos nódulos, alguns contendo grãos de quartzo e outros puros, compostos por ferro e possivelmente manganês, devido aos elevados teores deste metal (Tabela 16).

Figura 25: Feições pedológicas do horizonte 2Btvnz (perfil BAC2), distribuídas no fundo matricial, observadas em luz polarizada (a) e luz natural (b). Rv: Revestimento; Pr: Poros; Hp: Hiporrevestimentos; Nd: Nódulos.

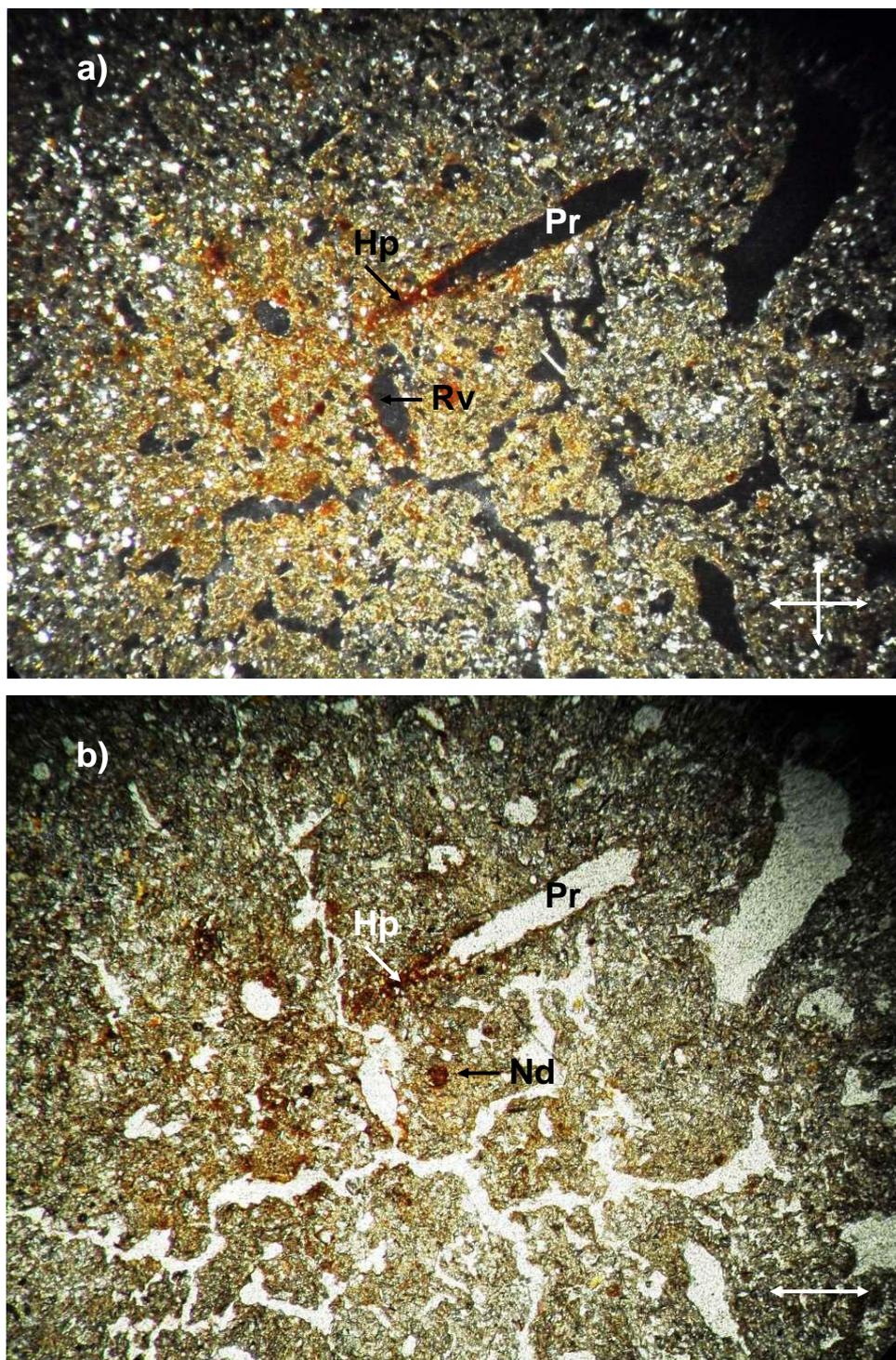
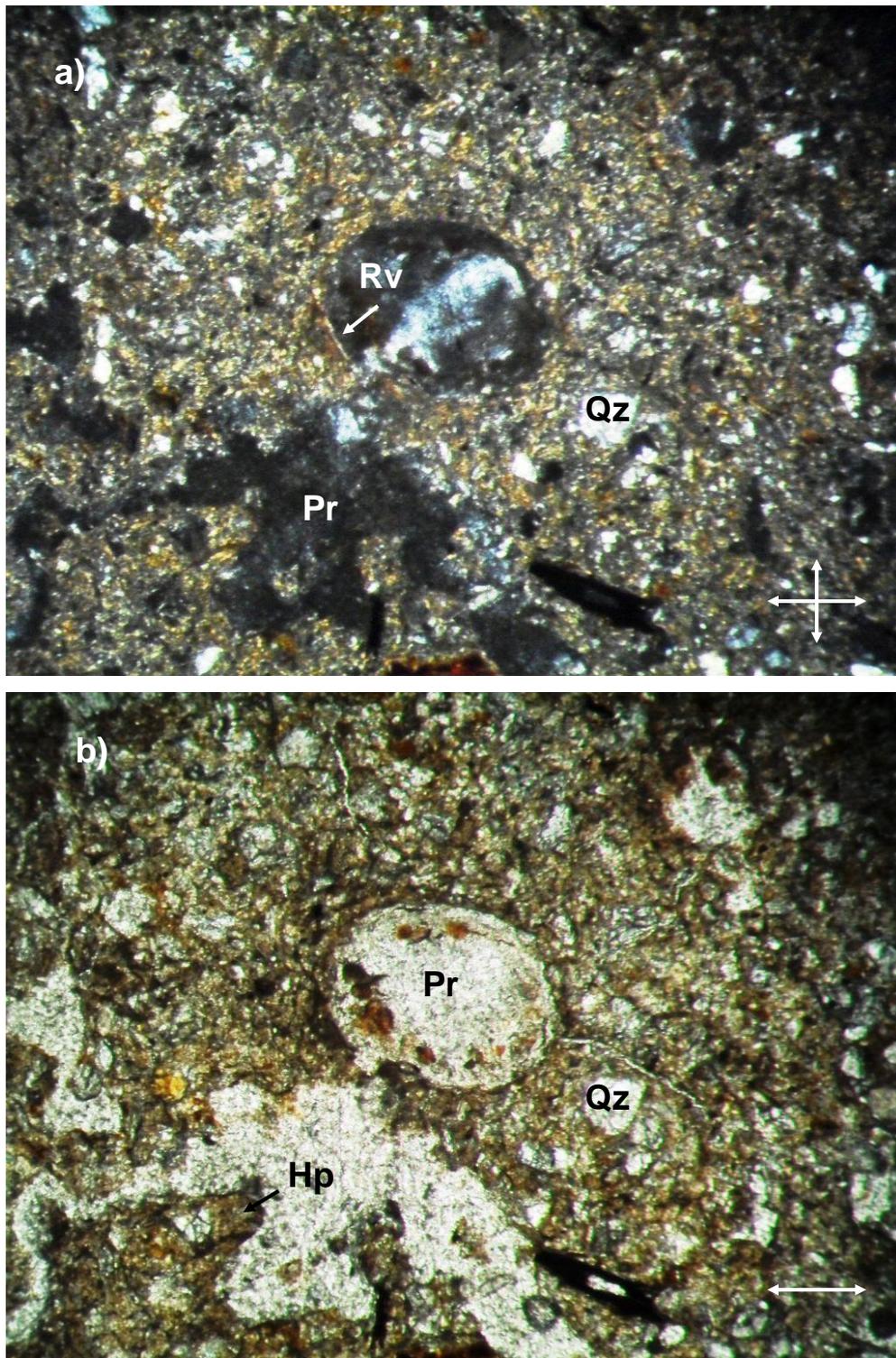


