

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

DENISE MARIA AZEVEDO URSULINO

**ESTUDO GEOQUÍMICO DE SOLOS EM ÁREAS DEGRADADAS NO
MUNICÍPIO DE SOBRAL (CE) COM VISTAS À SUA RECUPERAÇÃO.**

Rio Claro (SP)
2013

DENISE MARIA AZEVEDO URSULINO

**ESTUDO GEOQUÍMICO DE SOLOS EM ÁREAS DEGRADADAS NO
MUNICÍPIO DE SOBRAL (CE) COM VISTAS À SUA RECUPERAÇÃO.**

Tese de Doutorado elaborada junto ao Programa de Pós-Graduação em Geologia Regional – Área de Concentração em Minerais Metálicos e Não metálicos como requisito para obtenção do título de Doutora em Geologia Regional.

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Maria Margarita Torres
Moreno

Rio Claro (SP)
2013

Denise Maria Azevedo Ursulino

Estudo Geoquímico De Solos Em Áreas Degradadas No Município De Sobral (CE) Com Vistas À Sua Recuperação.

Tese de Doutorado apresentada junto ao Programa de Pós-Graduação em Geologia Regional, área de Concentração em Minerais Metálicos e Não-metálicos do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Unesp de Rio Claro, como requisito para obtenção do título de Doutora em Geologia Regional.

Orientador: Prof^a. Dr^a. M^a Margarita Torres Moreno

Comissão Examinadora

Prof^a. Dr^a. Maria Margarita Torres Moreno – Orientadora
IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)

Prof. Dr. Jairo Roberto Jimenez-Rueda
IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)

Prof. Dr^a Cenira Maria Lupinacci Cunha.
IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)

Prof. Dr^a Carolina Del Roveri.
ICT/UNIFAL/Poços de Caldas (MG)

Prof. Dr. Diego Souza Sardinha
ICT/UNIFAL/Poços de Caldas (MG)

Rio Claro (SP) 03 de Abril de 2013.

551.41 Ursulino, Denise Maria Azevedo
U82e Estudo geoquímico de solos em áreas degradadas no município de
Sobral (CE) com vistas à sua recuperação / Denise Maria Azevedo
Ursulino. - Rio Claro, 2013
164 f. : il., figs., gráfs., tabs., quadros

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de
Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Maria Margarita Torres Moreno

1. Ciência do solo. 2. Recuperação de áreas degradadas. 3. Solos. 4.
Regeneração. 5. Geoquímica de solos. I. Título.

Dedicatória

Dedico este trabalho a dois professores da geologia da UFC, Mestres e Amigos, Michel Henri Arthaud e Loreci Lehugeur, hoje estrelas de Luz!

Aos meus pais João Batista e M^a Ivone, meus irmãos Ricardo, Ana, e em especial aos meus sobrinhos Philipe, Mariana e Mateus, por todo amor a mim dedicado.

Muito Obrigada!

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa científica foi realizada, graças ao apoio de instituições e pessoas, por isso, não poderia deixar de agradecer e expressar minha gratidão, por terem contribuído para execução desta tese:

À Deus acima de tudo;

Ao Programa de Pós-graduação em Geologia Regional, na pessoa do coordenador Prof. Dr. Norberto Morales e ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas- IGCE, pela oportunidade desenvolver a presente pesquisa.

Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio financeiro, através do processo 140904/2009-3.

Agradecimentos especiais à Prof^a. Dr^a. Maria Margarita Torres Moreno pela valiosa orientação no caminho percorrido e paciência em todos os momentos solicitados;

Ao Prof. Dr Jairo Roberto Jimenez Rueda, Prof^a Dr^a. Cenira Lupinacci Cunha por aceitarem participar de meu exame geral de qualificação e defesa final da tese, e a Prof^a Dr^a. Carolina Del Roveri e Prof. Dr Diego Sardinha pelas contribuições e sugestões feitas aos que aceitaram participar da defesa final;

Sou grata, ainda, ao corpo docente dos departamentos de Petrologia e Metalogenia e Geologia Aplicada e de pós graduação (Marco Aurélio, Artur, Zaine, Antenor, Peter, Joel e outros) pelos ensinamentos repassados, por esclarecimentos de dúvidas, apoio, sugestões e incentivos.

Ao corpo técnico e administrativo dos referidos departamentos, pela atenção ao longo da pesquisa, em especial, Alan, técnico responsável pelo laboratório de Geotecnia, à secretária da Pós-Geociências, Rosângela Vacello e ao corpo administrativo da Seção de Pós-Graduação IGCE, pela atenção e presteza nos esclarecimentos solicitados.

Ao Instituto Centro de Educação Tecnológica do Estado do Ceará (CENTEC) pelo afastamento concedido durante este período e pela concessão das análises química de fertilidade dos solos através convênio com o Instituto Federal de Sobral e ao Instituto Federal pelas análises;

Ao Instituto de Geociências da UNICAMP, na pessoa do Prof Dr. Ticiano Saraiva, pela confecção das lâminas dos solos. À Geomac, na pessoa do Diretor Presidente Eduardo Zaniboni pela concessão de alguns instrumentos de campo e outros apoios logísticos;

A pequena parte da Família Ursulino residente em Sobral: Mizinha Zé e crianças, pelo amor, hospedagem e compreensão;

À Leiliane Azevedo pelo carinho, cuidado, pela ajude no campo e pela divisão de rendas;

Aos proprietários das áreas de estudo: A1 Cleyton, A2 Dr. Luciano Arruda e esposa Maria do Carmo Arruda e A3 Sr. Crisostómo;

As minhas amigas geólogas: Claudinha (*in memorian*), Edenise, Irani, Monica, Glorinha, Bete, Deborah, Ana Paola, por todos os momentos imortais vividos juntos, geologia, diversão e arte;.

Aos amigos Humbertinho e família, Simone, Magnólia, Igor Clemente, Diones, Adriano, Gabi, Débora Cavlacante e Macedo, Talita representantes da Nação Ceará;

Aos colegas de Pós-graduação Patrick, Fred, Sidney, Tito, Leonardo e Érica, Homero e família, Thiago e Lara, Paulo, Cássio, Dennin, Fanny, Ethel outros (as) pela convivência/aprendizagem, brincadeiras em momentos de descontração.

À todas as pessoas que de uma forma ou de outra colaboraram para a realização deste trabalho, Muito mais MUITO OBRIGADA!!!

A VIDA E A TERRA

"As ilhas de coral de Belau, no Pacífico, mostraram quão intimamente trabalham em conjunto os elementos da Terra. Estas ilhas foram originalmente criadas por vulcões, que se ergueram do solo marítimo.

Em seguida, os cumes vulcânicos foram batidos pelas ondas do oceano. Enquanto isso, os animais de coral fizeram construções sobre os negros cumes dos vulcões. Enquanto estes lentamente iam afundando no mar, as colônias de coral cresciam firmemente para cima, mantendo as ilhas próximo do nível do mar. A vida, conclui-se, evitou que as ilhas afundassem. Os recifes de coral e os atóis transformaram-se num paraíso para uma variedade desconcertante de seres vivos.

Em Belau, a vida não se limita a subir para o planeta como um líquen para uma rocha. A vida e a Terra estão numa espécie de simbiose; rocha, mar, ar e vida colaboram. Este arquipélago não existiria sem os vulcões da litosfera, as ondas da hidrosfera, o calor e os ventos da atmosfera e as criaturas da biosfera. Por quase todo o lado para onde olhamos neste planeta, a biosfera alterou o mundo tão profundamente que é difícil dizer onde termina a vida e começa a Terra.

Isto não significa que a vida seja sempre criadora. Tal como o vulcão, a vida tanto cria como destrói. Em Belau, certas espécies de pequenos moluscos, chamados quítos, têm dentes metálicos que são suficientemente fortes para corroer o coral. Estas vorazes criaturas, na verdade, comem as ilhas: cortam por baixo um banco de coral da ilha até que ele tomba tal como uma árvore abatida por castores. O que os corais erguem, estes moluscos derrubam. O papel da espécie humana, flutuando numa pequena ilha no espaço, está ainda em questão. Até agora nossa espécie foi criadora e destruidora, coral e molusco. Nosso caráter final pode ser decidido por esta geração e pela próxima."

(Weiner, J. Planeta Terra)

RESUMO

Os solos brasileiros são atingidos extensa e intensamente por processos de degradação, estão sujeitos a fatores adversos devidos ao clima tropical e ao condicionamento geológico, além da ação prejudicial do homem. O Município de Sobral, localizado na porção noroeste do Estado Ceará, apresenta um cenário que evidencia o modo inadequado e insustentável pelo qual o meio físico tem sido historicamente ocupado e utilizado. Os solos do município encontram-se esgotados de nutrientes e ocupam áreas de grandes extensões. Com isso levantou-se a hipótese de que aplicação de um composto orgânico produzido com materiais de origem vegetal e origem animal, disponíveis nas propriedades agrícolas ou de fácil obtenção, possibilita a recuperação em Sobral de três tipos de solos degradados: o Neossolo Flúvico, Planossolo Háptico e o Neossolo Litólito através da averiguação do seu comportamento pedogeoquímico. Três unidades geológicas (Grupo Ceará, Granito Meruoca e Cobertura Cenozóica) associadas às três diferentes superfícies geomorfológicas (Planície Aluvionar, Depressão Sertaneja e Maciço Residual) serviram como unidades territoriais para o desenvolvimento do projeto de pesquisa. Em cada área teste estações experimentais foram implantadas (A1, A2 e A3) e divididas em parcelas denominadas solo exposto (SE) e solo com composto (SC) que possibilitaram as investigações pedogeoquímicas durante dois anos nos períodos considerado chuvoso e seco. Parâmetros geotécnicos foram empregados para caracterização física dos solos através de ensaios físicos e granulometria a laser. Realizou-se a descrição dos minerais através reconhecimento em campo, microscopia ótica, espectrometria de fluorescência de raios X, bem como, os argilominerais por difração de raios X. Para todos os solos foram analisados pH em água (1:2,5), condutividade elétrica, cálcio, magnésio, sódio, potássio, alumínio trocáveis, acidez potencial, capacidade de troca de cátions, saturação de bases, porcentagem de sódio trocável, fósforo disponível e alguns micronutrientes. Utilizou-se a micromorfologia para o acompanhamento da estruturação dos solos visando à confirmação da sua regeneração após a incorporação do composto orgânico. Ficou demonstrado que o efeito da adição do composto orgânico nos solos degradados é positivo em todos os aspectos. Os solos apresentaram uma recuperação após dois anos de uso do composto orgânico e mantiveram-se úmidos com nutrientes disponíveis, os quais se mobilizaram na hora em que a planta necessitou deles.

Palavras chave: Solos, Regeneração, Geoquímica de solos.

ABSTRACT

Brazilian soils have been affected extensively and intensely by degradation processes. They have been subjected to adverse effects due to the tropical climate and the geological conditioning, in addition to the harmful effects of man actions. The county of Sobral, located in the northwestern portion of Ceará State, presents a scenario that shows how inappropriate and unsustainable the physical environment has historically been occupied and used. The soils of the county have been depleted of nutrients, taking large track areas. Thus, it was hypothesized that the application of an organic compound produced with materials of vegetable and animal origin available on farms or easily accessible, can recover three types of degraded soil in Sobral: the Neossolo Flúvico, the Planossolo Háptico and the Neossolo Litólito through pedogeochemical investigation. Three geological units (Ceará Group, Granite Meruoca and Cenozoic cover) attached to three different geomorphic surfaces (Floodplain, and Massive Residual Sertaneja Depression) had been used as territorial units for the research project development. In each test area, experimental stations had been set up (A1, A2 and A3) and divided into portions denominated exposed soil (ES) untreated and compost soil (CS) which had allowed the pedogeochemical investigations for two years in the rainy and dry periods. Geotechnical parameters were used for physical characterization of soils through physical testing and laser granulometry. The description of the minerals description had been done through field recognition, optical microscopy, fluorescence spectrometry of X-ray, as well as clay minerals by X-ray diffraction. For all soils, it was analyzed pH in water (1:2.5), electrical conductivity, calcium, magnesium, sodium, potassium, exchangeable aluminum, potential acidity, ion exchange capacity, base saturation, exchangeable sodium percentage, phosphorus available and some micronutrients. Micromorphology was used to monitor the structure of the soil in order to confirm its regeneration after the application of organic compost. It was demonstrated that the effect of adding the organic compound is degraded in soil positive in all aspects. The soils showed a recovery after two years of organic compost use and kept moist with available nutrients, which mobilized by the time the plants need them.

Keywords: Soil, Regeneration, Geochemistry of soils.

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 01: Mapa de localização do Município de Sobral em relação à Região Nordeste e ao Estado do Ceará.....	24
Figura 02: Localização e acesso ao Município de Sobral e das áreas testes	25
Figura 03: a) Visão espacial das três áreas teste; b) Relevo das três áreas teste: A1 na planície fluvial, A2 na depressão sertaneja, A3 no maciço residual; c) Limite e acesso a partir da sede municipal, A1 limite sul BR-222, A2 limite norte CE-362 e A3 limite noroeste CE-440; d) Detalhe do relevo (terraço aluvionar) e da localização da estação experimental A1 (EEA1); e) Detalhe do relevo (área pediplanada) e do posicionamento da estação experimental A2 (EEA2); e f) Detalhe do posicionamento da estação experimental A3 (EEA3).....	27
Figura 04: Esboço geológico da Província Borborema e arredores lineamentos Patos. SJCM – Maciço São José Campestre, TM - Maciço de Tróia, TBL - Lineamento Transbrasiliiano (Sobral – Pedro II), SPL - Lineamento Senador Pompeu; PAL - Patos Lineamento, GC - Complexo Granjeiro.....	32
Figura 05: Bloco de diagrama onde é possível observar as unidades geomorfológicas e as direções das principais falhas que ocorrem no município de Sobral no Domínio Ceará Central (Falha Rio Groaíras, Forquilha, Humberto Monte e Sobral Pedro II), no Domínio Médio Coreau (Sobral-Pedro II, Café Ipueiras, Falha de Granja, Martinópolis, Itacolomi, Arapá, Contendas).....	37
Figura 06: Mapa de solos do Município de Sobral.....	39
Figura 07: Áreas de Incidência de Secas no Nordeste Brasileiro.....	44
Figura 08: a) Dados de precipitação correspondem a uma média de série histórica de 30 anos (1950 – 1980). b) Distribuição pluviométrica de Sobral entre 1975 e 2009.....	46
Figura 09: Bacia Hidrográfica do Rio Acaraú.....	47
Figura 10: Perfil longitudinal do Rio Acaraú, das nascentes até a foz.....	48
Figura 11: Fluxograma metodológico.....	68
Figura 12: a) Delineamento da estação experimental A2; b) Estação experimental A1 com toda infraestrutura montada, dividida em duas parcelas solo exposta (SE) lado esquerdo e solo com composto (SC) lado direito. Observa-se que a estação foi construída no nível do terreno.....	71
Figura 13: Esquema de montagem da pilha de composto feito sanduíche com 40 cm de resíduo vegetal, para 10 cm de resíduo animal (esterco), até atingir a altura de 1,00m.....	72
Figura 14: Esquema da estação experimental A1, parcela solo exposto (SE) sem tratamento, a parcela solo com composto (SC) e o posicionamento dos furos de amostragem, esquema comum a todas as áreas.....	74

Figura 15: a) Coleta de amostra indeformada na estação experimental A2, o círculo preto indica o ponto de coleta e a seta em preto o amostrador envolvido com plástico bolha na parcela solo composto (SC). Na parcela solo exposto (SE) a seta em preto mostra o posicionamento do amostrador no mesmo alinhamento que o da parcela SC. b) Detalhamento do amostrador sendo retirado da parcela solo composto da estação experimental A3, com o posicionamento orientado por GPS.....75

Figura 16: a) Medidor de umidade portátil com haste de 18cm. b) Medida superficial georeferenciada, na parcela SE da área experimental A3. c) Perfil longitudinal nas duas parcelas solo com composto (SC) e solo exposto (SE), para medida subsuperficial em A3. d) Medida subsuperficial da parcela SC da área experimental A1, cava com aproximadamente 18 cm de profundidade.....84

Figura 17: Imagem orbital do relevo (EMBRAPA, 2004).....86

Figura 18: Modelo digital de terreno extraído do mapa geológico do Ceará, escala 1: 500.000, relativo a região de Sobral.....87

Figura 19: Mapa geológico simplificado da região de Sobral.....89

Figura 20. Afloramentos de Gnaiss Migmatítico na área A2: a) Gnaiss milonitizado com feições migmatíticas exibindo porfiroblastos com formas de amêndoas (elipsoide em vermelho/augen gnaiss), o quadrado vermelho indica a porção mais micácea, o círculo dentro do maior elipsoide marca a presença de granadas, a linha em vermelho indica o lineamento mineral e a linha em preto as fraturas; b) Padrão de redobramento provocado pela superposição de dobras no gnaiss bandado (linha em vermelho), a linha preta indica fraturamento. c) Veio pegmatítico fraturado, a linha vermelha indica que esta concordante com a foliação e em preto mostra a direção do mergulho; d) Fragmentos dos veios pegmatóides de vários tamanhos e angulosos. e) Anfibólito com fraturas verticais e horizontais (linhas em preto) associado ao gnaiss. f) Boudins em rochas anfibolíticas, também, associado ao gnaiss; g) Quartzito bastante fraturado, as linhas pretas indicam a foliação e os quadros em vermelho os fragmentos de vários tamanhos e angulosos; h) Seixos de quartzo e feldspatos (círculo vermelho) de tamanhos milimétricos e centimétricos expostos como um revestimento superficial.....91

Figura 21: a) Fotomicrografia na objetiva 2,5x com nicóis cruzado, evidenciando o aspecto geral da rocha, o quartzo na textura ribbion, e o fenocristal de plagioclásio com maclamento do tipo albita com sombra de pressão (deformação). b) Concentração de biotita e muscovita imprimindo uma textura milonítica à luz polarizada na objetiva 5x. c) Cristal de granada associado ao mineral biotita, na forma de porfiroblasto, em uma matriz de quartzo e feldspato, na objetiva de 5x e nicóis paralelos. d) Fotomicrografia mostrando grão de quartzo fraturado em contato a albita, o plagioclásio com maclamento do tipo albita, a muscovita em cristais lamelares associada a biotita, na objetiva de 5x e nicóis paralelos.....93