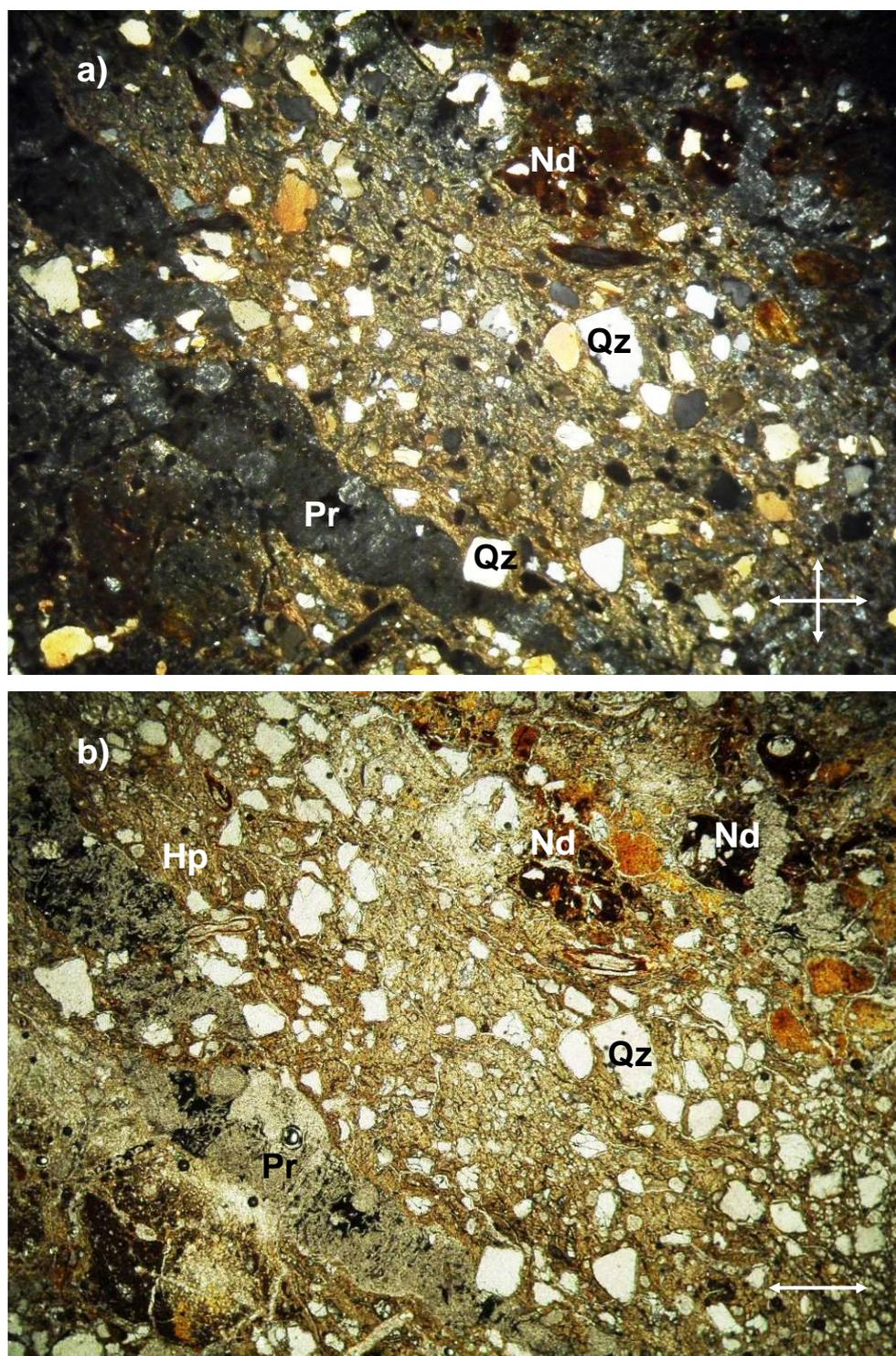
Figura 26: Feições pedológicas da camada 3Cvn (perfil BAC3), distribuídas no fundo matricial, observadas em luz polarizada (a) e luz natural (b). Rv: Revestimento; Qz: Quartzo; Pr: Poros; Hp: Hiporrevestimentos.



Na paisagem próxima do litoral, com maior influência marinha, onde está o perfil BAC4, Gleissolo, observa-se na lâmina da camada Cgnz2, que o material grosso é composto predominantemente por quartzo não selecionado, com formas mais angulares (hedral e subhedral) e sem padrão de distribuição (Figura 27a). A trama do material foi descrita como porfírica, com estrutura maciça, com poucos poros do tipo cavidades e canais, o último formado por raízes da vegetação rasteira, com predomínio de Poaceas.

O material fino, composto por argila, apresentou distribuição irregular, com zonas de concentração plasmática e distribuição do tipo salpicada granida e mosaico. A falta de organização do material presente no fundo matricial, assim como o tipo de microestrutura e o grau de seleção do material grosso caracterizam solos com baixo grau de desenvolvimento pedogenético, retardado pela condição de saturação. Associadas às zonas de concentração de material fino, ocorre também a presença de formas de Fe amorfo de coloração bruno-avermelhada. Estas áreas são características de segregação de ferro, havendo a formação de mosqueados e pequenos nódulos, além de hiporrevestimentos de Fe (Figura 27b).

Figura 27: Feições pedológicas da camada Cgnz2 (perfil BAC4), distribuídas no fundo matricial, observadas em luz polarizada (a) e luz natural (b). Qz: Quartzo; Pr: Poros; Nd: Nódulos; Hp: Hiporrevestimentos; Fm: Fundo matricial.



3.8 Gênese dos solos aluviais

De acordo com os resultados obtidos, foi proposto o ordenamento dos perfis avaliados com base no ambiente de formação. A área localizada mais distante da foz do rio Acaraú, e em maior altitude (25m), foi a do o perfil de Neossolo Flúvico, que apresentou o menor grau de pedogênese comparada aos demais perfis. A alternância de períodos de seca prolongada e chuvas torrenciais, associadas à erosão natural do solo e o transporte deste material pela água, podem ter levado ao assoreamento de um dos cursos do rio e a formação desta ilha fluvial. Por estas condições, a área ainda apresenta relativa instabilidade, com forte influência do regime hídrico, que consiste em um processo dinâmico que ocorre ao longo do período de evolução do rio na paisagem.

Um pouco mais abaixo na paisagem (23m), em área contígua ao perfil de Neossolo Flúvico, está o perfil de Planossolo Háptico. Ele se encontra em terraço fluvial, conceitualmente um terreno de geomorfologia mais antiga, e embora esteja próximo ao leito do rio, sua posição em cota mais elevada (em relação ao curso do rio) confere maior estabilidade, se comparado ao perfil anterior. As condições em que este perfil se encontra favoreceram a maior expressão do processo pedogenético dos sedimentos depositados, sendo considerado o perfil mais evoluído, quando comparado aos demais. As feições de revestimentos de argila observadas na lâmina delgada de solo, além da mudança textural abrupta e do incremento de argila em subsuperfície evidenciam o processo de lessivagem neste perfil. Além disso, os dados de mineralogia dos seus horizontes mostram maior grau de alteração da assembléia mineralógica.

Caminhando em direção à foz do rio Acaraú, encontra-se o perfil de Vertissolo, em cota mais baixa (7m) que os dois anteriores. Este solo também foi formado através da deposição de sedimentos ao longo de um riacho intermitente, e quando comparada a micromorfologia dos perfis de Neossolo e de Vertissolo, se observam semelhanças quanto ao tipo de material grosseiro e de microestrutura. No entanto, o Vertissolo apresentou melhor agregação, característica observada também no campo. As características da assembléia mineralógica de ambos os solos foram semelhantes, reflexo do material de formação em comum, e o Neossolo apresenta material com maior grau de cristalinidade da fração areia e maior valor k_i . Estas características indicam a mesma origem desses solos, com maior grau de pedogênese no Vertissolo. Devido às condições geomorfológicas, além da área de Vertissolo permanecer inundada em períodos sazonais, ela possui forte influência do mar pela

proximidade da costa. Estas condições interferiram diretamente nas suas características morfológicas, físicas e químicas, observadas principalmente pela elevada salinidade.

Por fim, mais próximo à foz do rio Acaraú, em campo salino a cerca de 6m de altitude, localiza-se o perfil de Gleissolo Sáfico. Esse perfil tem a pedogênese fortemente influenciada pelo relevo, favorecendo o hidromorfismo (lençol freático elevado) e o fornecimento de sais pela proximidade com o mar. O material de origem é formado principalmente por sedimentos arenosos, resultantes da constante dinâmica entre a frente de agradação e degradação marinha e fluvial, que levou à formação da planície flúvio-marinha. O quartzo predomina na fração areia e observa-se maior grau de cristalinidade dos minerais da fração argila. Porém, essa característica se deve à saturação do solo, que favoreceu a formação dos minerais 2:1, presentes em maior abundância no Cgnz2, como indicado no difratograma de raios-X.

Desta forma, a evolução dos solos é condicionada pela geomorfologia, que favoreceu a maior ou menor atuação dos processos de formação, e segue a seguinte sequência: Neossolo < Vertissolo < Gleissolo < Planossolo.

Devido à representatividade dos solos estudados na paisagem, pode-se dizer que compõem áreas de grande fragilidade ambiental, e devida à proximidade com os cursos d'água apresentam elevada salinidade e por vezes sofrem inundações, além da baixa velocidade de infiltração de água e da elevação sazonal do lençol freático. No entanto são áreas de grande importância social, visto que são usadas pela população local, seja para o cultivo de lavouras de subsistência e/ou extração de recursos naturais, como madeira, folhas e cera de carnaúba. Portanto, apesar de serem em geral recomendadas como áreas de preservação permanente, pelo alto risco de degradação desses solos e dos ecossistemas associados, contituem-se em áreas de conflito de uso pelas demandas da população local.

4 CONCLUSÃO

- a) As características morfológicas, o baixo grau de flocculação e a estratificação, associadas a algumas feições micromorfológicas, indicam a natureza alóctone do material de formação dos solos (aluvionar).
- b) Os perfis apresentaram, em algum horizonte ou camada, a expressão do caráter sódico ou solódico, assim como do caráter salino ou sáfico, em função da influência marítima e do lençol freático que também fornece sais por efeito da capilaridade. O

excesso de sais nos solos pode causar desbalanço entre os nutrientes para as plantas.