Figura 22: a) Fotomicrografia na objetiva 2,5x com nicóis cruzado, evidenciando o aspecto geral da rocha, o quartzo na textura ribbion, e sob a forma de subgrãos neoblastos (moderada orientação), microfaturado. b) Fotomicrografia mostrando em detalhe o zircão associado a biotita bipiramidal e zonado, nicóis paralelos na objetiva 5x. c) Cristal de plagioclásio com maclamento do tipo albita, com intercrescimento de cristais de quartzo, na objetiva de 2,5x e

nicóis cruzados. d) Fotomicrografia mostrando grão médio de quartzo fraturado associado a muscovita lamelares e dispersos na matriz formando agregados granulares que definem a textura granoblástica, cristais de hornblenda anédricos, na objetiva de 2,5x e nicóis cruzados.....94

Figura 23. Afloramento do Granito Meruoca na área experimental A3: a) Blocos soltos. b) Detalhe do bloco com esfoliação esferoidal. c) Lajedo bastante fraturado em várias direções. d) Pedreira abandonada. e) Feição maciça onde se observa feldspato potássico (róseo) e quartzo e pontos de biotita; f) Falha preenchida com óxido e hidróxidos de Fe imprimindo uma feição de um pseudotaquilito ou microgranito.....95

Figura 24: a) Fotomicrografia na objetiva 2,5x com nicóis paralelos, evidenciando o quartzo microfraturado e os óxidos preenchendo as microfissuras. b) Fotomicrografia na objetiva 2,5x com nicóis paralelos, da feição mimerquítica. c) O quartzo aparece na forma de minerais arredondado, circundado e com microinclusões de biotita, na objetiva 5x com nicóis cruzados. d) Fotomicrografia na objetiva 5x com nicóis cruzado da feição do um pseudotaquilito, e do feldspato potássico bastante alterado.....96

Figura 25: Geologia da área experimental A1. a) Afloramento do litotipo encaixante (rochas pré-cambrianas de composição gnáissicas migmatíticas) localizado a montante da área experimental. b) Imagem do furo F1 na parcela solo exposto (SE) de coloração cinza escuro (úmido) com brilho micáceo. c) Sedimentos silte-arenoso de coloração cinza claro-amarrozada (seco), observa-se em alguns pontos coloração creme (círculo em vermelho), amostra coletada do furo F3 na parcela SE. d) Sedimentos inconsolidados de coloração creme, constituído por areia quartzosa com níveis ferruginosos, depósito de bem mineral de uso na construção civil, localizado na margem esquerda do rio Acaraú, próximo a estação experimental.....97

Figura 26: Mapa geomorfológico simplificado para a região de Sobral.....98

Figura 27. a) Visão espacial da área teste A1 na Fazenda Entre Rios, detalhe da unidade fisiográfica da paisagem, o terraço aluvionar, a seta em branco indica o sentido do escoamento. A ponte construída na BR-222 dividiu a zona urbana da zona rural (Imagem Digital Globo de 2010/Google Earth, página visitada em abril de 2010). b) Detalhe da infraestrutura da estação experimental, instalada em uma clareira (desmatamento), a vegetação é representada por frutíferas e herbáceas. c) Bacia de decantação arquitetada pelos proprietários para conter as inundações, situação que proporcionou o desenvolvimento da caatinga arbórea. d) Margem esquerda do rio, completamente descaracterizada e ocupada....99

Figura 28: Área de influência direta da estação experimental A2. a) Alto Topográfico no Morro do Açude, observa-se que a vegetação foi retirada e ainda não se recuperou, deixando o solo exposto, como também, a concentração de indivíduos em uma única espécie, a jurema preta, no canto esquerdo um único exemplar do pau branco. b) Detalhe do material no Morro do Açude, o quartzito fraturado. c) Terreno no nível da estação experimental aonde aflora o material parental (gnaisse migmatítico). d) Detalhe da meia encosta do Morro do Açude observa-se um pequeno perfil de solo, material coluvionar constituído pelo quartzito, proporcionando ao solo uma coloração amarelada.....100

Figura 29: a) Visão da vertente norte do Vale do Riacho Boqueirão e das unidades fisiográficas definidas para a área teste A3. b) Observa-se que no alto topográfico a vegetação

é densa e representada tanto pela mata primária como secundária. c) Terreno no nível da estação experimental observa-se o granito aflorando na forma de lajedo, porção a montante da estação experimental. d) Baixo topográfico no nível de uma fonte d'água que surge por entre as fraturas.....	101
Figura 30: Média das chuvas em Sobral nos anos de 2010 e 2011. Dados de pluviômetros instalados pela FUCEME em Sobral dos anos de 2010 e 2011.....	102
Figura 31: Representação esquemática da litologia, relevo e situação dos “solum” estudados.....	105
Figura 32: a) Estação experimental de A1 intacta após 2 anos de pesquisa; b) Vandalismo na estação A2, ocorreu a retirada da cerca e de alguns tijolos, porém, integridade mantida; c) Estação experimental de A3 com o novo desenho, integridade comprometida.....	107
Figura33: Situação das estações experimental no período seco de 2010. a) A vegetação nas parcelas solo exposta (SE) e solo com composto (SC) da estação A1 encontram-se totalmente ressecadas. b) Em A2 nada vigou dentro de nenhuma das parcelas, em volta da estação experimental observa-se a jurema preta e o capim penasco secos. c) Detalhe da chanana que brotou na parcela SC da estação A3.....	109
Figura 34: a) Detalhe da montagem da pilha de compostagem (material vegetal e material animal) na forma de leira na estação A1. b) Cesto utilizado como composteira em na estação A3. c) Aspecto da cava na área experimental A1, no alto em vermelho o dimensionamento da cava.....	110
Figura 35: a) Raiz do material vegetal desenvolvido no solo da estação experimental A1. b) A raiz da parcela SC da área teste A2 é indicadora (confiável) de que a manta orgânica aplicada melhora as condições do solo. c) O solo da estação A3 úmido e areado permitindo o desenvolvimento de minhocas.....	111
Figura 36: Morfologia das partículas: a) Grãos do Neossolo Flúvico, furo F2, fração 0,50 mm. b) Grãos do Planossolo Háptico, furo F2, malha 35#. c) Grãos do Neossolo Litólico, furo F3, fração 0,50mm.....	113
Figura 37: Diagrama Classificação Textural do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA).....	114
Figura 38: Curva de frequência granulométrica dos três solos sem composto orgânico (F1, F2 e F3) e da amostra com composto orgânico. a) Gráfico do Neossolo Flúvico. b) Planossolo Háptico. c) Neossolo Litólico.....	118
Figura 39: Diagrama mostrando a relação entre sílica com os demais óxidos dos três solos estudados. Fonte: Elaboração da autora.....	120
Figura 40: Comportamento de alguns parâmetros químicos nos três solos estudados.....	123
Figura 41: Propriedades dos três solos estudados. Soma de Bases (SB), Capacidade de Troca de Cátions (CTC), Saturação por Bases (V), Porcentagem de Sódio Trocáveis (PST).....	125

Figura 42: Dinâmica do Nitrogênio (N) e sua relação com o Carbono (C/N) e os demais micronutrientes.....	127
Figura 43: Diagrama mostrando a relação entre o titânio com os demais óxidos e com a sílica dos três solos estudados.....	128
Figura 44: Difrátogramas das amostras total: Neossolo Flúvico (ALU_1, ALU_2, ALU_3) na parte superior da figura, Planossolo Solódico (DEP_1, DEP_2, DEP_3) na parte do meio e das amostras do Neossolo Litólico (MAC_1, MAC_2, MAC_3) na parte inferior.....	130
Figura 45: Difrátogramas dos solos com tratamento . a) ALU Amostras do Neossolo Flúvico, b) Amostras do Planossolo Solódico (DEP), c) Amostras do Neossolo Litólico (MAC).....	132
Figura 46: Difrátogramas dos solos estudados da fração <math><20 \mu\text{m}</math>, <math><2 \mu\text{m}</math> e a fração <math><<2 \mu\text{m}</math>, representa o solo com composto orgânico. a) Amostras do Neossolo Flúvico, b) Amostras do Planossolo Solódico, c) Amostras do Neossolo Litólico.....	133
Figura 47: Medida da umidade das três áreas no período chuvoso e seco.....	135
Figura 48: Fotomicrografias do Neossolo Flúvico. a) Solo da parcela solo exposto (SE) com nicóis cruzado. Grandes cavidades (circundada com linha vermelha), grãos poliminerálicos (circundada com linha vermelha pontilhada) com filamentos de matéria orgânica, solo sem muita estruturação, a seta em branco indica a direção do plasma. b) Solo da parcela solo exposto (SE) com nicóis paralelos. Detalhe dos grandes grãos de quartzo e plagioclásio com fraturas (em alteração) e pouco vazios ao seu redor (circulo vermelho). c) Solo da parcela solo com composto (SC) com nicóis paralelos. Aspecto da estrutura granular e formação de microagregados. d) Solo da parcela solo com composto (SC) com nicóis cruzados. Aspecto da estrutura granular formada na sua maioria por grãos de quartzo arredondados com fragmentos poliminerálicos angulosos, evidenciando os microagregados.....	137
Figura 49: Fotomicrografias do Planossolo Háptico Solódico: a) Solo da parcela solo exposto (SE) com nicóis paralelos. A lâmina mostra grandes grãos ângulos poliminerálicos com filamentos de matéria orgânica e grãos muito modificados de biotita (lamelares), solo sem estruturação e ausência de poros. A linha preta pontilhada circundada indica desgaste incorreto. b) Solo da parcela solo exposto (SE) com nicóis paralelos. Detalhe dos grandes grãos de quartzo revestido matéria orgânica (plasma), junto com argilominerais A linha vermelha indica desgaste incorreto. c) Solo da parcela solo com composto (SC) com nicóis cruzados. Aspecto da estrutura grãos subangulosos de plagioclásio com aspecto de alteração e a formação de microagregados. d) Solo da parcela solo com composto (SC) com nicóis paralelos. Aspecto da estrutura granular formada na sua maioria por grãos de quartzo e feldspatos subanguloso a subarredondados evidenciando a formação dos microagregados. O círculo em vermelho marca os poros.....	138
Figura 50: Fotomicrografias do Neossolo Litólico. a) Fotomicrografia do solo na parcela SE exibindo grande grão de quartzo extremamente fraturado, sob a luz natural. b) Fotomicrografia do solo na parcela SE revelando o aspecto da alteração nos grandes grãos de quartzo e feldspato potássico, solo sem estruturação e ausência de poros, com nicóis paralelos. c) Fotomicrografia do solo na parcela SC sob a luz natural. Aspecto da estrutura granular com	

fragmentos poliminerálicos subarredondados com evidências da formação de microagregados.
d) Solo da parcela solo com composto (SC) com nicóis paralelos. Aspecto da estrutura granular formada na sua maioria por grãos de quartzo e feldspatos subanguloso a formação dos microagregados.....139

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 01: Unidades Litoestratigráfica das Áreas Teste. Fonte: Elaboração da autora.....	89
Tabela 02: Formação geológica, material litológico, unidade geomorfológica, clima e classificação dos três solos estudados.....	106
Tabela 03: Resultado analítico do composto orgânico produzido em cada área teste.....	108
Tabela 04: Características físicas dos solos antes da aplicação do composto.....	115
Tabela 05: Porcentagem dos sólidos x Espaços porosos.....	117
Tabela 06: Média ponderada dos furos de amostragem dos três solos.....	120
Tabela 07: Resultado da análise química por fluorescência de raios X dos três solos estudados em (%)......	128
Tabela 08: Valores das medidas de umidade tirada em campo nas três áreas.....	135
Tabela 09: Prognóstico comparativo entre os três solos em relação alguns pedoindicadores.....	140
Tabela 10: Dados químicos de A1. Fonte Elaboração da Autora. Apêndice.....	157
Tabela 11: Dados químicos de A2. Fonte Elaboração da Autora. Apêndice.....	158
Tabela 12: Dados químicos de A3. Fonte Elaboração da Autora. Apêndice.....	159

LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Conceitos sobre estabilidade, resiliência, persistência e resistência.....	57
Quadro 02: Definição do caráter argiloso de acordo com o índice de plasticidade.....	77
Quadro 03: Massa específica da partícula de alguns componentes comuns no solo. Fonte: Gondim (2008).....	78
Quadro 04: Poderes refletivos usados na semiquantificação de difratogramas (amostra total e fração argila).....	81
Quadro 05: Classificação quanto à sodicidade em função da PST.....	82
Quadro 06: Níveis de classificação para interpretação dos resultados das análises do solo utilizados pelos Laboratórios do Estado do Ceará.....	82

SUMÁRIO

	Página
CAPÍTULO 1	
1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	19
1.1. Apresentação.....	19
1.2. Justificativa.....	20
CAPÍTULO 2	
2. HIPÓTESES E OBJETIVOS.....	22
2.1. Hipóteses.....	22
2.2. Objetivo Geral.....	23
2.2.1. <i>Objetivos Específicos</i>	23
CAPÍTULO 3	
3. APRESENTAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO.....	24
3.1. Localização e Acesso.....	24
3.2. Eventos Geotectônicos, Morfoestruturais e Paleoclimáticos.....	28
3.3. Contexto Geológico Regional.....	32
3.4. Contexto Geomorfológico Regional.....	35
3.5. Contexto Pedológico Regional.....	38
3.6. Características Fisiográficas de Sobral.....	43
3.7. História do Uso e Ocupação do Município de Sobral.....	52
3.8. Degradação.....	55
3.9. Recuperação.....	57
3.10. Matéria Orgânica e Composto Orgânico.....	62
3.11. Geoquímica do Solo.....	64
CAPÍTULO 4	
4. MATERIAS E MÉTODOS.....	68
4.1. Levantamento Bibliográfico e Cartográfico.....	69
4.2. Diagnóstico Ambiental, Reconhecimento Pedogeológico e a Escolha da Área.....	69
4.3. Estações Experimentais e Produção do Composto.....	69
4.4. Amostragem e Caracterização dos Solos.....	73
4.5. Testes e Ensaios Geotécnicos.....	76
4.6. Análise Mineralógica.....	79
4.7. Análise Química de Fertilidade.....	81
4.8. Umidade dos Solos.....	83
4.9. Análise Micromorfológica.....	85
4.10. Monitoramento, Equipamento e Trabalho de Escritório.....	85
CAPÍTULO 5	
5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISES DOS RESULTADOS.....	86
5.1. Diagnóstico Geoambiental das Áreas Teste.....	86
5.2. Contexto Geológico Local.....	88
5.3. Contexto Geomorfológico Local.....	98
5.4. Aspectos Hidroclimáticos e Vegetacionais.....	101
5.5. Contexto Pedológico Local.....	104

5.6. Estações Experimentais.....	106
5.7. Produção e Disposição do Composto Orgânico.....	107
5.8. Dados Geotécnicos.....	112
5.9. Dados Geoquímicos.....	118
5.9.1. <i>Granulometria a Laser</i>	118
5.9.2. <i>Análise Química de Fertilidade</i>	120
5.9.3. <i>Elementos Maiores (Fluorescência de Raios X)</i>	128
5.9.4. <i>Análises de Argilominerais (Difração de Raios X)</i>	130
5.10. Umidade do Solo.....	134
5.11. Análise micromorfológica.....	136
5.12. Prognóstico Comparativo.....	139
5.13. Degradação e Planejamento da Recuperação.....	140
CAPÍTULO 6	
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	142
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	145
APÊNDICE.....	157
- Tabela 07.....	158
- Tabela 08.....	159
- Tabela 09.....	160
ANEXOS.....	161
- Dados da Granulometria a Laser A1.....	162
- Dados da Granulometria a Laser A2.....	163
- Dados da Granulometria a Laser A3.....	164

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

1.1. Apresentação

O homem consegue transformar o meio natural através de atividades denominadas no meio técnico-científico de tecnogênicas e, têm tornado a paisagem diferente a cada dia que passa, tendo como uma das principais consequências a degradação dos solos.

O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente através do GLSOD (Global Assessment of Soil Degradation – Projeto de Avaliação Mundial da Degradação do Solo) registrou que 15% dos solos do planeta, uma área do tamanho dos Estados Unidos e Canadá, são classificados como degradados devido às atividades humanas. Do total desta área degradada, 5% encontra-se na América do Norte, 12% na Oceania, 14% na América do Sul, 17% na África, 18% na Ásia, 21% na América Central e 13% na Europa. Considerando as áreas inabitadas do mundo, o percentual de solos degradados no planeta sobe de 15% para 24% (OLDEMAN, 1994, apud TAVARES, 2008).

No continente Sul Americano, segundo o GLSOD há 244×10^6 hectares de solo degradado, sendo o desmatamento responsável por 41% dessa degradação (OLDEMAN, 1994, apud TAVARES, 2008). No Brasil, a quantificação da extensão dos solos degradados ainda é muito precária, porém, independente da ausência de dados a respeito da extensão de áreas degradadas, todas as estimativas apontam para o desmatamento, mineração e atividades agrícolas como as principais responsáveis pela degradação dos solos brasileiros (DIAS e GRIFFTH, 1998).

Uma grande parte dos solos degradados do território brasileiro está localizada no semiárido, na Região Nordeste. Segundo dados apontados pelo Projeto PNUD/BRA/93/036, o Nordeste do país já apresenta cerca de 180.000 km² de áreas com processos de degradação considerados como grave e muito grave, sendo que 18.740 km² apresentam sinais intensos muito preocupantes – os chamados núcleos de desertificação – localizados em Gilbués/PI, no Seridó do RN, Cabrobró/PE e na região Irauçuba/CE. Da

Da Região Nordeste, o Ceará tem proporcionalmente a maior área distribuída no perímetro do semiárido, cerca de 92% de seu território. Aproximadamente 14% da área do Estado é afetada por processos de degradação que podem evoluir para o grau de desertificação (NASCIMENTO et al., 2007).