- c) O tipo de material de origem exerceu forte influência, sobre tudo, nas propriedades químicas dos solos. A assembléia mineralógica da fração areia, composta por plagioclásios e feldspatos potássicos, além do quartzo, pode ser responsável pelo fornecimento de parte dos sais presentes no solo, pelo intemperismo químico, além de atuar como importante reserva de nutrientes.
- d) Os processos pedogenéticos e a evolução dos solos na paisagem são condicionadas, principalmente, pela geomorfologia. Assim, o Planossolo Háptico apresentou o maior desenvolvimento pedogenético em relação aos demais perfis, seguido pelo Gleissolo Sáfico, Vertissolo Háptico e, por último, o Neossolo Flúvico.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENITES, V.M.; MADARI, B.; MACHADO, P.L.O.A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos (Comunicado Técnico, 16), 2003. 7 p.
- BREEMEN, N.V.; BUURMAN, P. **Soil formation**. 2. ed. Dordrecht, Kluwer Academic, 2002. 404 p.
- BULLINGER-WEBER, G & GOBAT J.M. Identification of facies models in alluvial soil formation: The case of a Swiss alpine floodplain. **Geomorphology**. v. 74, p. 181-195. 2006.
- BULLOCK, P.; FEDOROFF, N.; JONGERIUS, A.; STOOPS, G.; TURSINA, T. **Handbook for soil thin section description**. Albrighton: Waine Research Publication, 1985. 152 p.
- CASTRO, S.S.; COOPER, M.; SANTOS, M.R.; VIDAL-TORRADO, P. Micromorfologia do solo: bases e aplicações. *In*: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S.; ALVAREZ, V.H. (Ed). **Tópicos em ciência do solo**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.3, 2003, p. 107-164.
- CHAVES, L.H.G.; MENINO, I.B.; ARAÚJO, I.A.; CHAVES, I.B. Avaliação da fertilidade dos solos das várzeas do município de Sousa, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 3, p. 262-267, 1998.
- CHHABRA, R. **Soil salinity and water quality**. Rotterdam, A.A. Publishers, 1996. 283p.
- CORRÊA, M. M.; KER, J. C.; MENDONÇA, E. S.; RUIZ, H. A.; BASTOS, R. S. Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região das várzeas de Sousa (PB). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p.311-324, 2003.
- DINIZ, S.F.; MOREIRA, C.A.; CORRADINI, F. A. Susceptibilidade erosiva do baixo curso do rio Acaraú-CE. **Geociências**, v. 27, n. 3, p. 355-367, 2008.
- DIXON, J.B. Kaolin and Serpentine group minerals. *In*: DIXON, J.B.; WEED, S.B. (eds.). **Mineral in soil environments**. 2. ed. Madison, Soil Science Society of America, 1989.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. EMBRAPA/SNLCS. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- MARTINS, J.C.; MARTINS SOUZA, E. **Revisão de intemperismo de micas**. Documentos, Embrapa, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Planaltina- DF, 2004. 47 p.
- MEIRELES, A.J.A.; ARRUDA, M.G.C.; GORAYEB, A.; THIERS, P.R.L. integração dos indicadores geoambientais de flutuação do nível do mar e de mudanças climáticas no litoral cearense. **Mercator** - Revista de Geografia da UFC, ano 4. v. 8. p. 109-134. 2005.
- MIRANDA, M.F.A.; PESSOA, L.G.M.; FREIRE, M.B.G.S.; FREIRE, F.J. Correção de solo salino-sódico com soluções de cloreto de cálcio cultivado com sorgo sudanense. **Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 5, p.18-25, dez. 2008.

- MOREIRA, E.G.S.; DEMATTÊ, J.L.I.; MARCONI, A. Caracterização e gênese de solonetz solodizado do sertão central e do médio Jaguaribe - Estado do Ceará. **An. ESALQ**, Piracicaba, v. 46, n. 2, p.319-341, 1989.
- MOTA, L.H.S.O.; VALLADARES, G.S. Vulnerabilidade à degradação dos solos da Bacia do Acaraú, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p. 39-50, jan/mar, 2011.
- MOTA, F.O.B.; OLIVEIRA, J.B. Mineralogia de solos com excesso de sódio no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 799-806, 1999.
- NASCIMENTO, F.R.; CUNHA, S.B.; SOUZA, M.J.; CRUZ, M.L.B. Diagnóstico Geoambiental da bacia hidrográfica semi-árida do Rio Acaraú: subsídios aos estudos sobre desertificação. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 28, n. 1, p. 41-62. jan/jun, 2008.
- OLIVEIRA, L.B.; RIBEIRO, M.R.; FERRAZ, F.B.; JACOMINE, P.K.T. Classificação de solos Planossólicos do Sertão do Araripe (PE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 685-693, 2003.
- OLIVEIRA; L.B.; RIBEIRO, M.R.; FERRAZ, F.B.; FERREIRA, M.G.V.X.; MERMUT, A.R. Mineralogia, micromorfologia e gênese de solos planossólicos do Sertão do Araripe, Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 665-678, 2004.
- OLSEN, S.R.; COLE, C.V.; WATANABE, F.S.; DEAN, L.A. **Estimation of available phosphorus in soils extraction with sodium bicarbonate**. Washington, USDA (Circular, 939), 1954. 19 p.
- PARAHYBA, R.B.V.; SANTOS, M.C.; ROLIM NETO, F.C. Evolução quantitativa de Planossolos do Agreste do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 991-999, 2009.
- PARAHYBA, R.B.V.; SANTOS, M.C.; ROLIM NETO, F.C.; JACOMINE, P.K.T. Pedogênese de Planossolos em topossequência do agreste pernambucano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1991-2000, 2010.
- RADAMBRASIL, Projeto. Folhas SA-24 Fortaleza e SB-24 Jaguaribe. Geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra (Levantamento de Recursos Naturais 2 e 3). Rio de Janeiro, 1973.
- RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K.J. **Sistema de Avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3. ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 1995. 65 p.
- RIBEIRO, M.R.; FREIRE, F.J.; MONTENEGRO, A.A.A. Solos halomórficos no Brasil: caracterização, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. *In*: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.L.; LOPES, A.S.L.; ALVAREZ, V.H.V. (Org.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, v. 3. 2003. p.165-208.
- RUIZ, H.A; SAMPAIO, R.A; OLIVEIRA, M; FERREIRA P.A. Características físicas de solos salino-sódicos submetidos a parcelamento da lâmina de lixiviação. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**. v. 6, n. 3, p.1-12, 2006.
- SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C. e ANJOS, L.H.C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. Vicosa, SBCS, 2005. 100 p.
- SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; OLIVEIRA, J.B.; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F.; CUNHA, T.J.F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

SOBRINHO, J.F. A compartimentação geomorfológica do Vale do Acaraú: distribuição das águas e pequeno agricultor. **Mercator**, n. 10, p. 91-110, 2006.