O Município de Sobral, localizado no noroeste do Estado do Ceará, se enquadra nessa problemática de degradação. Dentre os fatores mais importantes que impulsionaram a

degradação, destacam-se as estiagens, as implicações do crescimento urbano, a extração de bens minerais, o desmatamento irracional para obras de grande porte, a pecuária, a indústria da lenha e outros impactos que ocasionaram a remoção da cobertura do solo, levando ao aumento do escoamento superficial e gerando alterações (SÁ, 2002).

O presente pesquisa, trata dos estudos que conduziram à recuperação de solos degradados da área geográfica do médio Vale do Acaraú, na região centro-norte do Ceará, no município de Sobral. Como linha de ação fundamental, buscou-se a disposição de um composto orgânico em três áreas teste com solos degradados por meio da delimitação, caracterização e classificação das unidades geológicas, geomorfológicas e pedológicas.

O desenvolvimento desta tese está descrito em 06 (seis) capítulos apresentados em uma sequência que induz o leitor a uma melhor compreensão da temática relacionada com a recuperação dos solos degradados em três áreas teste no Município de Sobral. No Capítulo 1 – Introdução, são abordadas as condições em que se encontram os solos, justificando a necessidade de investigações sobre a degradação dos mesmos em Sobral. No Capítulo 2 – Hipóteses e Objetivos, se questiona a técnica mediante seus resultados de forma que se possa extrair a informação desejada.

O Capítulo 3 discrimina a localização, acesso e caracterização da área em questão, bem como, a evolução das pesquisas científicas voltadas para a caracterização de solos degradados e as técnicas de recuperação. Os materiais e métodos aplicados nas diversas etapas de desenvolvimento da tese estão apresentados no Capítulo 4, enquanto que os resultados obtidos e as discussões constituem o Capítulo 5. As conclusões e recomendações compõem o Capítulo 6.

1.2. Justificativa

Os processos tecnológicos dos diferentes tipos de intervenções, por força da legislação ambiental, por pressão da sociedade, ou ainda, por necessidade premente de reutilização de uma área, necessitam da adoção de medidas preventivas e corretivas destinadas a impedir ou reverter à degradação. A recuperação e preservação dos recursos naturais renováveis devem ser realizadas de maneira integrada, garantindo seu uso sustentável e a sua conservação para as gerações futuras (CAVALLI e LOMBARDI NETO, 1998).

O estudo sobre recuperação de áreas degradadas está em crescimento. Nos últimos anos desenvolveram-se numerosas técnicas, produtos e materiais que contribuem para atingir bons resultados. Uma das ações recuperadoras que tem sido imprescindível é o uso da

biotecnologia, que permite o crescimento de plantas com baixa demanda de insumos externos e são capazes de criar condições favoráveis aos mecanismos de regeneração natural da área (ARAUJO et.al, 2005).

Existem estudos recentes no Estado do Ceará especialmente em Sobral sobre a recuperação de áreas degradadas, aliados a diagnósticos e diretrizes. Pouco se conhece sobre o emprego de estudos geológicos relacionados aos solos, menos ainda se conhece sobre as transformações que o solo possa ter devido a sua possível regeneração.

A melhor forma de fomentar a regeneração de um solo degradado é fornecê-lo matéria orgânica. A produção do composto orgânico com materiais de origem vegetal e animal, disponíveis nas áreas teste ou de fácil obtenção, possibilita a formação de agregados de partículas minerais e orgânicas, melhorando a estruturação dos solos.

A técnica e o produto aplicável para melhorar as características do substrato dos solos será um aporte para uma capa superficial, com características físico-químicas adequadas. Os nutrientes contidos na matéria orgânica estão na forma química que permite sua absorção pelo solo, de maneira que se desenvolva a recuperação. A metodologia é simples e de baixo custo, caberá a cada produtor adaptá-la e aplicá-la, o que aumentará a chance da regeneração do solo.

A concepção científica sobre a recuperação dos solos degradados exercerá o seu papel social, procurando levar a conscientização sobre os procedimentos metodológicos. A ação de reprodutibilidade da técnica de recuperação aos usuários da terra será uma autêntica estratégia para o desenvolvimento sustentável, contribuindo diretamente com a Agenda 21 Local de Sobral, deixando de ser um cenário futuro tendencial, passando a ser uma megaestratégia atingida (URSULINO et.al, 2006).

A pesquisa contribuirá, com o Projeto de Lei n.º 249/07, que cria o Programa “Projeto Verde Ceará Vivo”, destinado ao Reflorestamento Heterogêneo de Áreas Degradadas, bem como, com a Lei Complementar n.º 005 de 01 de fevereiro de 2000 que Dispõe sobre o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Sobral – PDDU.

Diante do acima, exposto a pesquisa justifica-se por desenvolver e/ou aperfeiçoar uma metodologia voltada para as condições nordestinas, principalmente as de Sobral e, por ajudar na preservação e conservação do solo por meio do estudo pedogeoquímico, possibilitando um maior equilíbrio ao ecossistema natural.

2. HIPÓTESES E OBJETIVOS

2.1. Hipóteses

Através da ciência se tem acesso ao conhecimento científico, que nos conduz a uma consciência política de preocupação coletiva. A pesquisa científica é responsável pela transmissão desse conhecimento e para ser bem conduzida necessita de um projeto que garanta o sucesso com propostas e soluções práticas.

Para Bunge (1980), a ciência pode ser pura ou básica, seja teórica ou experimental, se propõe a enriquecer o conhecimento humano, geralmente de interesse do pesquisador. O referido autor diz ainda que, “tanto uma como a outra partem de problemas. Ambas buscam dados, formulam hipóteses e teorias e, procuram provar essas ideias por meio de observações, medições, experiências ou ensaios” e completa Bunge, “a pesquisa científica se limita a conhecer; a técnica emprega parte do conhecimento científico, somando a novo conhecimento para projetar artefatos e planejar linhas de ação que tenham algum valor prático para algum grupo social”.

Segundo Popper (1974), “os conhecimentos disponíveis sobre determinado assunto são insuficientes para a explicação de um fenômeno, surge então, o problema”. Para tentar explicar as dificuldades expressas no problema, são formuladas conjecturas ou hipóteses. Após revisão sobre a temática ambiente geográfico x degradação/recuperação (definição do problema), hipóteses foram estabelecidas.

Idealizou-se com o presente estudo dar um suporte geoquímico aos dados pedológicos, visando contribuir no planejamento e execução da recuperação de áreas degradadas do Estado do Ceará, com o uso de um composto orgânico (manta orgânica protetora). Esta proposta teórico-metodológica se fundamenta nas seguintes hipóteses:

- a) A reversão da degradação poderá ser constatada por meio do uso do composto orgânico (manta orgânica) em um curto prazo (dois anos) permitindo a possibilidade de novos usos (cultivos orgânicos, cultivo de plantas medicinais).
- b) O conhecimento da distribuição dos elementos químicos, abundância ou escassez, pode ser utilizado como rastreadores (indicadores) geoquímicos na recuperação dos solos degradados.
- c) Qual dos solos estudados pode ser considerado o mais adequado para indicar o processo de recuperação.

2.2. Objetivo Geral

Em função da necessidade da utilização de materiais alternativos e mais econômicos para obtenção de melhores resultados na recuperação dos solos em Sobral, a presente pesquisa testa e demonstra uma metodologia de recuperação de solos voltada para as condições nordestinas, através da sinergia da manta orgânica (composto orgânico) e suas correlações com as propriedades geoambiental e com os parâmetros pedogeoquímicos, em dois períodos caracterizados por ausência e presença de chuva em três áreas teste.

2.2.1. Objetivos Específicos

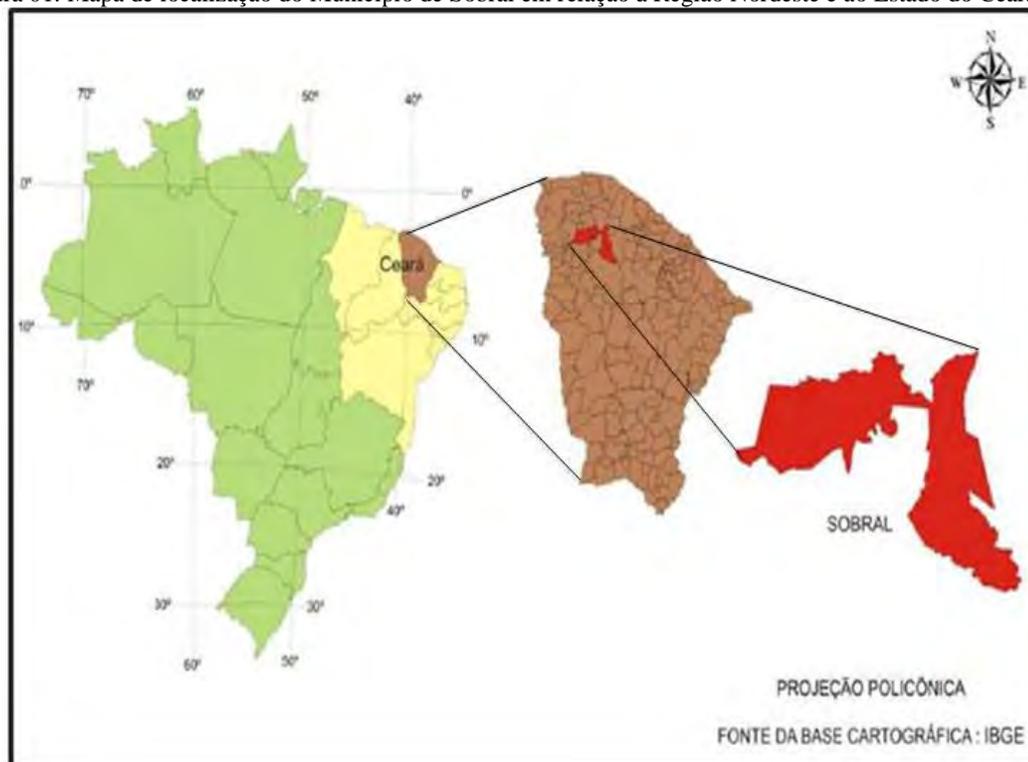
- Avaliar a qualidade dos solos através dos seus parâmetros pedogeoquímicos antes, durante e após a aplicação do composto orgânico, com o propósito de reunir informações referentes às suas propriedades, qualidades e o comportamento dos mesmos para novos usos;
- Atestar a possibilidade de reuso das áreas teste seja para atividade sustentável como a agricultura natural (hortas orgânicas e cultivo de plantas medicinais);
- Ampliar os conhecimentos sobre pedogeoquímica, recuperação de áreas degradadas, promover a capacitação e o aperfeiçoamento do conhecimento científico e tecnológico dos profissionais envolvidos;

3. APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E DA TEMÁTICA ESTUDADA

3.1. Localização e Acesso

O Município de Sobral está situado na região nordeste do Brasil, inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Acaraú pertencente à Região Fisiográfica dos Sertões do Centro-Norte do Estado do Ceará e apresenta uma área de 2.122,99 km². Seu posicionamento encontra-se entre a Latitude de 3° 41' 10" S e Longitude 40° 20' 59" W (Figura 01).

Figura 01: Mapa de localização do Município de Sobral em relação à Região Nordeste e ao Estado do Ceará.



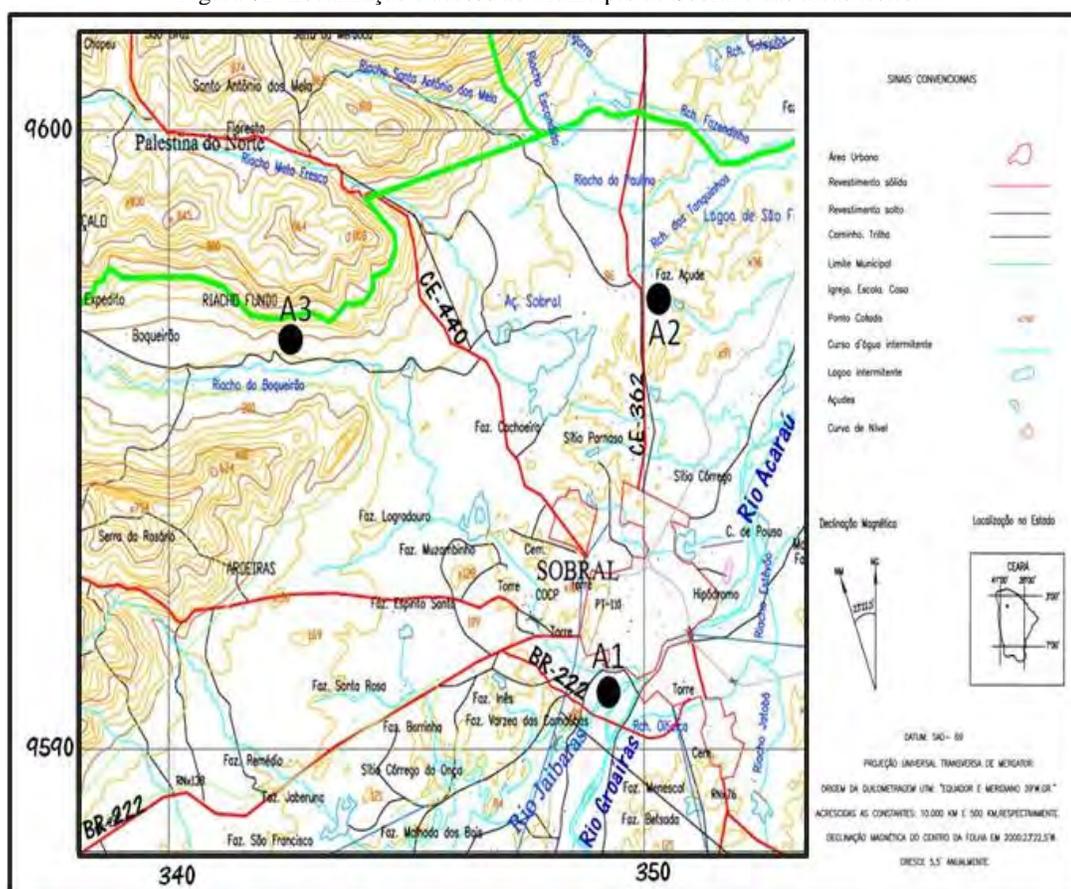
Fonte: Medeiros et al., 2011.

Limita-se ao norte com a Serra da Meruoca, municípios de Alcântaras, Santana do Acaraú e Massapê; ao sul municípios de Forquilha, Groaíras, Cariré, Santa Quitéria; ao leste municípios de Miraíma e Irauçuba; e ao oeste municípios de Coreaú e Mucambo. Com uma população de 188.271 habitantes é a quinta cidade mais povoada do estado (Ceará, 2011; CPRM, 1998).

Sobral possui 11 distritos, incluindo o Distrito-Sede e, por estar bem localizado a 70m acima do nível do mar e possuir vias de fácil acesso, a sede municipal centraliza a produção de bens, mercadorias e serviços, comercializando-os para muitos municípios cearenses e algumas áreas do norte do País.

O acesso principal é feito, a partir de Fortaleza, pela Rodovia Federal BR-222 chegando-se ao município Sobral num percurso de 232 km. Dentro do município, as diversas localidades estão interligadas por rodovias estaduais asfaltadas e numerosas vias vicinais não asfaltadas (estradas carroçáveis) para as áreas teste (Figura 02).

Figura 02: Localização e acesso ao Município de Sobral e das áreas testes.



Fonte: Folha Topográfica-IPECE, escala 1: 100.000 (2000), fuso 24N.

Em decorrência da topografia, da proximidade com a Cidade de Sobral (ponto de apoio) e da obtenção da autorização para uso da área, a Fazenda Entre Rios, localizada na margem esquerda do Rio Acaraú na sede municipal, foi à primeira área teste a ser

caracterizada, sendo denominada A1. A Fazenda Açude foi à segunda área teste, definida como A2 e a Pedreira Abandonada como a terceira área teste, A3.

As áreas teste escolhidas estão inseridas em espaços pontuais degradados nas principais unidades geoambientais existentes: na Planície Fluvial (estação experimental A1) limite sul da sede municipal, na Depressão Sertaneja (estação experimental A2) limite norte e, no Maciço Residual (estação A3), limite noroeste do município (Figura 03):

- Área 1

A área experimental A1, encontra-se inserida no terraço aluvionar, posicionada pelas seguintes coordenadas UTM: 0349006N e 9590250E (, na Fazenda Entre Rios, situada no encontro dos rios Acaraú e Jaibaras, área utilizada para plantio de cultura de subsistência e criação de gado. O trajeto para A1 começa no bairro Sumaré, seguindo pela Rua Idelfonso Holanda Cavalcante até a BR-222, toma-se à esquerda até a estrada de terra que leva à Fazenda Entre Rios, distante cerca de 3 km da sede municipal.