SOUZA, M.J.N. **Projeto Áridas**. Fortaleza, Secretaria de Planejamento do Estado do Ceará, v. 2, p. 143-162, 1995.

SOUZA, M.J.N.; LIMA, F.A.M.; PAIVA, J.B. Compartimentação topográfica do Estado do Ceará. **Ciência Agrônômica**, v. 9, p. 77-86, 1979.

SUDEC/DNOCS. **Levantamento de reconhecimento dos solos de parte do Vale Acaraú**. Fortaleza: SUDEC, 1974. 183 p.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais** (Boletim Técnico, 5). Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p.

VALLADARES, G.S. Caracterização química e granulométrica de solos do Golfão maranhense. **Acta Amazônica**, v. 39 n. 4, p. 923-934, 2009.

ANEXOS

1 DESCRIÇÃO GERAL DOS PERFIS DE SOLO

PERFIL Nº: CE1

CLASSIFICAÇÃO: ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO Hêmico solódico.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: 38° 34' 23" W; 3° 44' 21" S

LOCALIZAÇÃO: Campus do PICI/UFC (Fortaleza-Ceará); Próximo ao açude e ao departamento de piscicultura.

SITUAÇÃO E DECLIVE: Várzea de inundação nos períodos de chuva. Declive de 0-2%.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Sedimentos Argilosos e Orgânicos.

PERÍODO: Holoceno / Quaternário.

RELEVO LOCAL / REGIONAL: Plano / Plano.

VEGETAÇÃO: Planície com tifáceas, gramíneas e convolvuláceas lianas.

USO ATUAL: Área sem uso definido; Presença de frutíferas nas proximidades.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Mal drenado.

PEDREGOSIDADE / ROCHOSIDADE: Ausentes.

CLIMA: Aw⁷ - Tropical chuvoso.

DESCRITO E COLETADO POR: Rafael Cipriano da Silva e Gustavo Souza Valladares.

DATA: 21/09/2010

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Hdo1- 0 – 8 cm, bruno-muito-escuro (10YR 2/2, úmida); orgânica, moderada pequena granular; muito friável, ligeiramente plástica e não pegajosa; transição plana e clara.

Hdo2- 8 – 21 cm, bruno-escuro (10YR 3/3, úmida); orgânica, fraca pequena granular e com restos vegetais; muito friável, ligeiramente plástica e não pegajosa; transição plana e clara.

Hoj- 21 – 40 cm, bruno-escuro (10YR 3/3, úmida), que se oxida mudando para cinzento-muito-escuro (10 YR 3/1); orgânica, maciça com fibras, muito friável, ligeiramente plástica e não pegajosa; transição ondulada e clara.

Cg1- 40 – 50 cm, cinzento-muito-escuro (N 3/, úmida); franco-argilosa, maciça com poucas fibras, friável, plástica e muito pegajosa.

Cg2- 50 – 85⁺ cm, cinzento-muito-escuro (N 3/, úmida), argila, maciça; friável, plástica e muito pegajosa.

RAÍZES

Hdo1 - muitas e finas; Hdo2 - muitas e finas; Hoj - Raras e finas.

OBSERVAÇÕES

Lençol freático a 41 cm de profundidade; Cg2 – Coletado com trado.

PERFIL Nº: CE2

CLASSIFICAÇÃO: ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico terriço.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: 38° 34' 54" W; 3° 44' 32" S

LOCALIZAÇÃO: Campus do PICI/UFC (Fortaleza-Ceará); Próximo à Caprinocultura, Dpto de Zootecnia.

SITUAÇÃO E DECLIVE: Várzea de inundação próxima ao curso de um córrego e nas adjacências de um mangue. Declive de 0-2%.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Sedimentos de origem vegetal sobre material mineral argilo-arenoso.

PERÍODO: Holoceno / Quaternário.

RELEVO LOCAL / REGIONAL: Plano / Plano.

VEGETAÇÃO: Presença de Tifáceas espontâneas, pastagem plantada sem manejo e anuais.

USO ATUAL: Pastejo de caprinos (área em pouso).

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Mal drenado.

PEDREGOSIDADE / ROCHOSIDADE: Ausentes.

CLIMA: Aw⁷ - Tropical chuvoso.

DESCRITO E COLETADO POR: Rafael Cipriano da Silva e Gustavo Souza Valladares.

DATA: 28/09/2010

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Agp- 0 – 11 cm, preto (5YR 2,5/1, úmida) e bruno-escuro (10YR 3/3, seca); orgânica, fraca a moderada muito pequena granular e com presença de fibras; muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

Hdo- 11 – 30 cm, cinzento-muito-escuro (N 3/, úmida) e bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2, seca); orgânica, maciça com fibras vegetais; muito friável, ligeiramente plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta.

Ho- 30 – 47 cm, bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/3, úmida), que se oxida mudando para preto (5YR 2,5/1, úmida); orgânica, maciça com fibras; muito friável, ligeiramente plástica e não pegajosa; transição plana e clara.

Hd- 47 – 52 cm, cinzento-muito-escuro (10YR 3/1, úmida), que se oxida mudando para cinzento-muito-escuro (N 3/, úmida); orgânica, maciça com fibras; muito friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e abrupta.

Cg- 52 – 100⁺ cm, coloração variegada composta de cinzento-claro (10YR 7/1, úmida) com cinzento-muito-escuro (N 4/, úmida); franco-argilo-arenosa, maciça, grãos simples, solta, não plástica e não pegajosa.

RAÍZES

Agp - Muitas e finas; Hdo - Comum e finas; Ho e Hd – Raras.

OBSERVAÇÕES

Lençol freático 40 cm de profundidade.

PERFIL Nº: RN1

CLASSIFICAÇÃO: ORGANOSSOLO HÁPLICO Fábriico típico.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: 35° 23' 57" W; 5° 36' 21" S

LOCALIZAÇÃO: Município de Ceará-Mirim. Distrito de Alagadiço, Rio Grande do Norte.

SITUAÇÃO E DECLIVE: Planície de inundação. Declive de 0-1%.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Sedimentos de origem vegetal substrato argiloso.

PERÍODO: Holoceno / Quaternário.

RELEVO LOCAL / REGIONAL: Plano / Plano.

VEGETAÇÃO: Predominantemente tifáceas.