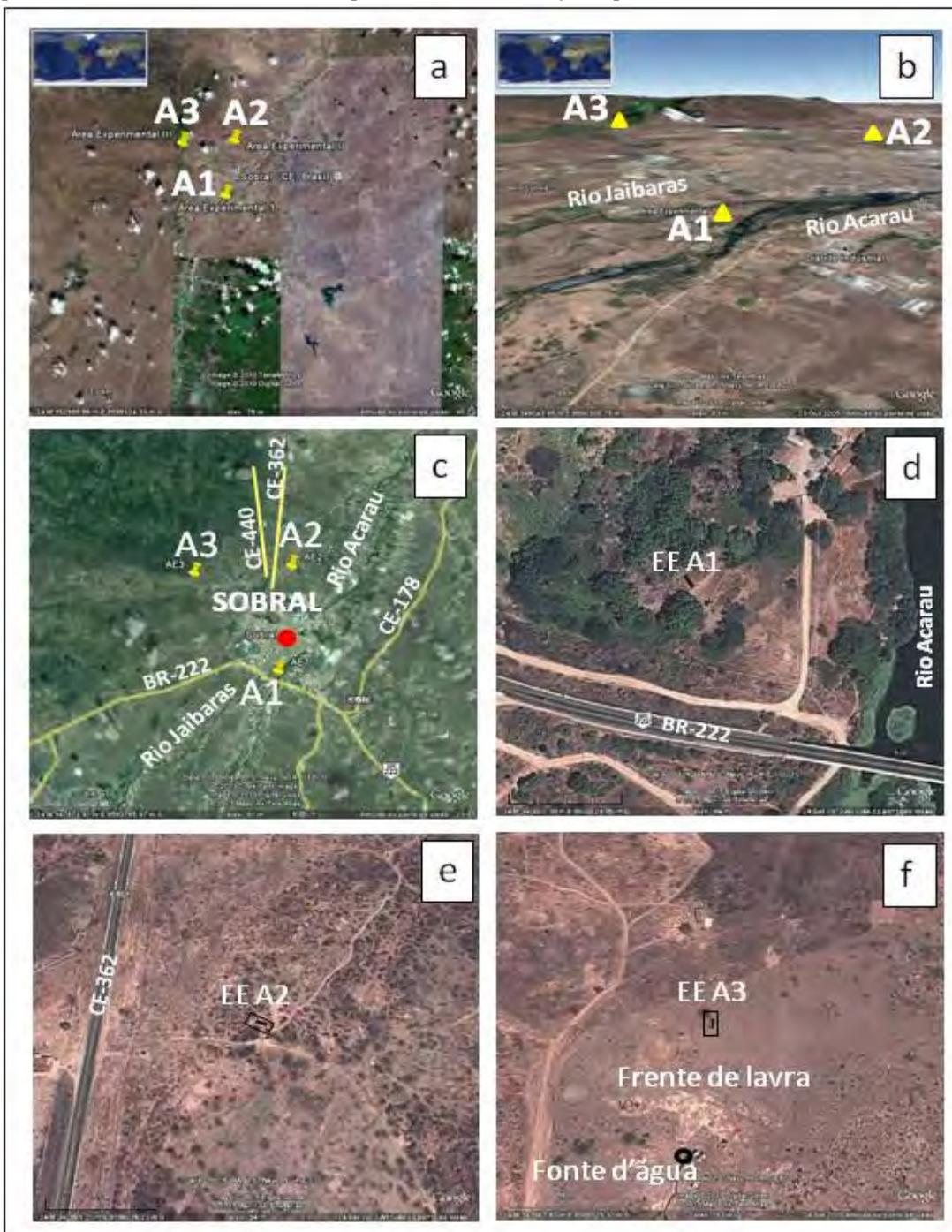
- Área 2

A área experimental A2 está inserida em uma área pediplanada no limite norte do município georeferenciado pelas seguintes coordenadas: 0349985N e 9596928E, na Fazenda Açude, atualmente é utilizada para atividades agrícolas (plantio de cultura de subsistência e pastagem), anteriormente para a extração de material de empréstimo (construção de estrada). O acesso a A2 é feito em direção ao município de Massapê, toma-se a Rodovia Federal BR-362 que passa a ser denominada de Rodovia Estadual CE-362, percorre cerca de 5 km até a área da fazenda aonde foi retirado material de empréstimo para estrada.

- Área 3

A área experimental A3 está inserida na Serra da Meruoca na porção sul (Meruoca-Rosário), limite noroeste do município de Sobral apontado pelas coordenadas: 0343979N e 9596525E, em uma propriedade particular utilizada para atividade agrícola (pecuária, plantio de cultura subsistência) e por extração de rocha ornamental. O percurso a A3 parte da Av. Cleto Ferreira da Ponte sentido ao município da Meruoca, logo após a saída do perímetro urbano quando a avenida passa a ser denominada Rodovia Estadual CE-440, percorre-se cerca de 3 km até a entrada para o Distrito de Boqueirão a sudoeste do município, toma-se a esquerda e percorrem-se mais 7 km, chegando à pedreira abandonada.

Figura 03: a) Visão espacial das três áreas teste; b) Relevo das três áreas teste: A1 na planície fluvial, A2 na depressão sertaneja, A3 no maciço residual; c) Limite e acesso a partir da sede municipal, A1 limite sul BR-222, A2 limite norte CE-362 e A3 limite noroeste CE-440; d) Detalhe do relevo (terraço aluvionar) e da localização da estação experimental A1 (EEA1); e) Detalhe do relevo (área pediplanada) e do posicionamento da estação experimental A2 (EEA2); e f) Detalhe do posicionamento da estação experimental A3 (EEA3).



Fonte: Google Earth. Imagem Digital Globo de 2010, página visitada em abril e setembro de 2010.

3.2. Eventos Geotectônicos, Morfoestruturais e Paleoclimáticos.

A evolução geológica do Nordeste brasileiro, principalmente do Estado do Ceará, começou com a abertura e o surgimento do Oceano Atlântico, que teve início após a separação do supercontinente Pangea, durante a fase de fragmentação, do também, supercontinente Gondwana, ocorrida ao final do Triássico e início do Jurássico. O território sul americano localizava-se no setor sudoeste do Pangea, conectando-se diretamente com a África e Antártica. O último elo da ligação física entre América do Sul e África se rompeu no início do Cretáceo e estava relacionada às rochas antigas da Província Borborema (ARTHAUD et al., 2008).

No Brasil, o conjunto da margem continental é do tipo passiva com a passagem da litosfera continental à litosfera oceânica se fazendo no seio da placa sul americana, entidade tectônica cuja individualização remota ao Cretáceo (ALMEIDA, 1977; ALMEIDA et al., 2000). A estrutura geológica e os registros estruturais da plataforma sul americana apresentam as marcas de quatro episódios de aglutinação e dispersão continentais que tiveram lugar entre o Pré-cambriano e o Paleozóico (ALMEIDA et al., 2000). A primeira aglutinação foi marcada por processo de colisão de várias massas continentais individuais cujo resultado foi à formação do supercontinente Atlântida. O segundo teve como resultado a formação do supercontinente Rodínia.

Claudino-Sales e Peuvast (2007) descreveram o terceiro episódio de aglutinação continental, que ocorreu no Neoproterozóico, entre 880 e 550 Ma, e deu origem ao supercontinente Panotia, formado pela Laurásia e Gondwana. Na América do Sul, esse processo de colagem recebeu o nome de Orogênese Brasileira. A Orogênese Brasileira representa o mais importante de todos os eventos tectônicos na evolução geológica do Brasil (SCHOBENHAUS et al., 1984). Ao curso dessa orogênese, esses crátons se afrontam em uma colisão oblíqua do tipo himalaiana (CABY et al., 1995), produzindo nos limites da colagem um largo sistema de deformação e de dobramentos conhecidos pelo nome de Província Borborema (ALMEIDA, 1977; ALMEIDA et al., 2000).

As marcas do *trend* NE-SW do Lineamento Transbrasiliano no relevo continental se fazem notar em vários trechos ao longo de sua extensão, como no controle estrutural do curso do rio Paraguai por 150 km, na região do Pantanal (ASSINE e SOARES, 2004), nas unidades morfológicas romboédricas definidas pelo encaixe da rede de drenagem ao longo de fraturas, na porção sul da Bacia do Parnaíba (SAADI, 1993), e nas escarpas abruptas e retílineas das Serras da Meruoca e Rosário, no noroeste do Ceará (PEUVAST e SALES, 2003). No noroeste do Ceará este lineamento recebe a denominação Sobral-Pedro II.

No Estado do Ceará, os últimos atos da Orogênese Brasileira tiveram lugar em torno de 532 milhões de anos (VAUCHEZ et al., 1995). No seio da Província Borborema, os processos de extensão associados a esses últimos estágios e à fissão do supercontinente Panotia foram responsáveis pela formação de bacias intracratônicas e pela ocorrência de uma atividade vulcânica e plutônica intensa, em razão do que se formaram rochas extrusivas e corpos graníticos diversos (CLAUDINO-SALES e PEUVALST, 2007). O processo de estabilização da província se inseriu no cenário do início do Paleozóico.

Esses eventos extensionais estabeleceram a formação do Graben Jaibaras, em geral, o graben está preenchido por sedimentos clásticos imaturos. Durante a evolução tectônica do rifte quatro atividades ígneas, separadas temporal e espacialmente, dominam a evolução. A primeira envolve a formação do Enxame de Diques do Coreaú de idade Vendiana. Com a continuidade do regime extensional, a reativação das zonas de cisalhamento provocou o alojamento do Pluton Mucambo durante o Cambriano Inferior. A sedimentação do rifte foi acompanhada da instalação de magmas básicos na forma de soleiras, diques e derrames. No Cambriano Superior houve a intrusão do Pluton Meruoca (OLIVEIRA, 2001).

O final do Vendiano é marcado por indícios de intensa glaciação sobre uma área de relevo acentuado, resultado da tectônica brasileira (SANTOS, 2001) que teria espalhado a sedimentação da Bacia Jaibaras. A sedimentação completa da bacia é formalmente denominada de Grupo Jaibaras. A subsidência nesse graben permitiu o aprisionamento de sedimentos, representados pelos conglomerados da Formação Massapê, nas porções proximais de leque aluviais. Seguiu-se depois a deposição dos sedimentos da Formação Pacujá, ao longo do relevo abatido, a natureza dessa sedimentação, conforme Quadros (1996) é de ambiente lacustre com vulcanismo associado, não se descartando inclusive a possibilidade de que seja marinho de plataforma.

A Formação Aprazível apresenta uma área de deposição mais restrita, fortemente controlada pelas zonas de cisalhamentos Sobral – Pedro II e Café Ipueiras. A movimentação das principais linhas de fraqueza permitiram nas ombreiras do rifte, a deposição de conglomerados polimíticos, sob clima seco, em ambiente de leque/planície aluvial e lacustre (OLIVEIRA, 2001).

As falhas do Lineamento Transbrasiliano no Ceará controlaram a ocorrência das rochas sedimentares Eopaleozóicas da Bacia de Jaibaras (TEIXEIRA et al., 2004), separando-as dos plútons graníticos de Meruoca e Mucambo, a noroeste. Sua reativação pós-devoniana é atestada pelo embaciamento da porção basal do Grupo Serra Grande que ocorre a leste de Santana do Acaraú, próximo à planície litorânea (DESTRO et al., 1994).

A quarta e última aglutinação continental ocorreu no final do Paleozóico, com a orogênese que deu origem ao supercontinente Pangea (WINDLEY, 1995). Essa colagem não teve expressão no território do Ceará e no Nordeste brasileiro (DNPM, 1993), em razão do fato de que o Gondwana não se fragmentou ao curso da dispersão pós-brasiliana.

A Província Borborema, após a orogênese Brasiliana, supostamente foi submetida a um período de calma tectônica (ALMEIDA, 1977), o qual durou até o Mesozóico, quando iniciaram os processos responsáveis pela dispersão do Pangea, assim como pela formação do Oceano Atlântico, pela individualização da América do Sul como um continente a parte e pela formação da margem continental do Ceará e do Nordeste brasileiro em geral (CLAUDINO-SALES e PEUVALST, 2007).

Portanto, a formação da margem continental do Nordeste brasileiro resulta de um conjunto complexo de fenômenos de deformação que tiveram lugar principalmente entre o Triássico superior e o Cretáceo superior (230-90 Ma). A partir do Triássico superior (230 Ma), um novo ciclo oceânico começou a fragilizar o Pangea (WINDLEY, 1995; BRITO NEVES, 1999). Em relação ao Gondwana Ocidental, a fragmentação foi responsável pela abertura do Atlântico Sul (CHANG et al., 1988; POPOFF, 1988).

A separação da África e a migração do continente sul-americano estão, também, relacionados com a evolução da cordilheira dos Andes, no período Mesozóico. A intensificação do soergimento dos Andes provocou substanciais mudanças ambientais e climáticas no bordo oeste da placa sul-americana. Com o aparecimento das montanhas, o ar úmido do oceano necessita se elevar alguns milhares de metros, esfriando e perdendo a capacidade de reter umidade (FAUTH e LAVINA, 2010).

Segundo os referidos autores, a fragmentação dos supercontinentes ao longo do Cretáceo produziu estiramentos crustais, rebaixando a crosta continental, e provocou elevação progressiva do nível do mar. A invasão, pelo mar, de grandes extensões continentais permitiu o estabelecimento de condições úmidas e desenvolvimento de florestas. De modo geral, porém, após a separação da África, a metade norte da América do Sul continuou sob clima quente e seco até o final do Mesozóico.

Segundo Ross (1995) apud Nascimento (2007), os processos erosivos de fase epirogenética do Cretáceo ao Cenozóico promoveram desgastes em ambientes climáticos quentes e úmidos, alternados com clima árido e semiárido. A alternância paleoclimática no nordeste brasileiro deflagrou sistemas erosivos peculiares, ditos agressivos do ponto de vista morfoclimático. Assim, toda transição climática, que geologicamente pode ser brusca, influi sobremaneira no equilíbrio da exploração biológica e, conseqüentemente no equilíbrio das

vertentes, na morfopedologia, nas condições hidrológicas regional, como também na fisiologia da paisagem.

Para Zanella (2010) a porção tropical/subtropical situada a leste dos Andes, compreende extensas paisagens cujos limites são determinados principalmente por diferenças pluviométricas, regiões mais pluviosas sem período bem definido de deficiência hídrica e as que apresentam estação seca bem definida. A primeira inclui a Floresta Amazônica e a Floresta Atlântica, a outra forma uma ampla faixa que se estende do Nordeste brasileiro ao Noroeste da Argentina. Suguio et al.(2005) relatam que no final do Terciário o soerguimento do Planalto Central Brasileiro deve ter determinado a grande denudação do Nordeste do Brasil em condições secas, o que acarretou o surgimento da Formação sedimentar Barreiras, que ocorre em todo o seu litoral.

A deposição final da Formação Barreiras foi interrompida quando o clima passou a adquirir características mais úmidas. Este final, segundo Maia (1998), concluiu com o episódio transgressivo de idade pleistocênica denominada por Bittencourt (1979), de transgressão mais antiga, e que erodiu a porção mais externa da Formação Barreiras.

Após transgressão máxima, e no decorrer da regressão, o clima voltou a adquirir características semiáridas (VILAS BOAS, 1979). Essa retomada de condições climáticas reativou a drenagem propiciando a formação de novos depósitos continentais (MAIA, 1998). Durante o Quaternário, as formas litorâneas foram submetidas a eventos relacionados com mudanças climáticas e flutuações do nível do mar (transgressões e regressões marinhas).

Maley (1997) apresenta um estudo sobre estimativas entre a relação precipitação/evaporação (positiva ou negativa) para a África e América do Sul, entre 3.700 e 3.000 AP o clima era mais quente e que entre 2.800 e 2.000 AP ocorreu um esfriamento. Ao longo dos últimos anos foram definidas importantes evidências das mudanças climáticas durante o último máximo glacial na América do Sul e principalmente na zona tropical (MEIRELES et al.,2005).

São relatados vários períodos glaciais no Quaternário, quando sucedem diminuições generalizadas nas temperaturas, nos níveis pluviométricos e, em consequência, alterações nas paisagens, com a expansão das vegetações sazonalmente secas.

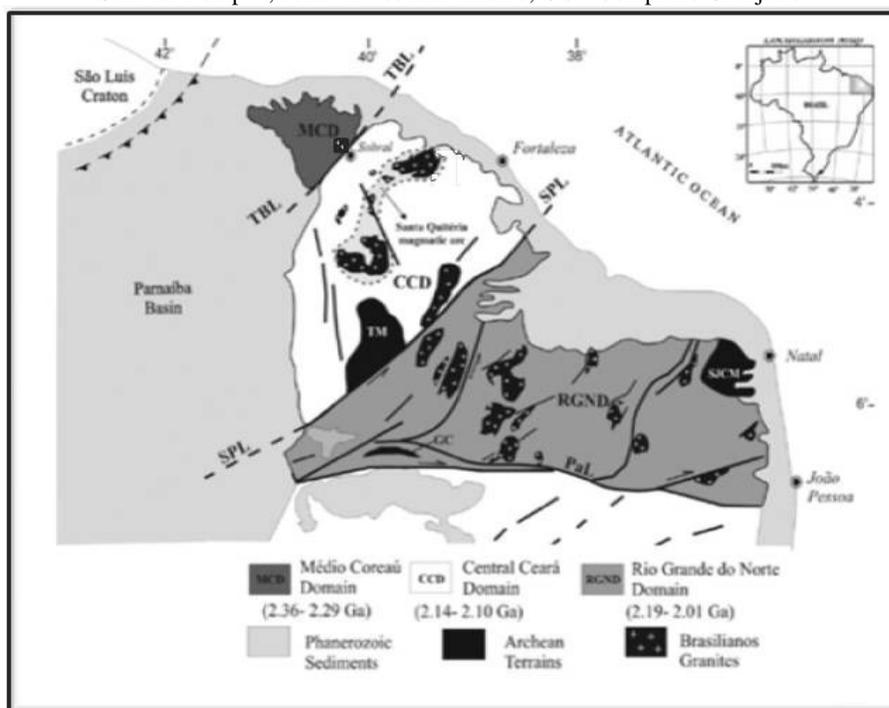
3.3. Contexto Geológico Regional

- *Embasamento Pré-Cambriano*

O município de Sobral localizado na região NW do Ceará, está inserido no contexto geológico da Província Borborema, que consiste em faixas de dobramentos separadas por extensas zonas de cisalhamento (BRITO NEVES et. al., 1995). A Província Borborema é o nome dado à região situada a norte do Cráton São Francisco, delimitada a leste e norte pelo Oceano Atlântico e a oeste, pela Bacia Parnaíba (ALMEIDA et. al., 1977).

A província é subdividida em três segmentos tectônicos denominados de Subprovíncia Setentrional, Subprovíncia da Zona Transversal ou Central e Subprovíncia Externa ou Meridional. A Subprovíncia Setentrional é constituída pelo Domínio Médio Coreaú (DMC), Ceará Central (DCC) e Rio Grande do Norte (DRGN) (Figura 04).

Figura 04: Esboço geológico da Província Borborema e arredores lineamentos Patos. SJCM – Maciço São José Campestre, TM - Maciço de Tróia, TBL - Lineamento Transbrasiliano (Sobral – Pedro II), SPL - Lineamento Senador Pompeu; PAL - Patos Lineamento, GC - Complexo Granjeiro.



Fonte: Amaral e Santos (2008).

O Município de Sobral está inserido em sua maior porção no Domínio Ceará Central e uma pequena parte no DMC. Os dois blocos crustais localizados em Sobral formaram-se durante a orogênia Brasileira, o DMC é representado por material crustal mais profundo e denso, associado a uma zona de sutura relacionada ao lineamento Sobral Pedro II, pela intrusão granítica do *stock* granítico da Serra da Meruoca, que ocorre encaixado tanto no Graben Jaibaras, quanto nas sequências de rochas do DCC.

O DCC corresponde ao embasamento raso, associado a fragmentos crustais mais antigos, encontra-se sobreposto por sequências supracrustais depositadas no meso/neoproterozóico e metamorfisadas. Esse domínio é composto por embasamento gnáissico-migmatítico com várias fases de deformação, sequências supracrustais e intrusões graníticas sin a pós-tectônicas, que apresentam caráter cálcio-alcalina a localmente subalcalina com tendências alcalinas.

- *Paleoproterozóico*

- Complexo Ceará e/ou Grupo Ceará

O Complexo Ceará foi litoestratigraficamente dividido, segundo a área geográfica de ocorrência, em quatro unidades: Unidade Canindé, Unidade Independência, Unidade Quixeramobim e Unidade Arneiroz (MATTOS, 2005). O município de Sobral é representado pelas duas primeiras unidades.

A Unidade Independência compreende de forma essencial uma sequência de rochas de paraderivação do Mesoproterozóico do tipo paragnaisses, xistos, anfíbolitos com presença marcante de granada, quartzitos, mármore e rochas calciossilicáticas.

A Unidade Canindé é considerada a unidade mais inferior, constituída por paragnaisses quartzo-feldspato migmatítico, milonitizados e metamorfisados, anfíbolitos e ortognaisses granítico-granodiorítico no Paleoproterozóico. Os ortognaisses granítico-granodiorítico e migmatítico da Unidade Canindé foram formados e metamorfisados no Paleoproterozóico (idade U-Pb entre 2,15-2,10 Ga; FETTER, 1999).

- *Neoproterozóico/Paleozóico*

- Grupo Jaibaras e/ou Graben Jaibaras

O Graben Jaibaras é o mais importante e proeminente feição tipo *riff* do início do Paleozóico na Província Borborema. Tendo como principal característica uma evolução tectônica dominada por magmatismos. Foi formado a partir da reativação, em regime normal,

das descontinuidades crustais profundas e antigas pertencentes ao Lineamento Transbrasiliano (OLIVEIRA, 2001).

O Grupo Jaibaras é uma sequência de metaconglomerados polimíticos intercalados a metarenitos e metasiltitos. O ambiente deposicional deste grupo compreende um sistema de cones aluviais, com canais e planícies fluviais associados e sua deposição se deu em um clima seco. A sua área de ocorrência está intimamente ligada com o lineamento Transbrasiliano em um contexto de bacia “*pull apart*”. É subdividido em duas formações: a) Formação Massapê, constituída por paraconglomerados brechóides polimíticos/polimodais, matações de mais de 1 metro de diâmetro, sobretudo possuindo a composição das sequências do embasamento; b) Formação Pacujá, formada por arenitos finos/médios a argilosos, garuvacas, além de arenitos conglomeráticos arcoseanos (GORAYEB et al. 1988). Recentemente a Formação Aprozível é colocada no Grupo Jaibaras em trabalhos de Torquato e Nogueira Neto (1996); Oliveira (2001) com depósitos de conglomerados polimíticos.

- Suíte Parapuí

A Suíte Parapuí consiste de três grupos de rochas: uma sucessão de derrames de basaltos, leitos restritos de riolitos e sucessivos depósitos piroclásticos e epiclásticos, que se acham interpostos aos sedimentos imaturos do Grupo Jaibaras (GORAYEB et al. 1988; NASCIMENTO e GORAYEB, 2004). Esta suíte magmática instalou-se sob um regime vulcânico intenso durante a tectônica extensional que originou a Bacia Jaibaras (*Graben*) em seu estado de *rift*; ou seja, consistiu em um magmatismo intracontinental explosivo e efusivo sobreposto a um substrato paleoproterozóico (NASCIMENTO e GORAYEB, 2004).

- Granito Meruoca

O Granito Meruoca localizado no DMC é um batólito de forma quadrada que compreende uma área de cerca de 400 km². Seus contatos são marcados principalmente por zonas fraturadas e falhadas e, em alguns lugares se desenvolvem auréolas de metamorfismo de contato. Apresenta xenólitos de dimensões variadas de metaconglomerados e metarenitos parcialmente assimilados (GORAYEB et al. 1988).

Três fácies petrográficas são reconhecidas no Granito Meruoca: faiálita-ortoclásio granito; biotita-hornblenda-ortoclásio granito e microgranitos. A primeira é constituída por uma rocha de coloração cinza com tons esverdeados, leucocrática, granulação grosseira, composta essencialmente de ortoclásio perítico. O segundo tipo difere pela cor marrom típica, pela presença de biotita e hornblenda, constituindo a fácies predominante. A última

fácies observada representa fácies de resfriamento e corpos tardios (diques, pequenos corpos) cortando outras fácies (BRITO NEVES et al. 2000).

- *Quaternário*

- Depósitos Pleistocênicos-Holocênicos

Os depósitos pleistocênicos-holocênicos no município de Sobral recobrem as planícies fluviais, planícies de inundação, áreas de acumulação inundáveis e os terraços fluviais. O aluvião forma grandes depósitos ao longo dos rios Acaraú, Jaibaras, Groaíras e Pajé, sendo constituído por cascalhos e areias de granulometria variando de fina a grossa. Nas regiões de várzeas pode se acumular material siltico-argiloso de coloração variegada (cinza e cinza-escuro). Os depósitos coluvionares formam coberturas formadas por blocos, matacões, seixos e material detríticos de granulometria menor, que ocorrem nas encostas dos morros, morretes e colinas, principalmente dos granitos Meruoca-Rosário (SOBRINHO, 2006).

3.4. Contexto Geomorfológico Regional

O município de Sobral está inserido na bacia hidrográfica do Médio Rio Acaraú, portanto, será feita uma abordagem sobre o relevo da bacia como um todo e em seguida sobre o relevo referente à área de estudo. A bacia hidrográfica é representada em seu aspecto geral, por cinco unidades geomorfológicas principais (SOBRINHO, 2006):

Tabuleiros e Superfícies Similares – compreendem áreas próximas ao litoral. Constituem-se de sedimentos do Grupo Barreiras, que se assentam diretamente sobre o embasamento cristalino, diminuindo de espessura à medida que penetra para o interior. O relevo apresenta-se predominantemente plano, com trechos suaves ondulados. São observados na parte baixa da bacia.

Terraços Aluviais – referem-se às várzeas resultantes das deposições fluviais, constituindo-se estreitas faixas, ao longo dos cursos d'água da bacia, como podem ser observados ao longo do rio principal, no terço final da bacia do Acaraú. São terrenos tipicamente planos.

Cuestas – Na face Sudoeste da bacia do Acaraú ocorre um cordão de significativa elevação, onde se encontra a Cuesta da Ibiapaba (750-800 m). De direção N-S, apresentam-se como um verdadeiro paredão em forma de mesa que dá um aspecto de uma muralha quase contínua, que limita o estado do Ceará a oeste.

Superfícies de Pediplanação – essas regiões apresentam um relevo predominantemente plano e suave ondulado com partes onduladas, verificando-se a presença de maciços residuais. São observadas, principalmente, na parte alta e terço médio da bacia.

Maciços residuais e outros níveis elevados – correspondem às elevações, constituídas geralmente de rochas gnáissicas. Estes maciços atingem elevadas altitudes (superiores a 700 metros) como as serras das Matas ao Sul da bacia do Acaraú. Estão presentes ainda na parte central da face Noroeste da bacia, onde se situa uma importante região montanhosa, a Serra da Meruoca (600-800 m).

Para se compreender o relevo no Município de Sobral se faz necessário entender a evolução morfológica do Estado Ceará. Como descrito anteriormente a evolução do relevo resulta de vários ciclos naturais, que comportaram eventos tectônicos e variações climáticas. Os relevos foram formados e arrasados, para serem rejuvenescidos.

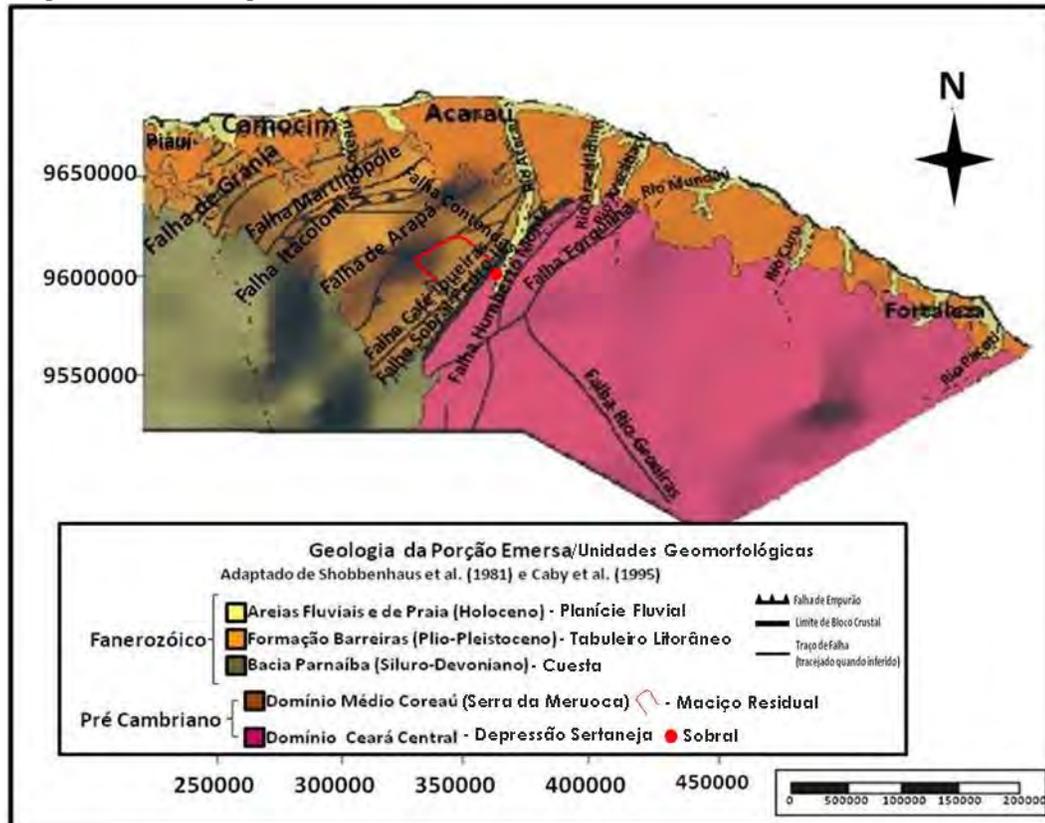
A morfoestrutura do Ceará começou a se delinear a partir da ruptura dos continentes Africano e Americano e de formação do Oceano Atlântico. As paisagens naturais formadas foram constituídas por: maciços cristalinos e inselbergs, depressões periféricas; chapadas sedimentares; planícies fluvial e sub litorâneas a litorânea (SOARES, 2008).

Essas morfologias foram esculpidas por movimentos tectônicos que fraturaram a crosta, formando graben, cuja extensão possibilitou a formação da rede de drenagem e seus principais rios, como o Acaraú. As litologias interferiram através da exposição de diferentes fácies de dissecação resultando em formas derivadas do trabalho seletivo dos processos morfodinâmicos (SOARES, 2008).

Segundo Soares (2008), em a “Evolução das Paisagens Naturais do Estado do Ceará”, sob efeitos climáticos de período mais seco, estabeleceu-se um mar raso que adentrou no continente, formando as estruturas de calcários hoje existentes. Com a intensificação dos movimentos tectônicos, a crosta se rompe em várias direções, com predominância no sentido SW-NE e W-E dividindo as unidades geomorfológicas. Os blocos entre as linhas tectônicas soerguem-se, mantendo-se uma face elevada e seu reverso inclinando-se suavemente (Figura 05).

O município de Sobral se insere neste contexto, cuja organização morfológica se caracteriza pela disposição de terrenos de forma semicircular cavado na encosta de altas terras cristalinas e sedimentares enquadrando superfícies com relevos residuais, suavemente inclinadas ao norte em direção ao Atlântico.

Figura 05: Bloco de diagrama onde é possível observar as unidades geomorfológicas e as direções das principais falhas que ocorrem no município de Sobral no Domínio Ceará Central (Falha Rio Groaíras, Forquilha, Humberto Monte e Sobral Pedro II), no Domínio Médio Coreau (Sobral-Pedro II, Café Ipeúras, Falha de Granja, Martinópolis, Itacolomi, Arapá, Contendas).



Fonte: Adaptado de Silva Filho *et.al.*, 2009.

Constata-se quatro domínios geomorfológicos no município. O primeiro compartimento é dado pela depressão sertaneja (DS) formada pelas ondulações relacionadas ao substrato rochoso do Complexo Ceará e/ou Grupo Ceará. O relevo arrasado da área na depressão sertaneja, com cotas em torno de 100 m, desenvolveu-se sobre gnaisses, rochas metabásicas e metacalcários pré-cambrianos.

O segundo compartimento é formado pela planície fluvial (PF) que compreende uma vasta área arrasada, com padrão plano suave a ondulado. A planície fluvial ocorre nos setores mais rebaixados dos grandes rios da região (Acarau e Jaibaras), com cotas que podem alcançar 100 m no interior da área e diminuir paulatinamente em direção ao litoral.

O outro grande compartimento é formado por serras de composição granítica, que se mostram em destaque em relação aos outros compartimentos, que compõe os chamados maciço residual (MR). A morfologia superficial do maciço residual da Meruoca é de um platô

quadrangular com altitudes que podem chegar a cerca de 1000 m. O interior do platô é sulcado por vales, por vezes retilíneo. Dentre estes, destaca-se o vale do riacho Boqueirão, que separa o canto sul do “quadrado” separando a serra da Meruoca, a norte, da serra do Rosário, a sul (SILVA FILHO et.al., 2009).

Em menor proporção ocorrem as áreas de acumulações inundáveis (AAI), compreendem depressões de pequenos desníveis encontrados em vários pontos da depressão sertaneja e que, em decorrência da impermeabilidade dos solos, permite no período chuvoso o acúmulo de água na superfície, porém, devido às altas taxas de transpiração, estas águas tendem a desaparecer, principalmente quando a seca se intensifica, ressecando o solo e, conseqüentemente, ocasionando o desaparecimento da vegetação na área. São áreas planas com cotas em torno dos 100 metros de altitude (SOARES, 2008).

O relevo atual encontra-se amplamente relacionado com a evolução morfoclimática comandada pelos processos erosivos condicionados pelo clima seco. A fase estável em que o intemperismo químico atua, ocorre no período úmido promovendo o abaixamento do relevo. A partir da fase resistática (fase instável) passou a vigorar a evolução comandada pelos processos de pedimentação resultando numa superfície de aplainamento escalonado (SOARES, 2008).

3.5. Contexto Pedológico Regional

Diversos tipos de solos ocorrem em diferentes paisagens, não de forma aleatória, mas segundo padrões, identificados há décadas, pelo pedólogo pioneiro russo Vasilij Dokuchaev (1846-1903), em função do material de origem, do clima, do relevo e dos organismos vivos que atuam ao longo do tempo – ou, como ele o disse da “idade da paisagem”.

Segundo Nascimento et al. (2006) os aspectos ambientais na Bacia Hidrográfica do rio Acaraú formam diversas e complexas unidades ambientais, que associados às formas de uso e ocupação do solo influenciam, sobremaneira, o desenvolvimento de feições de agradação/degradação, corroborando para a formação ou manutenção de solos com variadas profundidades.

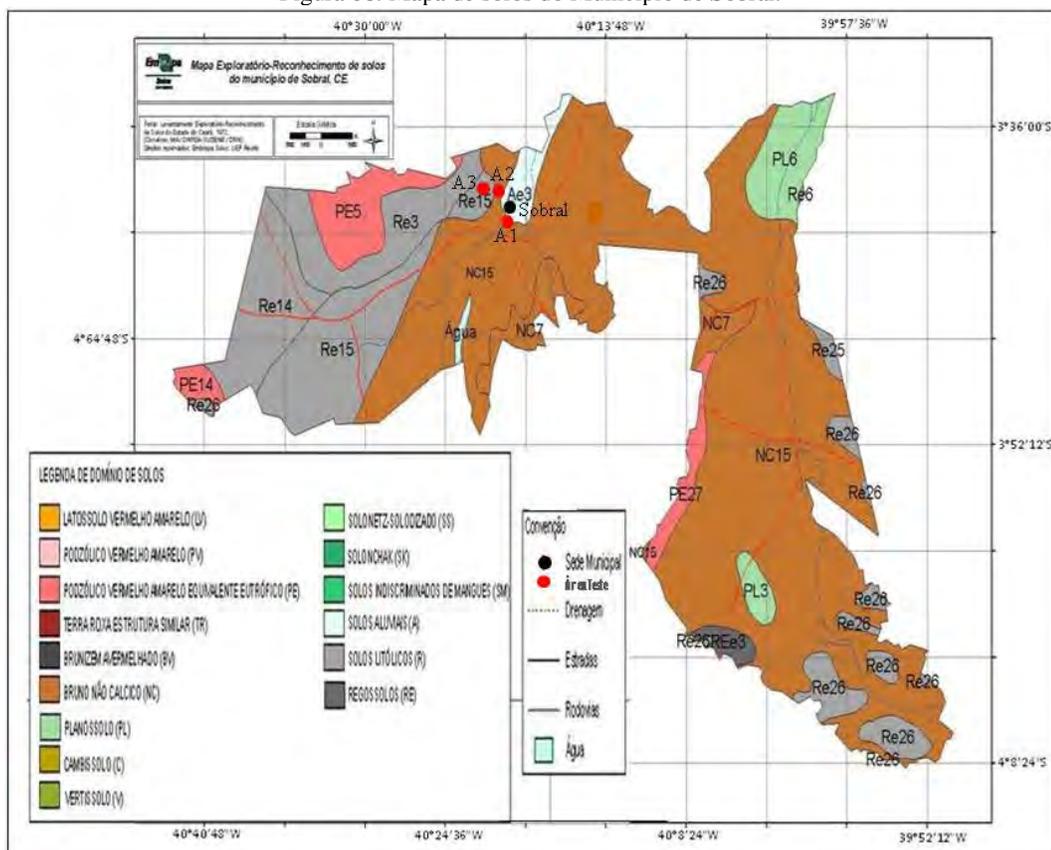
A compartimentação geoambiental mostra o agrupamento das unidades, a partir da análise das variáveis biofísicas e das relações mútuas entre as mesmas. As unidades de paisagem somam 14.560,01 km² e representam a dimensão total da Bacia do rio Acaraú. Devido a grande dimensão da bacia e sua dinâmica ambiental, ocorrem 12 classes de solos que compõem associações. As classes dominantes são os Luvisolos, seguidos pelos

Argissolos. As características primordiais de todas as classes foram apresentadas e, a seguir foram considerados os domínios morfopedológicos.