USO ATUAL: Área em pousio, com plantio de cana-de-açúcar a mais de 10 anos.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Mal drenado com drenos artificiais.

PEDREGOSIDADE / ROCHOSIDADE: Ausentes.

CLIMA: As⁷ - Tropical chuvoso quente e úmido.

DESCRITO E COLETADO POR: Rafael Cipriano da Silva e Gustavo Souza Valladares.

DATA: 23/09/2010

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Hdp1- 0 – 9 cm, preto (N 2/, úmida e seca); argila/orgânica, forte pequena a muito pequena blocos subangulares que se desfaz em pequena granular; muito dura, friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

Hdp2- 9 – 26 cm, preto (N 2/, úmida e seca); argila/orgânica, maciça; muito dura, friável, muito plástica e pegajosa; transição plana e clara.

Hdo1- 29 – 50 cm, vermelho-escuro-acinzentado (2,5YR 3/2, úmido), que se oxida mudando para cinzento muito escuro (10YR 3/1, úmida), orgânica; maciça com fibras; friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.

Hdo2- 50 – 150⁺ cm, bruno-acinzentado-muito-escuro (10YR 3/2, úmida), que se oxida mudando para cinzento-muito-escuro (10YR 3/1, úmida); orgânica, maciça com fibras; friável, ligeiramente plástica e não pegajosa.

RAÍZES

Hdp1 e Hdp2 – Poucas e finas; Hdo1 e Hdo2 – Raras.

OBSERVAÇÕES

Lençol freático encontra-se a aproximadamente 30 cm de profundidade; Na profundidade de 70 – 150 cm, a coleta foi feita com trado; Hdo1 e Hdo2 apresentam restos vegetais pouco decompostos.

PERFIL N°: RN2

CLASSIFICAÇÃO: ORGANOSSOLO HÁPLICO Fábriico típico.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: 35° 24' 46" W; 5° 22' 27" S

LOCALIZAÇÃO: Município de Rio do Fogo, Destricto de Punaú. Rio Grande do Norte.

SITUAÇÃO E DECLIVE: Planície de inundação, declive de 0-2%.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Sedimentos de origem vegetal.

PERÍODO: Holoceno / Quaternário.

RELEVO LOCAL / REGIONAL: Plano.

VEGETAÇÃO: Predominantemente tifáceas.

USO ATUAL: Área com plantio de abóbora, além de mandioca e bananeiras. Mais de 35 anos de uso.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Mal drenado. Implantação de drenos artificiais para manter o lençol freático a aproximadamente 40 cm.

PEDREGOSIDADE / ROCHOSIDADE: Ausentes.

CLIMA: As' - Tropical chuvoso quente e úmido.

DESCRITO E COLETADO POR: Rafael Cipriano da Silva e Gustavo Souza Valladares.

DATA: 23/09/2010

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Hdp- 0 – 13 cm, preto (N 2/, úmida), cinzento-muito-escuro (10YR 3,5/1, seca); orgânica, moderada pequena granular; muito dura, friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

Hdo- 13 – 26 cm, vermelho muito escuro-acinzentado (2,5YR 2/2, úmida), preto (5YR 2/1, seca); orgânica, maciça com fibras; dura, muito friável, ligeiramente plástica e não pegajosa; transição clara e gradual.

Ho1- 26 – 57 cm, bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/2, úmida), que se oxida mudando para vermelho muito escuro-acinzentado (2,5YR 2/2, úmida); orgânica, maciça muito fibrosa; muito friável, ligeiramente plástica e não pegajosa; transição plana e difusa.

Ho2- 57 – 100⁺ cm, bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/2, úmida), que se oxida mudando para vermelho muito escuro-acinzentado (2,5YR 2/2, úmida); orgânica; maciça muito fibrosa; muito friável, ligeiramente plástica e não pegajosa.

OBSERVAÇÕES

Ho1 e Ho2 são muito semelhantes, sendo Ho2 mais fibroso; No dia da coleta de material o proprietário da área estava fazendo tratamentos culturais na área, aplicando adubo granulado; Área apresenta substrato arenoso.

PERFIL Nº: PB1**CLASSIFICAÇÃO:** ORGANOSSOLO HÁPLICO Sáprico terriço.**UNIDADE DE MAPEAMENTO:** 34° 52' 44" W; 7° 26' 25" S**LOCALIZAÇÃO:** Sítio Jussara, município de Alhandra, Paraíba.**SITUAÇÃO E DECLIVE:** Planície de inundação. Declive de 0-1%**MATERIAL ORIGINÁRIO:** Sedimentos de origem vegetal.**PERÍODO:** Holoceno / Quaternário.**RELEVO LOCAL / REGIONAL:** Relevo plano.**VEGETAÇÃO:** Predomínio de tifáceas nas proximidades, além de arbustos lenhosos.**USO ATUAL:** Pastagem degradada, com evidente excesso de pisoteio de animais.**EROSÃO:** Não aparente.**DRENAGEM:** Mal drenado, com lençol freático a aproximadamente 28 cm de profundidade.**PEDREGOSIDADE / ROCHOSIDADE:** Ausentes.**CLIMA:** As' - Tropical chuvoso quente e úmido.**DESCRITO E COLETADO POR:** Rafael Cipriano da Silva e Gustavo Souza Valladares.**DATA:** 24/09/2010**DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

Hdp1- 0 – 20 cm, preto (N 2/, úmida), bruno-muito-escuro (10YR 2,5/2, seca); orgânica; fraca pequena a muito pequena granular, ligeiramente dura, friável, plástica e pegajosa; transição plana e gradual.

Hdp2- 20 – 40 cm, preto (N 2/, úmido), bruno-acinzentado-muito-escuro (10YR 3/2, seca); orgânica/argila, fraca média a pequena granular, ligeiramente dura, friável, plástica e pegajosa; transição plana e gradual.

Cg1- 40 – 60 cm, cinzento (N 5/, úmido), mosqueado comum pequeno a médio proeminente amarelo-brunado (10YR 6/6); argila, maciça, consistência seca, ligeiramente firme, muito plástica e muito pegajosa.

Cg2- 60 – 100⁺ cm.

RAÍZES

Hdp1 – Muitas e finas; Hdp2 – Muitas e finas; Cg1 e Cg2 – Ausentes.

OBSERVAÇÕES

A descrição coleta foi feita em uma manhã com chuva; Cg2 foi coletado com trado.