Devido à grande prevalência de rochas cristalinas e do relevo aplainado, a grande parte do território de Sobral é composta por solos rasos, em algumas áreas muitas vezes associados a afloramentos de rochas. Foram estudadas as principais características das classes de solos a partir de inúmeras informações, como, o Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do Ceará (1973), Mapa de Zoneamento Agrícola do Ceará (1988), Redimensionamento da Região Semiárida pela FUNCEME (1994) e do IPLANCE (1997).

Têm-se regionalmente no município de Sobral seis classes de associações de solos, conforme a Embrapa (2001), solos do tipo Bruno Não-Cálcicos (NC7, NC15), Litólicos Eutróficos (Re3, Re6, Re14, Re15, Re25, Re26), Planossolos (PL6), Podzólicos Vermelho Amarelo (PE5, PE14, PE27), Regossolos (REe3), Aluviais Eutróficos (Ae3) e Afloramentos de Rochas como podemos observar na Figura 06.

Figura 06: Mapa de solos do Município de Sobral.



Fonte: Embrapa Solos (2001). Considerar na legenda os itens cujas cores possuem correspondência no mapa de solos do município.

Porém, segundo Andrade *et. al.* (2006) no contexto regional do município ocorrem, predominantemente, seis principais classes de solos: Neossolos (Litólicos, Flúvicos), Planossolos, Luvisolos, Latossolos e os Argilossolos. A nomenclatura das classes é aquela definida pelo novo sistema brasileiro de classificação de solos da EMBRAPA (2006):

Latossolos – São solos evoluídos, com atuação expressiva de latolização, intensa intemperização de minerais primários, com concentração de óxidos, hidróxidos de ferro e alumínio. São solos minerais não hidromórficos com horizonte Bw latossólicos. São constituídos com quantidades variáveis de óxidos de ferro e alumínio, minerais de argila do Grupo 1.1, quartzo e minerais resistentes à morfogênese. São profundos ou muito profundos, com Horizonte A fraco ou moderado, mas, podendo ocorrer o tipo proeminente ou húmico, com horizonte subsuperficial (Bw) com poucas diferenciações entre as camadas. O Horizonte Bw tem textura média e argilosa, com baixos teores de silte, bem a fortemente drenados e com boa permeabilidade.

Têm material parental de rochas sedimentares. No relevo mais movimentado, a coloração varia de vermelho ao amarelo, ou variações destas. Podem ser eutróficos ou distróficos, tendo como principais minerais caulinita e gibsitita sendo seus minerais amorfos sesquióxidos de ferro e alumínio. Em razão da forte lixiviação sua capacidade de troca catiônica é baixa, assim como, a quantidade de cálcio, magnésio, potássio e sódio são classificados em 1ª ordem/classe Latossolos.

Argilossolos – Na atual classificação de solos do Brasil (Embrapa, 2006), é denominado de Argissolo 1ª ordem/classe, caracterizando pelo horizonte B textural, em vinculação com atributos que evidenciam a baixa ou alta atividade da fração argila conjugada com saturação por bases baixas, ou caráter alítico, com evolução avançada e atuação incompleta de processo de ferralitização.

São solos minerais não hidromórficos, com horizonte A ou E contíguos ao B textural não plúntico, argila de alta ou baixa atividade e teores de ferro inferiores a 11%. São encontrados em todos os tipos de relevo, desde o plano até o montanhoso. Desenvolvem-se a partir de sedimentos da Formação Barreiras e rochas do Pré-Cambriano. Eventualmente, podem ocorrer fragmentos rochosos. Sua coloração predominante é vermelho amarelado, podendo ocorrer tons bruno avermelhados e em menor expressão, bruno acinzentado, com baixa saturação com alumínio e menor acidez, os denominados Argissolos Vermelho–Amarelo Acinzentado Alítico. Em termos de fertilidade natural, apresentam-se com média a alta fertilidade (Argissolos Vermelho–Amarelos Eutróficos) ou média a baixa (distróficos).

Predominam os da classe eutróficos com valores de saturação de bases superior a 50% e pequena presença de minerais primários facilmente decomponíveis.

Luvissole – Estão normalmente associados aos Neossolos Litólicos e Argissolos Vermelho-Amarelo, em áreas de relevo plano a suavemente ondulado na depressão sertaneja, sob litotipos anfibolitos e gnáissico-migmatíticos. Por isto são considerados solos minerais com material parental composto por saprolitos de rochas pré-cambrianas. Não são hidromórficos, com horizonte B textural, argila de alta atividade, provocando fendilamentos durante as secas. Tem sequência de horizontes A-Bt-C ou A-E-Bt-C, com mudança textural abrupta ente A e Bt. Apresentam elevados teores de minerais primários facilmente decomponíveis e, frequente presença de calhaus e matações recobrando a superfície ou fazendo parte da massa pedológica, conformando um pavimento desértico (detritos em superfície). São rasos, ou profundos, moderadamente drenados, de pH ácido a praticamente neutro, com argilas de alta atividade apresentando-se com textura média a argiloso, com boas quantidades de minerais primários. Sua fertilidade natural é média a alta.

Planossolos – De acordo com a Embrapa (2006), Planossolos são solos minerais imperfeitamente ou mal drenados, com horizonte superficial ou subsuperficial eluvial, de acentuada diferença textural de A para B, imediatamente subjacente, adensado, geralmente com alta concentração de argila. Nessa classe estão incorporados os Hidromórficos Cinzentos, Solonetz-Solodizado, que apresentam mudanças textural abrupta; são solos ocorrentes em regiões com excesso de água, sazonal ou permanente; que possuem drenagem precária com déficit acentuado de oxigênio, o qual, normalmente, restringe o crescimento vegetal e apresenta excesso de hidróxido de ferro, consequência do estado de quase permanente redução, que dificultam o crescimento de espécies tolerantes à inundação.

São originários de rochas do Pré-Cambriano ou proveniente de sedimentos argilosos e siltosos pertencentes ao Holoceno, como ocorre nas várzeas e terraços e, também, com argilitos e siltitos do Grupo Jaibaras. Apresentam B textural com argila de atividade alta e perfil apresentado sequencia de horizontes A-Bt-C ou A-E-Bt-C, de transição abrupta ou clara entre o horizonte superficial e o Bt. Apresenta cores de redução e/ou mosqueado resultante da drenagem reduzida, com matizes variando de bruno-claro-acizentado a bruno-escuro.

São moderadamente profundos a rasos, comumente entre 25 a 120 cm, em regra, com horizonte A fraco, e dificilmente moderado. Apresentam estrutura forte ou moderada, prismática ou colunar, de consistência extremamente dura quando seco. Em detalhe horizonte Bt, em maioria, tem textura média ou argilosa, apresentando baixa permeabilidade, sofrendo

com encharcamentos temporários durante a quadra chuvosa ou fendilhamento no período seco.

Quimicamente apresentam altos valores de saturação e soma de bases trocáveis, além de boa quantidade de minerais primários facilmente decomponíveis. Ocorrem em setores dispersos por quase toda a bacia, seguindo condições de relevo plano das superfícies pediplanadas dos sertões.

Neossolos: Para a Embrapa (2006), esse grupo de solos é pouco evoluído, não apresenta horizonte diagnóstico, estando estes em via de formação. Os Litólicos possuem horizontes A ou hístico, assentes diretamente sobre a rocha; os Flúvicos são derivados de sedimentos aluviais que apresentam caráter flúvico.

Neossolos Flúvicos – São derivados de sedimentação fluvial recente (Holoceno) e poucos desenvolvidos, provenientes de deposição fluviais, apresentando sequência de horizontes A-C, mas somente horizonte A diferenciado, acompanhado de camadas estratificadas sem relação pedogenética entre si. Este horizonte normalmente é fraco, mas também ocorre moderado e chernozêmico (com maiores teores de carbonato de cálcio). Já os horizontes subjacentes ao A variam muito em composição granulométrica distinta e sem disposição preferencial, sendo mosqueados quando imperfeitamente drenados. Estão distribuídos ao longo das planícies do rio Acaraú e principais contribuintes, às vezes associados aos planossolos, como na transição médio-baixo curso.

São mediantemente profundos a muito profundos, de textura variando de arenosa a argilosa, moderada a imperfeitamente drenados. Do ponto de vista químico, tem saturação e soma de bases trocáveis altas, com teores de fósforo assimiláveis de médio a alto e com pH variando de ácido a levemente alcalino. São ricos em constituintes primários facilmente decomponíveis, essenciais ao desenvolvimento vegetacional. O horizonte A ou Ap é normalmente fraco a moderado, por vezes chernozêmico, com textura de arenosa a argilosa e cores brunadas, sendo mosqueados nos solos argilosos de drenagem imperfeita.

Neossolo Litólico – Integram esta classe solos pouco desenvolvidos, rasos a muito rasos, possuindo um horizonte A firmado diretamente sobre a rocha. Geralmente são encontrados em condições de topografia acidentada, onde há muitos afloramentos de rocha, muitas vezes estes solos estão presentes. A textura varia de arenosa, média a argilosa. Distribuem-se pelas áreas dissecadas, em encostas de relevo suave ondulados, montanhosa e até escarpados. Podem até mesmo, ocupar áreas com relevo praticamente plano. São rasos a muito rasos, não hidromórficos, pouco desenvolvidos, bem drenados, pedregosos e rochosos em superfícies. Ocupam áreas de intenso rejuvenescimento (remoção de material), podendo ser eutróficos

(Re), distróficos (Rd) ou álicos (Ra), em função da rocha de origem e das condições climáticas. Este tipo de solo é identificado no Maciço Residual da Serra da Meruoca.

Apresentam grande quantidade de minerais primários, por isso bioclimaticamente são solos pouco desenvolvido de textura arenosa a siltosa e moderadamente ácidos a praticamente neutros. Ocorrem, também, associados aos argissolos e luvisolos.

3.6. Características Geográficas de Sobral

- Semiárido

“O semiárido brasileiro não é um mero segmento de um cinturão zonal de áreas semiáridas tropicais ou subtropicais, muito pelo contrário, trata-se de um dos raros exemplos de domínios morfoclimáticos intertropicais secos” (AB’SABER, 1996). Essa afirmação fundamenta-se, principalmente, na localização dessa região, nitidamente marginal e isolada de outros ambientes zonais áridos e semiáridos tropicais e subtropicais do planeta (MELO FILHO e SOUZA, 2006).

As condições de semiaridez do Nordeste brasileiro reportam-se aos fins do Terciário e ao início do Quaternário, quando alterações bruscas, de origem planetária, provocaram mudanças de grande magnitude, gerando vastos aplainamentos, que deram origem às depressões interplanálticas semiáridas do nordeste (AB’SABER, 1977).

O semiárido caracteriza-se por possuir um clima extremamente seco na maior parte do ano e chuvas ocasionais concentradas em poucos meses do ano. As altas temperaturas com pequena variação interanual exercem forte efeito sobre a alta evapotranspiração, que por sua vez, vão determinar o déficit hídrico, que contribuem para potencializar as estiagens (MIN/SPDR, 2005).

De acordo com a classificação de Köppen, existem três tipos de clima predominante na região: o BShw – semiárido, com curta estação chuvosa no verão e precipitações concentradas nos meses de dezembro e janeiro; o BShw’ – semiárido, com curta estação chuvosa no verão-outono e precipitações nos meses de março e abril e; o BShs’ – semiárido, com curta estação chuvosa no outono-inverno e precipitações concentradas nos meses de maio e junho. Em regra, no semiárido do Nordeste brasileiro, as precipitações anuais estão entre 400-800 mm, variando, também, as épocas de início e de fim da estação chuvosa (chuvas de verão/outono) (EMBRAPA, 1998).

As Áreas Semiáridas e as Áreas Subúmidas Secas do Brasil compreendem porções territoriais dos Estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais (Figura 07).

Figura 07: Áreas de Incidência de Secas no Nordeste Brasileiro.



Fonte: Fortaleza, CE, Banco do Nordeste do Brasil, 2003.

Esses espaços abrangem uma superfície de 1.130.790,53 km², dos quais 710.437,30 km² (62,83% do total) são caracterizados como semiáridos e 420.258,80 (37,17% do total) como subúmidos secos. Em 2000, residiam ali 22,5 milhões de habitantes. Desse total, 14,2 milhões (63,31% do total) habitavam em áreas semiáridas e 8,2 milhões em áreas subúmidas secas (36,69% do total).

As áreas mais afetadas pelas secas no Nordeste são aquelas que se encontram sob influência direta da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), quer se trate de secas anuais ou plurianuais. As evidências empíricas disponíveis indicam que a variabilidade climática decorrente da ação da ZCIT é combinada com os fatores que determinam o regime pluviométrico na Zona da Mata e no Nordeste meridional.

O clima no Ceará, apesar de evidente predominância do semiárido - com irregularidades pluviométricas temporo-espaciais - apresenta também variações. As manchas úmidas circunscvem os topos e vertentes de barlavento dos maciços e dos planaltos sedimentares. A semiaridez propriamente dita e com *déficits* hídricos durante a maior parte do ano apresenta um caráter acentuado nas depressões interiores como Inhamuns, Irauçuba e Médio-Jaguaribe. Atenua-se nos pés-de-serra, nos baixos maciços e nos sertões mais próximos do litoral. De modo genérico, as chuvas são de verão-outono (março-abril) e as médias térmicas superiores a 24°C configuram o caráter de clima quente ou megatérmico. (SOBRINHO,2006).

O semiárido é a principal região do país com problemas ambientais de degradação devido às condições naturais, aceleradas pelas ações antrópicas. Em tal cenário a vegetação natural de caatinga é substituída por vegetação de baixo porte. Nesse processo de mudança de cobertura vegetal o clima é seriamente afetado. Portanto, afetam as alterações entre a biosfera-terrestre-atmosfera, especificamente os fluxos de radiação, de calor sensível e de calor latente (SOUZA, 2006).

- *Clima de Sobral*

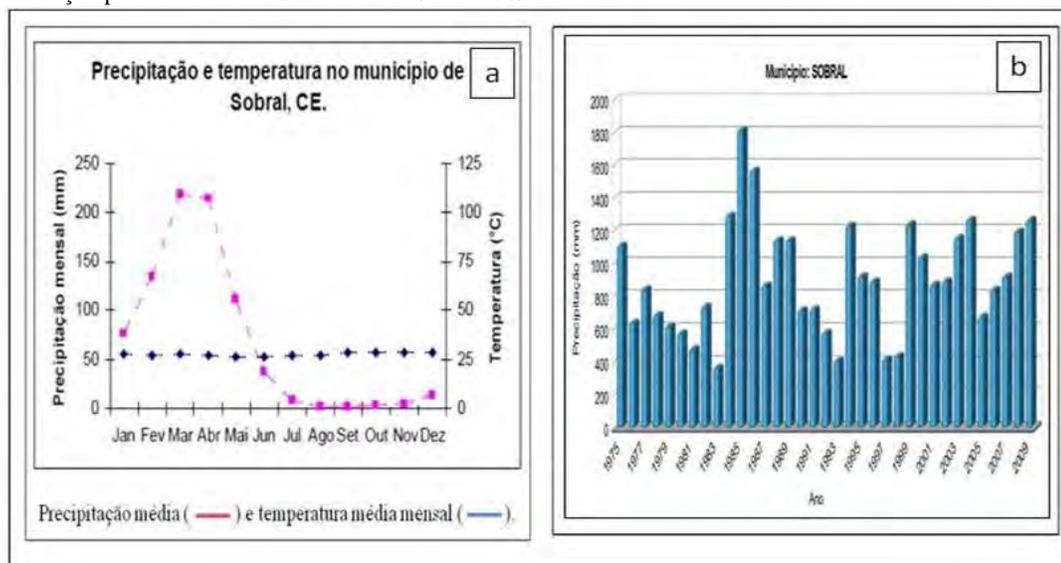
O município de Sobral está compreendido na Região Fisiográfica dos Sertões do Centro-Norte do Estado do Ceará, o maior da zona norte inserido na ecozona semiárida, que se caracteriza, predominantemente, pela escassez de chuva. Pela classificação de Köppen o clima de Sobral é do tipo BShw` - semiárido com curta estação chuvosa no verão-outono, com a maior concentração das chuvas nos meses de março a abril. Segundo Almeida *et al* (2011), as condições climáticas locais de Sobral são fortemente influenciadas pelos deslocamentos da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

Segundo Nôleto (2005) o município de Sobral por estar situado em áreas mais rebaixadas e circundado pela Serra da Meruoca apresenta a particularidade de ter traços do clima Tropical Quente Semiárido Brando com pluviometria variando entre 850 e 1000 mm, o regime pluviométrico concentra-se principalmente nos meses de março, abril e maio.

A figura abaixo ilustra os dados de precipitação que correspondem a uma média de série histórica de 30 anos de 1950 a 1980 e, uma nova média de 37 anos, relativo aos anos de 1975 a 2009 possibilitando observar a existência das duas estações (Figura 07 a), bem como,

definir um ciclo de que aproximadamente a cada 10 anos ocorrem períodos seco e longo e outro úmido, curto e irregular (Figura 08 b).

Figura 08: a) Dados de precipitação correspondem a uma média de série histórica de 30 anos (1950 – 1980). b) Distribuição pluviométrica de Sobral entre 1975 e 2009.



Fonte: a) Mamede (2003). Fonte: b) Almeida *et al* (2011).

Segundo Sobrinho (2006), como característica climática mais expressiva cabe destaque às elevadas condições de irregularidades temporo-espaciais das chuvas na depressão sertaneja, a distribuição das médias dos dias chuvosos, oscila em torno de 42 a 65 dias. Existem algumas disparidades em que a precipitação se concentra em 18 dias ao ano e no máximo em 100 dias. Sobre a serra da Meruoca, que funciona como condensadora de umidade, os valores anuais atingem uma média de 63 dias no período chuvoso, com um máximo de 115 dias.

O clima quente e seco provoca intenso desconforto térmico nos horários de pico do sol. O município apresenta temperaturas médias entre 25° e 30°C em boa parte do ano, mínima de 22°C, média de 28°C e máxima de 35°C, constituindo-se como uma das mais altas do Estado do Ceará. A temperatura média mensal estimada por regressão foi de 27,50°C, oscilando de 26,30°C no mês mais frio (junho) a 28,40°C no mês mais quente (novembro) (AGUIAR JÚNIOR, 2005).

A região é caracterizada por forte insolação, com índices elevados de evaporação, baixa umidade relativa do ar e temperaturas médias elevadas, durante pelo menos 10 meses do

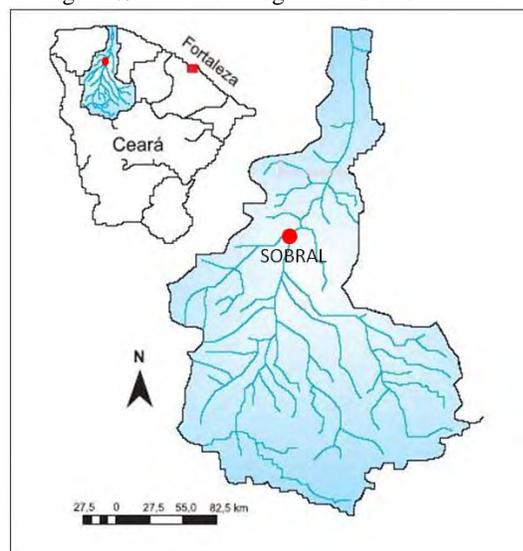
ano. Em Sobral ocorrem elevados índices de evaporação, atingindo o valor de 1914,7 mm no ano. Os valores mínimos ocorrem no mês de março, com 94,7 mm e máximos em outubro (224,7 mm). Com isso, a insolação total anual chega a atingir 2.416,6 horas de sol e com uma média mensal de 201,7 horas. Nos meses mais chuvosos constatam-se médias menores de insolação na faixa de 143,5 horas. Os valores maiores são evidenciados no primeiro semestre do ano, período de maior pluviosidade e os valores menores no segundo semestre, correspondente ao período mais seco (SUCUPIRA et al., 2006).

Através do estudo de ventos para geração de energia eólica na região nordeste, segundo Lima *et. al.* (2010), no município de Sobral (sertão) os valores de velocidade horária do vento variam entre, aproximadamente 2,5 m/s e 4,0 m/s. Os menores valores de velocidade de vento ocorrem nos meses de fevereiro a junho, meses que correspondem, em média, ao período chuvoso, com 3,0 m/s, enquanto que os meses de julho a janeiro, período seco, tem-se os maiores valores em torno de 8,0 m/s.

- Hidrografia

A bacia hidrográfica do rio Acaraú é drenada pelo rio de mesmo nome, está localizada no setor norte ocidental do Estado do Ceará, limitando-se a oeste e sudeste, respectivamente, com as bacias do Coreau e do Parnaíba, a leste e sudeste com as bacias do Litoral e Curu e ao sul com a bacia do rio Jaguaribe (Figura 09).

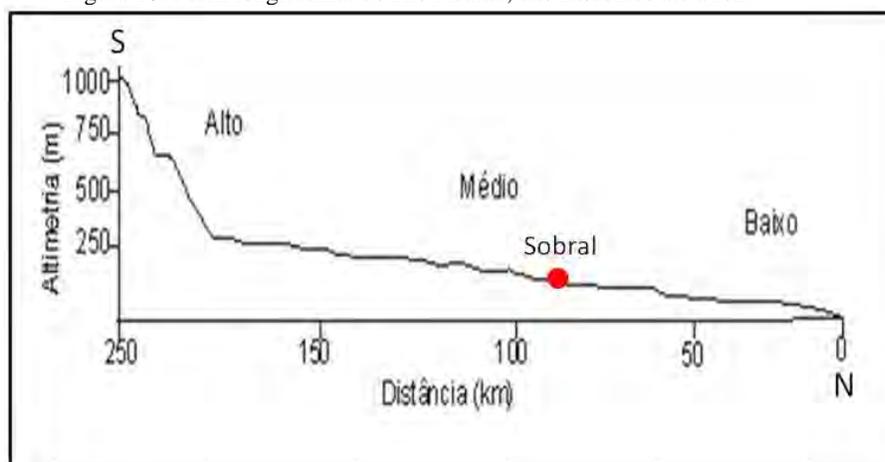
Figura 09: Bacia Hidrográfica do Rio Acaraú.



Fonte: Diniz et al. (2008).

Segundo Sucupira (2006), a Bacia desenvolve-se praticamente no sentido S-N, com aproximadamente 315 km de extensão e, sua disposição é alongada a montante estreitando-se para jusante. Trata-se de uma bacia que ocupa espaços diferentes, ocorrendo nesta área a maior amplitude hipsométrica do Estado, com altitudes variando de 1.145 metros na Serra das Matas no município de Monsenhor Tabosa, onde estão situadas as nascentes (alto curso), o rio no médio curso atravessa grande área de aplainamento. O baixo curso corresponde às áreas mais baixa e planas na bacia até a desembocadura na planície litorânea no município de Acaraú (Figura 10).

Figura 10: Perfil longitudinal do Rio Acaraú, das nascentes até a foz.



Fonte: Sucupira (2006).

A bacia é a segunda mais importante para o Ceará, seu regime difere das outras bacias hidrográficas cearenses por não ser totalmente temporário, tendo água durante maior parte do ano. Recebe inúmeros afluentes, destacando-se pela margem direita os riachos do Feitosa, Macacos e Jucurutu, que trazem água da serra das Matas, além do Groaíras e do riacho Madeira. Pela margem esquerda, os principais afluentes são Jatobá e Jaibaras que vêm da Ibiapaba, além do Acaraú-Mirim que drena as águas da vertente norte e leste da serra da Meruoca (SOBRINHO, 2006).

O rio Acaraú no perímetro urbano da cidade de Sobral recebe importante afluente, o rio Jaibaras, represado no açude Aires de Souza antes de chegar à cidade, no sentido sudeste. Ainda, recebe riachos que descem da vertente leste das serras da Meruoca e do Rosário, sentido W-E, como tributários para o sistema hídrico da bacia, o riacho do Boqueirão, o

riacho Mucambinho no sentido NW-SE; o riacho Cachoeira, o riacho do Córrego dirigindo-se ao rio Acaraú no sentido leste do município. Ao sul, o riacho Oiticica, encontra-se com o Jatobá, formando o sistema chamado de Várzea Grande (AGUIAR JÚNIOR, 2005).

Existem lagoas intermitentes que se encontram nas áreas de acumulação inundáveis, compreendem depressões de pequenos desníveis encontrados em vários pontos da Depressão Sertaneja, que permitem o acúmulo de água no período chuvoso.

No médio curso do Rio Acaraú no município de Sobral, o vale é entalhado por uma rede de drenagem que exhibe um forte controle estrutural. Nos terrenos Proterozóicos (rochas metamórficas de médio-alto grau) e Eopaleozóicos (granitóides, vulcânicas, arenitos e conglomerados bem compactados) identificados em Sobral, caracterizam-se por densidades de drenagem relativamente altas, entre $0,560 \text{ km/km}^2$ e $0,747 \text{ km/km}^2$, indicando substratos pouco permeáveis (SILVA FILHO et.al., 2009). Na depressão sertaneja há domínio do padrão de drenagem subparalelo com o fluxo para o Rio Acaraú a sudeste. As anomalias que predominam são alinhamentos de drenagem com direção E-W. Nota-se boqueirões (superimposições fluviais) que cortam as cristas miloníticas da Falha SPII.

A superfície do topo das serras Meruoca e Rosário o tipo de drenagem que predomina é o subdendrítico, puro ou com variações para angular e subangular, em geral relacionados a litologias do embasamento pré-cambriano, granitóides e rochas vulcano-sedimentares do Grupo Jaibaras. O padrão subparalelo a paralelo ocorre em resposta a setores com declividades intermediárias, associado a monoclinais, vertentes de vales e encostas escarpadas, amiúde relacionadas a terrenos sedimentares (SILVA FILHO et.al., 2009).

Os depósitos aluvionares que ocorrem margeando as calhas dos principais rios e riachos e que drenam a região apresentam, em geral, uma boa alternativa como manancial, tendo uma importância relativa alta do ponto de vista hidrogeológico. Normalmente, a alta permeabilidade dos terrenos arenosos compensa as pequenas espessuras, produzindo vazões significativas (CPRM, 1999). Com cotas que podem alcançar 100 m, possuem a direção do padrão de drenagem no sentido NE-SW. Os alinhamentos E-W são bem difundidos na área, ocorrendo em maiores concentrações a leste de toda a extensão do rio Acaraú.

No município podem-se distinguir dois domínios hidrogeológicos distintos: rochas cristalinas e depósitos aluvionares. As rochas cristalinas predominam totalmente na área e representam o “aquífero fissural”. Como basicamente não existe uma porosidade primária nesse tipo de rocha, a ocorrência da água subterrânea é condicionada por uma porosidade secundária representada por fraturas e fendas, o que se traduz por reservatórios aleatórios, descontínuos e de pequena extensão (CPRM, 1999).

Essas condições atribuem um potencial hidrogeológico baixo para as rochas cristalinas sem, no entanto, diminuir sua importância como alternativa de abastecimento em casos de pequenas comunidades ou como reserva estratégica em períodos prolongados de estiagem (CPRM, 1999).

- *Bioma Caatinga*

A Caatinga, bioma único no mundo, situa-se entre o Equador e o Tropicó de Capricórnio (cerca de 3° a 18° sul). Portanto, dispõe de abundante intensidade luminosa, em todo seu território, durante todo o ano. As altitudes são relativamente baixas; exceto uns poucos pontos que ultrapassam os 2000m, na Bahia, os outros pontos extremos ficam pouco acima dos 1000m. As temperaturas são altas e pouco variáveis, espacial e temporalmente, com médias anuais entre 25°C e 30°C e poucos graus de diferença entre as médias dos meses mais frios e mais quentes (SAMPAIO, 2003).

Prado & Pennington *et al.* (2000) propuseram que a caatinga faz parte de uma unidade fitogeográfica maior, a Província das Florestas Tropicais Sazonalmente Secas (SDTF, *Seasonally Dry Tropical Florest*), que deve ter apresentado sua expansão máxima durante as fases mais secas de Pleistoceno (CARDOSO e QUEIROZ, 2010).

Botanicamente, a caatinga constituiu-se de um complexo vegetal rico em espécies lenhosas e estão representadas, destacando-se as leguminosas, euforbiáceas e cactáceas. O que chama a atenção no componente herbáceo é a ausência quase completa de espécies perenes e a presença marcante de espécies efêmeras que completam seu ciclo fenológico nos primeiros 45 dias após o início das chuvas. A participação do estrato herbáceo na composição e produção de fitomassa da caatinga varia em função da cobertura das espécies lenhosas (ARAÚJO FILHO & CARVALHO, 1997).

A vegetação de caatinga é do tipo de floresta estacional decidual caracterizada pelo seu porte baixo formada por árvores e arbustos caducifólios, que muitas vezes apresentam espinhos ou acúleos e microfilia, o estrato herbáceo se faz presente apenas durante a curta estação chuvosa (CARDOSO e QUEIROZ, 2010). As árvores e arbustos podem formar uma vegetação fechada ou agrupar-se em pequenas associações dispersas resultando numa fisionomia mais aberta (ANDRADE-LIMA, 1981).

A flora singular é constituída por formações deciduais xerófilas (caatingas) e mesófilas (matas-secas), que expressam a verdadeira condição do ambiente (FERNANDES, 1992). As espécies permanentes são quase todas caducifólias, com exceção das cactáceas (*áfilas*) e de algumas poucas espécies sempre verdes como o Juazeiro (*Ziziphus joazeiro*

Mart.), a Carnaúba (*Copernicia prunifera* (Mill.) H.E. Moore), e a Oiticica (*Licania rigida* Benth.) que ocorrem predominantemente nas margens dos rios e riachos. As perdas das folhas assim como outras adaptações morfofisiológicas permitem à flora permanente sobreviver ao período desfavorável da seca (SCHNELL, 1987).

As paisagens típicas de caatinga correspondem a terras baixas, em geral, depressões interplanálticas de solos rasos e pedregosos, sem ou com o lençol freático de distribuição restrita, mas, com setores de solo sedimentar, como os solos arenosos das bacias sedimentares (ZANELLA, 2010; CARDOSO e QUEIROZ, 2010).

O relevo onde predominam as caatingas é suavemente ondulado a ondulado representado pelas depressões interplanálticas, contrastando com as áreas das chapadas, onde predominam os cerrados, campos rupestres e diferentes tipos de florestas (Duarte, 1992). Historicamente este bioma e conseqüentemente o solo vêm passando por transformações em função da sua natureza frágil aliada a uma associação de diversas atividades antrópicas provocando sua degradação.

Araújo Filho et al. (1995) relataram que extensas áreas da caatinga se encontram permanentemente em estádios pioneiros de sucessão, sem perspectivas de recuperação. A preservação do bioma caatinga vem ocorrendo com a implantação de Unidades de Conservação, porém, são relativamente raras e pequenas, sendo que as de uso indireto cobrem uma pequena fração da área original e estão concentradas em algumas das ecorregiões, por exemplo, na Chapada da Ibiapaba no Ceará. As áreas de cristalino da depressão sertaneja são especialmente mal protegidas por Unidades de Conservação.

A utilização do planejamento da paisagem, em diferentes escalas, tem-se mostrado excelente ferramenta para definir áreas prioritárias para conservação e recuperação. Assim, as informações sobre a qualidade ambiental são mais completas e fornecem dados mais elucidativos sobre a eficácia dos procedimentos de recuperação. Deste modo, se faz indispensável à reflexão sobre a importância da avaliação do estado do solo.

- *Vegetação de Sobral*

Por estar inserido na região semiárida cearense, Sobral encontra-se sob domínio dos sertões secos da caatinga, de natureza excepcional, cujo contexto climático e hidrológico configura uma mudança de paisagem: cinzenta e sem vida nos períodos de longa estiagem, esverdeando de repente quando chegam às primeiras chuvas. As cactáceas e outras espécies do sertão restauram sua biomassa pela fotossíntese, aproveitando a forte luminosidade e a água nelas armazenadas.

Na porção definida como pertencente ao município, os solos da depressão sertaneja acham-se recobertos por caatinga densa e de porte arbóreo ou ainda arbustiva esparsa, como por exemplo, jurema preta (*Mimosa hostile*), catingueira (*Caesalpinia bracteosa*), mandacaru (*Cereu jamacaru*), angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa*), aroeira (*Astronium urundeuva*), um estrato herbáceo composto predominantemente pela ocorrência da Gramínea (*Poaceae*) conhecida como capim panasco (*Aristida setifolia*), dentre outras (FIGUEIREDO, 1989).

O mosaico de solos da Serra da Meruoca é revestido primeiramente por matas condicionadas pelas chuvas orográficas, cujas espécies predominantes são a tuturuba (*Lacuna granflora*) jatobá (*Hymenaea corbaril*), maçaranduba (*Manilkara rufula*) e murici (*Byrsonima crassifolia*), dentre outras. Na porção seca da serra, a cobertura vegetal é caracterizada por mata seca, sendo as espécies representativas a jurema preta (*Mimosa hostile*), o angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa*), aroeira (*Astronium urundeuva*), Gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium*), mulungu (*Epythrina velutina*), dentre outras.

As palmeiras carnaúbas e os babaçus estão presentes na Serra da Meruoca, nativos, porém, cultivado para retirada da fibra, madeira, óleos essenciais, adubo, alimento humano e animal, bebidas e fármacos, ale, da cera e da celulose, originárias da carnaúba (SÁ, 2002).

Nas várzeas, áreas típicas das planícies, o solo é recoberto originalmente pelos carnaubais (*Copermeia cerifira*), associada a numerosas outras espécies florestais em equilíbrio (FIGUEIREDO, 1989).

3.7. História do Uso e Ocupação do Município de Sobral

No início do século XVII, a estratégia de colonização portuguesa no sertão cearense era a doação de terras (sesmarias) para a criação de gado como atividade principal. A ocupação territorial do Ceará deu-se pela implantação das fazendas de gado por criadores que partindo de Pernambuco e Bahia, passaram pelo interior da Paraíba e Rio Grande do Norte entrando pelo Sul do Ceará pela região do Cariri através de rotas. Foi no entroncamento das rotas, no século XVIII, formando um eixo comercial, que Sobral nasceu e cresceu dedicada inicialmente às atividades pastoris e comerciais (GIRÃO e SOARES, 1997).