PERFIL Nº: PB2**CLASSIFICAÇÃO:** ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico típico.**UNIDADE DE MAPEAMENTO:** 34° 53' 39" W; 7° 30' 03" S**LOCALIZAÇÃO:** Município de Caaporã, conjunto Santo Antônio, Paraíba.**SITUAÇÃO E DECLIVE:** Depressão de um vale (meandro abandonado). Declive de 0-3%.**MATERIAL ORIGINÁRIO:** Sedimentos de origem vegetal.**PERÍODO:** Holoceno / Quaternário.**RELEVO LOCAL / REGIONAL:** Plano / Suave ondulado.**VEGETAÇÃO PRIMÁRIA:** Predominantemente tifáceas.**USO ATUAL:** Área com cultivo de banana, mandioca, milho e hortaliças, com uso da terra a mais de 20 anos.**EROSÃO:** Não aparente.**DRENAGEM:** Mal drenado. Presença de muitos drenos artificiais na área. Lençol freático a aproximadamente 50 cm de profundidade.**PEDREGOSIDADE / ROCHOSIDADE:** Ausentes.**CLIMA:** As' - Tropical chuvoso quente e úmido.**DESCRITO E COLETADO POR:** Rafael Cipriano da Silva e Gustavo Souza Valladares.**DATA:** 24/09/2010**DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

Hdp- 0 – 25 cm, preto (N 2/, úmida), bruno-amarelado-escuro (10YR 3/4, seca); orgânica, moderada pequena granular; muito friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.

Hd- 25 – 45 cm, bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/2, úmido), que se oxida mudando para bruno-avermelhado-escuro (5YR 2/2); orgânica, maciça com poucas fibras; muito friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

Hdo1- 45 – 70 cm, bruno-avermelhado-escuro (5YR 2/2, úmida), que se oxida mudando para preto (N 2/); orgânica, maciça com fibras; muito friável, plástica e não pegajosa; transição plana e difusa.

Hdo2- 70 – 100⁺ cm, bruno-avermelhado-escuro (5YR 2/2, úmida), que se oxida mudando para preto (N 2/); orgânica, maciça com fibras; muito friável, ligeiramente plástica e não pegajosa.

RAÍZES

Hdp e Hd – Poucas e finas; Hdo1 e Hdo2 – Ausentes.

OBSERVAÇÕES

Hdo1 e Hdo2 são semelhantes, sendo que Hdo2 apresenta mais fibras vegetais.

PERFIL Nº: BAC01

CLASSIFICAÇÃO: VERTISSOLO HÁPLICO Sódico salino.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: 40° 08' 07" W ; 2° 54' 21" S.

LOCALIZAÇÃO: Acaraú-CE.

SITUAÇÃO E DECLIVE: Planície fluvial, nas margens de um rio intermitente.

MATERIAL ORIGINÁRIO / FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Sedimentos aluviais de granulometria variada com influência da Formação Barreiras.

PERÍODO: Holoceno / Quaternário.

RELEVO LOCAL / REGIONAL: Plano.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta hiperxerófila com carnaúba.

USO ATUAL: Pastagem natural.

EROSÃO: Moderada.

DRENAGEM: Imperfeitamente drenado.

PEDREGOSIDADE / ROCHOSIDADE: Ausentes.

CLIMA: Aw⁷ - Tropical chuvoso.

DESCRITO E COLETADO POR: Rafael Cipriano da Silva, Gustavo Souza Valladares Andréa da Silva Gomes.

DATA: 12/12/2010

DESCRIÇÃO GERAL

Apnz - 0-(24-26) cm, bruno acinzentado muito escuro (10YR 3/2, úmida) e bruno acinzentado escuro (10YR 4/2, seca); argila; forte grande prismático que se desfaz em blocos subangulares médios; extremamente dura, muito firme, pegajosa e muito plástica; transição ondulada e clara.

CAnz - (24-26)-47 cm, bruno-seco (10YR 3/3, úmida) e bruno acinzentado escuro (10YR 4/2, seca); argila; forte grande cuneiforme e paralelepipedica; slickensides pouco e fraca; extremamente dura, muito firme, muito pegajosa e muito plástica; transição plana e gradual.

Cvn - 47-80 cm, bruno-acinzentado (10YR 5/2, úmida) e cinzento-escuro (10YR 4/1, seca); franco argilosa; forte grande cuneiforme e paralelepipedica; slickensides comum e moderado; extremamente dura, muito firme, muito pegajosa e muito plástica; transição plana e gradual.

2Cv - 80-120+ cm, coloração variegada composta de cinzento-brunado-claro (2,5Y 6/2, úmida) e amarelo-avermelhado (7,5YR 6/8, úmida), areia com cascalho; grãos simples; solta, solta, não plástica e não pegajosa.

OBSERVAÇÕES

Eflorescência salina em Apnz e CAnz.

PERFIL N°: BAC2

CLASSIFICAÇÃO: PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: 40° 07' 16" W ; 3° 12' 10" S.

LOCALIZAÇÃO: Marco-CE.

SITUAÇÃO E DECLIVE: Terraço aluvial. Perfil coletado próximo ao luto do rio, onde também foi observado afloramento de rochas metamórficas. Declive de 2%.

MATERIAL ORIGINÁRIO / FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Sedimentos aluviais argilo-arenosos / Sob influência de sedimentos da Formação Barreiras.

PERÍODO: Holoceno / Quaternário.

RELEVO LOCAL / REGIONAL: Plano.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta hiperxerófila com carnaúbas.

USO ATUAL: Sem uso.

EROSÃO: Laminar.

DRENAGEM: Imperfeitamente drenado.

PEDREGOSIDADE / ROCHOSIDADE: Ausentes.

CLIMA: Aw' - Tropical chuvoso.

DESCRITO E COLETADO POR: Rafael Cipriano da Silva, Gustavo Souza Valladares Andréa da Silva Gomes.

DATA: 12/12/2010

DESCRIÇÃO GERAL

A- 0-20 cm, bruno-amarelado-escuro (10YR 3/4, úmida) e bruno-amarelado-claro (10YR 6/4, seca), franco argilo arenosa; forte média e grande blocos angulares; macia, muito friável, ligeiramente plástica e não pegajosa; transição plana e clara.

2A- 20-33 cm, bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4, úmida) e bruno (10 YR 5/3, seca); média; forte média prismática que se desfaz em blocos angulares, macia, muito friável, plástica e não pegajosa; transição plana e clara.

2E- 33-50 cm, bruno (10YR 5/3, úmida); arenosa; grãos simples; macia, solta, não plástica e não pegajosa; plana e abrupta.

2EB- 50-60 cm, bruno-amarelado (10YR 5/4), mosqueado muito pequeno comum e distinto amarelo brunado (10YR 6/8, úmida); areia franca; moderada pequena blocos angulares; macia, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.

2Bt1- 60-71 cm, coloração variegada composta de bruno (10YR 5/3, úmida) e bruno escuro (10YR 3/3, úmida); franco argilosa; forte média e grande prismática; extremamente dura, firme, plástica e pegajosa; transição plana e difusa.

2Bt2- 71-98 cm, coloração variegada composta de bruno (10YR 5/3, úmida) e bruno (10YR 4/3, úmida); argilosa; forte média e grande prismática; extremamente dura, firme, muito plástica e muito pegajosa; transição plana e difusa.

2Btvnz- 98-140⁺ cm, bruno (10YR 4/3); argilosa; forte média e grande prismática; extremamente dura, firme, muito plástica e muito pegajosa.

PERFIL N°: BAC3

CLASSIFICAÇÃO: NEOSSOLO FLÚVICO Sódico salino.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: 40° 08' 31" W ; 3° 12' 30" S

LOCALIZAÇÃO: Marco-CE.

SITUAÇÃO E DECLIVE: Ilha fluvial. Perfil coletado no leito intermitente do rio Acaraú. Declive de 6-7%.

MATERIAL ORIGINÁRIO / FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Sedimentos aluviais argilo-arenosos / Sob influência de sedimentos da Formação Barreiras.

PERÍODO: Holoceno / Quaternário.

RELEVO LOCAL / REGIONAL: Suave ondulado / Plano.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta hiperxerófila com carnaúba.

USO ATUAL: Sem uso.

EROSÃO: Forte.

DRENAGEM: Imperfeitamente drenado.

PEDREGOSIDADE / ROCHOSIDADE: Ausentes.

CLIMA: Aw⁷ - Tropical chuvoso.

DESCRITO E COLETADO POR: Rafael Cipriano da Silva, Gustavo Souza Valladares Andréa da Silva Gomes.

DATA: 12/12/2010

DESCRIÇÃO GERAL

A- 0-16 cm, bruno (10YR 4/3, úmida) e bruno-claro-acinzentado (10YR 6/3, seca), mosqueado comum pequeno e distinto amarelo-brunado (10YR 6/8, úmida); franca; moderada média prismática; dura, friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e abrupta.

CAn- 16-38 cm, bruno escuro (10YR 3/3, úmida) e bruno-acinzentado (10YR 5/2, seca); franco-argilo-siltosa; maciça com fendas; extremamente dura, firme, muito plástica e muito pegajosa; transição plana e gradual.

Cnz1- 38 - 92 cm, bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2, úmida), franco-argilo-siltosa; maciça com fendas; extremamente dura, firme, muito plástica e muito pegajosa; transição plana e difusa.

Cnz2- 92 - (125-140) cm, bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2, úmida), franco-argilo-siltosa; maciça com fendas; extremamente dura, firme, muito plástica e muito pegajosa; transição ondulada e clara.

2Cnz- (125-140)-(150-160) cm, bruno-acinzentado-escuro (2,5YR 4/2, úmida), mosqueado comum grande proeminente bruno-oliváceo-claro (2,5Y 5/6, úmida); franca; maciço que se desfaz em moderada grande paralelepípedica e cuneiforme; extremamente dura, firme, muito plástica e muito pegajosa; transição ondulada e clara.

3Cvn- (150-160)-175⁺ cm, cinzento escuro (10YR 4/1, úmida), mosqueado pouco pequeno e distinto amarelo brunado (10YR 6/6, úmida); franco-argilosa; maciço que se desfaz em moderada grande paralelepípedica e cuneiforme; extremamente dura, firme, muito plástica e muito pegajosa.

PERFIL N°: BAC4

CLASSIFICAÇÃO: GLEISSOLO SÁLICO Sódico típico.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: 40° 10' 31"W; 2° 51' 02" S

LOCALIZAÇÃO: Acaraú-CE.

SITUAÇÃO E DECLIVE: Planície fluvio-marinha. Declividade de 0-1%.

MATERIAL ORIGINÁRIO / FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Sedimentos fluvio-marinhos arenosos.

PERÍODO: Holoceno / Quaternário.

RELEVO LOCAL / REGIONAL: Plano / Plano.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Campos salinos, com presença de canaubais e mangue nas adjacências.

USO ATUAL: Sem uso.

EROSÃO: Laminar.

DRENAGEM: Mal drenado.

PEDREGOSIDADE / ROCHOSIDADE: Ausentes.

CLIMA: Aw⁷ - Tropical chuvoso.

DESCRITO E COLETADO POR: Rafael Cipriano da Silva, Gustavo Souza Valladares Andréa da Silva Gomes.

DATA: 12/12/2010

Agnz- 0-8 cm, coloração variegada composta de bruno-avermelhado (5YR 4/4, úmida) e bruno avermelhado escuro (5YR 3/4, úmida); areia franca; fraca, pequena blocos subangulares e granular; muito friável, não plástico e não pegajoso; transição plana e abrupta.

Cgnz1- 8-32 cm, bruno-acinzentado (2,5Y 5/2, úmida), mosqueado comum pequeno e proeminente bruno-avermelhado (5YR 4/4, úmida); franco arenosa; maciça; friável, não plástico e não pegajoso; transição plana e clara.

Cgnz2- 32-50 cm, cinzento-escuro (5Y 4/1, úmida), mosqueado abundante grande proeminente bruno-avermelhado (5YR 4/4, úmida); argilo-siltosa; maciça, friável, ligeiramente plástica e não pegajosa; transição plana e clara.

2Cgnz- 50-72 cm, cinzento-escuro (N4/, úmida), mosqueado pouco médio proeminente bruno-avermelhado (5YR 4/4, úmida); franco-siltosa; maciça; friável, ligeiramente plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.

3Cgnz- 72-80 cm, cinzento-escuro (N4/, úmida), mosqueado pouco médio proeminente bruno-avermelhado (5YR 4/4, úmida); franca; maciça; friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.

4Cgnz- 80-110⁺ cm, preto (N2/, úmida); franca; maciça; friável, não plástica e não pegajosa.