A cidade de Sobral implantou-se às margens do Rio Acaraú, mais ou menos no ponto médio de sua ribeira. Sobral nasceu da Fazenda Caiçara, resultando do sucessivo parcelamento da Sesmaria de Antônio da Costa Peixoto, datada de 14/10/1702. Já havia o povoado da Caiçara, quando a igreja solicitou terras para sediar o Curato do Acaraú em 1742.

Com a construção da Igreja Matriz, o núcleo urbano desenvolveu-se alicerçado na criação de gado e venda do charque para a zona canavieira da Parnaíba e Pernambuco, possibilitando a elevação do povoado à Vila Distinta e Real de Sobral, em 1773 (Ursulino et al, 2006, “Construindo a Agenda 21 de Sobral”).

A topografia também influenciou na escolha do sítio para implantação do primeiro povoado à margem do rio, pois a cota deste lado era mais alta o que o protegeria das enchentes. O primeiro vetor de expansão do núcleo histórico foi no sentido oeste à Matriz de Caiçara, com casario e igrejas, dando as costas para o rio, aproveitando trechos mais estreitos do Acaraú, devido à rápida travessia de canoa (GIRÃO e SOARES, 1997).

O município e a cidade de Sobral nasceram através das fazendas de gados suprimindo a vegetação de caatinga primária, para fazerem suas plantações. Nesta época consta na história que o Senhor Vicente Ferreira da Ponte foi o primeiro que penetrou na Serra da Meruoca, para explorações agrícolas. O primeiro sítio a ser instalado pelo Capitão Mor José de Xerez Furna Uchoa, foi também, o primeiro a ser cultivado com as primeiras mudas de café, em 1747 (GIRÃO e SOARES, 1997).

Quatro anos após a criação da Vila, veio à seca dos “três setes” (1777), causando o início do declínio da pecuária. A função comercial fortaleceu o elo entre o interior e o litoral, ligando Sobral com o mercado nacional (capitanias de Pernambuco e Bahia – as principais). Existia intenso tráfego comercial em lombo de tropas de jumentos ou em carros de bois, entre Sobral e o porto de Acaraú, levando carne salgada, couro e sola para o litoral e trazendo de volta tecidos, artigos manufaturados, objetos de louça e prata e também alguns negros (AGUIAR JÚNIOR 2005)..

No século XIX, em 1841, Sobral passa de vila a cidade, e, diante do crescimento do aglomerado urbano, tanto em população quanto na diversificação das suas atividades econômicas e culturais. A “seca dos dois setes” (1877-1878) acarretou quase o total declínio do comércio das “charqueadas” no Ceará. A saída encontrada pelos fazendeiros foi plantar algodão, cultura que seria responsável pela intensificação da erosão do solo, em razão do desmatamento de grande parte da vegetação, para dar lugar ao seu plantio (AGUIAR JÚNIOR 2005).

Este século é marcado pela difusão das atividades algodoeiras. Fortaleza enriqueceu com o “ouro branco”. Sobral também reforçou sua economia, virando centro político e cultural da região norte da Província do Ceará. Ambas transformaram seus centros urbanos, ganhando ares de cidades comerciais, retomando o crescimento da economia cearense. A economia do gado teve notória decadência, nesse período, porém o binômio do gado-algodão

ainda foi o responsável pela expansão da cidade de Sobral. Outros tipos de indústrias sobralenses foram as extrativistas de produtos vegetais e minerais, cuja matéria-prima era comum na região, como: oiticica, palha e cera de carnaúba, mamona, argila (olarias), calcário, pedras (paralelepípedo) etc.

Ao se iniciar o século XX, o movimento da Estrada de Ferro de Sobral já era bastante acentuado, não somente no transporte de passageiros e bagagens, como também de mercadorias e animais. Segundo Oliveira (1994), na década de 1910, o transporte de Sobral a Fortaleza era feito a cavalo, em comboios que percorriam estreita estrada carroçável, em, aproximadamente, cinco dias. A Estrada Sobral-Meruoca foi iniciada em 1916 e terminada em 1918, indo até a Mata Fresca, hoje limite entre os dois Municípios. Era pavimentada de pedras com numerosas curvas e aclives, em alguns pontos muito íngremes. Em 1919, chegou o primeiro Jipe com a comissão científica de Einstein para observar o Eclipse Solar. A partir da década de 1920, começou-se a utilizar, como meio de transporte entre as cidades, caminhões mistos, os paus-de-arara (AGUIAR JÚNIOR 2005).

As estradas fizeram a economia de Sobral crescer, o comércio era, no século XIX, e ainda é, no século XXI, a principal atividade econômica dos sobralenses. Praticamente não havia loteamentos em Sobral entre o século XIX e metade do século XX, mas sim glebas com poucos donos. Na periferia era comum o espaço agrário confundir-se com o espaço urbano, existindo ainda vacarias e plantações em bairros residenciais, a maioria localizada próximo ao rio Acaraú. Comumente, via-se e ainda se vê, embora raro, o gado andando nas ruas da cidade (AGUIAR JÚNIOR 2005).

As administrações da cidade de Sobral a partir da década de 70 no século XX deram início ao processo de crescimento econômico, com diversas ações como a construção do Palácio Municipal de Sobral, atualmente prédio da Prefeitura de Sobral, em 1979, com estilo moderno. Este criou uma nova centralidade administrativa e expansão de um núcleo comercial e residencial ao seu redor (casas, comércios, serviços). Com estas ações houve a necessidade de extração de bens minerais como areia, argila, cimento (AGUIAR JÚNIOR 2005).

Historicamente, o município de Sobral sofreu e sofre impactos do processo de uso e ocupação, que degradam o solo paulatinamente, ocasionando a remoção da cobertura do solo, levando ao aumento do escoamento superficial e gerando degradação no solo.

3.8. Degradação

Entende-se degradação como a redução ou perda da produtividade biológica ou econômica de uma área (MMA, 2004). O conceito de área degradada contrasta com o de área perturbada, quando, no primeiro caso, a resiliência (tempo necessário para que as variáveis de um sistema retornem ao equilíbrio após o distúrbio) está comprometida, e a intervenção humana é necessária para a recuperação da cobertura vegetal aos padrões originais, enquanto, no segundo caso, observa-se a manutenção da resiliência (GALVÃO e PORFÍRIO DA SILVA, 2005).

Pela definição da agenda 21, degradação em terras áridas que implica na perda da produtividade biológica ou econômica em terras agrícolas, de pastagens e matas nativas. De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da sua NBR 13030 (específica para mineração), definem-se áreas degradadas como “áreas com diversos graus de alterações dos fatores bióticos e abióticos” (GALVÃO e PORFÍRIO DA SILVA, 2005).

O Manual de Recuperação de Áreas Degradadas pela Mineração do IBAMA define que “a degradação de uma área ocorre quando a vegetação nativa e a fauna forem destruídas, removidas ou expulsas; a camada fértil do solo for perdida, removida ou enterrada; e a qualidade e o regime de vazão do sistema hídrico forem alterados. A degradação ocorre quando há perda de adaptação às características físicas, químicas e biológicas e é inviabilizado o desenvolvimento socioeconômico” (GALVÃO e PORFÍRIO DA SILVA, 2005).

No caso da área biológica, esses conceitos estão mais ligados aos aspectos relacionados à evolução de ecossistemas, onde essas alterações são resultantes de atividades humanas e que não podem ser corrigidas rapidamente. Essas podem ser divididas em três situações influenciadas pelo caráter temporal: os distúrbios súbitos e inesperados, como os decorrentes de acidentes ou falhas de origem tecnológica em processos industriais; os distúrbios que ocorrem em período de tempo significativo, mesmo que tenham sido detectados apenas recentemente, como os derivados de descargas de efluentes industriais; e os distúrbios planejados, como os de mineração em superfície.

Na geomorfologia e no paisagismo, esses conceitos assumem uma perspectiva espacial (“*land disturbance*”), correlacionando-o com os efeitos geomorfológicos produzidos na paisagem por diferentes atividades humanas como mineração em superfície, urbanização, pastagem, agricultura, usos recreativos e construção civil. Reconhecem que muitos desses distúrbios têm importância menor ou são transitórios e que a paisagem pré-existente pode ser

recuperada para uma forma aceitável de produtividade e em conformidade com um plano de uso prévio.

Power e Myers (1991), citados por Dias e Griffith (1998), definem qualidade de um solo como a sua capacidade de manter o crescimento de plantas, incluindo fatores como agregação, conteúdo de matéria orgânica, profundidade, capacidade de retenção de água, taxa de infiltração, capacidade tampão de pH e disponibilidade de nutrientes. Uma definição mais holística se refere à capacidade de um solo funcionar como ecossistema limite para sustentar a produtividade biológica e manter a saúde de plantas e animais (DORAN; PARKIN, 1994).

Em regiões tropicais, uma das causas mais frequentes de degradação é a remoção da vegetação seguida de queimada, para o cultivo de culturas agrícolas. Após a exaustão do solo, a área é transformada em pastagem e abandonada posteriormente. No semiárido, a caatinga arbórea ou arbóreo-arbustiva de há muito vem sendo progressivamente devastada. Com o declínio das espécies mais palatáveis pelo gado e que integravam as comunidades vegetais primárias, criam-se condições para que a sucessão ecológica seja dominada por plantas invasoras como a jurema preta e algumas cactáceas. Configura-se assim um quadro de dinâmica ambiental regressiva repercutindo negativamente.

A região Nordeste apresenta uma área de 1.662.000 km². Destes, 40% são de áreas úmidas costeiras, chapadas altas e de vegetação pré-amazônica maranhense, e 60% são de terras semiáridas, com risco alto a muito alto de degradação (BARRETO e SILVA, 2000) devido às condições climáticas, à natureza dos solos e à cobertura vegetal. Cerca de 181.000 km² das terras semiáridas do Nordeste estão em processo de desertificação (graus alto e muito alto de degradação ambiental) (MMA, 2001; 2003).

A EMBRAPA (Semiárido) gerou mapas que mostram o grau de degradação ambiental para cada um dos estados do nordeste e enfatizam o nível de severidade com que eles aparecem. Uma das últimas pesquisas realizadas aponta que os estados do Ceará e da Paraíba têm as maiores áreas, em termos percentuais, com problemas de degradação ao nível severo, seguidos de perto pelos estados de Pernambuco e Bahia. O nível de degradação ambiental severo aparece principalmente nas áreas dos estados onde se encontram solos do tipo Luvisolos. O nível de degradação ambiental acentuado está mais relacionado às áreas de solos litólicos, ou seja, solos mais jovens (menos intemperizados).

De acordo com a tipologia de espaços degradados apresentada por Ab´Sáber (1977), identificam-se no Ceará as seguintes feições indicadoras do processo de degradação: “Altos pelados”, “salões”, vales e encostas secas, lajedos e campos de inselbergs, chãos pedregosos e áreas degradadas por raspagem. Elas são resultantes de séculos de atividades rurais praticadas

com técnicas muito rudimentares, centradas no pastoreio extensivo e algumas décadas de ações deliberadas de intervenção antrópica, com acentuado crescimento demográfico paralelo.

3.9. Recuperação

Da capacidade de reação dos ecossistemas aos distúrbios, derivam os conceitos de resiliência e estabilidade. Resiliência é a capacidade de um ecossistema se recuperar de flutuações internas provocadas por distúrbios naturais ou antrópicos e um ecossistema é estável, quando reage a um distúrbio absorvendo o impacto sofrido, sem sofrer mudanças, e ajustando-o aos seus processos ecológicos. Como consequência, a sua resiliência diminui como também a sua resposta a novos distúrbios, podendo chegar a um ponto em que o ecossistema entra em colapso com processos irreversíveis de degradação. A partir destas premissas, derivam os conceitos de estabilidade propostos por Pimm (1986) citado Engel & Parrota (2003), quais sejam: resiliência, persistência e resistência (Quadro 01).

Quadro 01: Conceitos sobre estabilidade, resiliência, persistência e resistência.

Termo	Definição
Estabilidade	Capacidade de todas as variáveis de um sistema retornar ao equilíbrio inicial após a ocorrência de um distúrbio.
Resiliência	Tempo necessário para que as variáveis de um sistema retornem ao equilíbrio após o distúrbio.
Persistência	Tempo necessário para que uma variável mude para um novo valor.
Resistência	Grau em que um sistema se mantém constante após um distúrbio.

Fonte: Schianetts, 1999.

Na literatura sobre manejo dos recursos naturais degradados costuma-se observar o uso de vários termos como recuperação, reabilitação, restauração, regeneração, revegetação, recomposição, entre outros, cujos métodos estendem-se ao manejo e conservação de solos degradados, áreas afetadas por mineração, florestas, pastagens, áreas abandonadas, recursos hídricos e outros (LIMA, 1994). Porém, recuperar não é sinônimo de reabilitar, nem de restaurar.

Reabilitar ou recuperar áreas degradadas ou alteradas pela atividade do homem, ou como consequência dessas atividades, via uso da vegetação, pressupõe o conhecimento de dois componentes de fundamental importância: o solo e a própria vegetação de tal forma que

as plantas se desenvolvam melhor em função de sua adaptação ao clima local, ao teor de nutrientes e de umidade do solo (SCHIANETZ, 1999).

De qualquer forma, a recuperação de uma determinada área depende da atividade que a tornou degradada bem como com o uso futuro do solo. No entanto, independente deste fato, o primeiro passo será dar nova vida ao solo, devolvendo-lhe ou dando-lhe nova condição de sustentar eficientemente as plantas que comporão sua cobertura vegetal, ou seja, restabelecendo suas características físicas, químicas e biológicas (SCHIANETZ, 1999).

A escolha ou criação de um modelo de recuperação é um processo em constante aprimoramento, que vai desde a utilização de obras de engenharia, de adubações, à utilização de serrapilhagem, arbustos, arbóreas (nativas ou exóticas), ou mesmo a utilização de tecnologias como a inoculação de micorrizas e bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico nas raízes das plantas.

O Decreto Federal 97.632/89 lembra que o objetivo da recuperação é o “retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com um plano preestabelecido para o uso do solo, visando a obtenção de uma estabilidade do meio ambiente”, o que incorpora o conceito de reabilitação, restauração, regeneração ao de recuperação, este, portanto mais abrangente talvez por isso, mais usualmente empregado. A recuperação e preservação dos recursos naturais renováveis devem ser realizadas de maneira integrada, garantindo seu uso sustentável (CAVALLI e LOMBARDI NETO, 1998).

A regeneração natural contribui para melhorar a fertilidade do solo, mas depende da dispersão de sementes das áreas de entorno e/ou de um banco de sementes, que se encontra na camada superficial do solo (CAMPELLO, 1996; DIAS e GRIFFITH, 1998).

A transposição de solo de pequenos núcleos das áreas de entorno, e de distintos níveis sucessionais, de solo não degradado representa grande probabilidade de recolonização da área com a comunidade de micro-organismos, sementes e propágulos de espécies vegetais pioneiras (REIS, ESPÍNDOLA e VIEIRA, 2003). Esta técnica permite a reintrodução de populações de espécies da micro, meso e macro fauna/flora do solo, incluindo os microrganismos decompositores, fungos micorrízicos, bactérias nitrificantes, minhocas, algas, etc., fundamentais no processo de ciclagem de nutrientes, reestruturação e fertilidade do solo, além das sementes de diferentes espécies (SILVA et al., 1994).

A “Hipótese Aumond” estudada preliminarmente por Regensburger (2000) e por Neppel (2003) propõe a formação de uma topografia irregular a fim de aumentar o fluxo de matéria e energia internamente nesse sistema (considerando que a área degradada seja um sistema).

Outra técnica é a do Gradiente Térmico, a temperatura é um fator limitante dos processos fisiológicos e, por conseguinte da própria fotossíntese, porque pode acelerar ou inibir as reações metabólicas. Em áreas com topografia irregular, a temperatura do solo e do ar é amenizada devido ao menor tempo de exposição direta ao espectro eletromagnético por unidade de área e devido ao processo de difusão da luz, mantendo-o numa faixa mais constante e propício ao metabolismo das plantas.

A produção de serrapilheira controla diretamente a quantidade de nutrientes que retornam ao solo e por esta razão constitui um importante processo de controle da ciclagem de nutrientes (BARNES et al., 1997). Os nutrientes, fornecidos pela degradação desse material, são absorvidos pelas raízes das plantas e são usados no metabolismo das plantas, como crescimento e manutenção dos tecidos, proporcionando o desenvolvimento dos vegetais e, conseqüentemente, de todo o ecossistema.

Uma contribuição para acelerar a sucessão vegetal, com o objetivo de revegetar áreas degradadas ou alteradas por ações antrópicas, é utilizar poleiros artificiais para pouso de avifauna como foco de recrutamento de sementes (GUEVARA e LABORDE, 1993; MELO, 1997; REIS, ESPÍDOLA e VIEIRA, 2003). Muitas aves características de locais abertos, tais como bem-te-vi, siriri, sabiás, preferem pousar em galhos secos que dominam a região. A colocação de varas secas ao longo de áreas degradadas oferece esse recurso para as aves, que por sua vez, ao ficarem pousadas mais tempo nesses poleiros artificiais, deixarão sobre o solo, sementes trazidas em seu intestino ou papo.

Os Métodos de Controle da Erosão decorre da declividade do terreno e o volume e intensidade da precipitação. Os diversos métodos de conservação do solo visam reduzir/evitar a ação da água da chuva sobre o terreno. O nivelamento de uma vertente é imprescindível em trabalhos de conservação do solo, pois, através dele, se podem determinar as diferenças de altitude entre dois ou mais pontos consecutivos, o que permitirá o cálculo da inclinação ou pendente (declividade) do terreno.

A bioengenharia de solos consiste no uso de elementos biologicamente ativos em obras de estabilização do solo e sedimentos. Esses elementos podem ser vegetação, conjugados a elementos inertes (representados por rochas, concreto, madeira, ligas metálicas, polímeros naturais e sintéticos, e geotêxteis, dentre outros) (KRÜEDENER, 1951; citada por SCHIELTZ e STERN, 1996). A utilização destas técnicas, que são conhecidas pela maioria dos planejadores, mesmo que em alguns casos, seja apenas conhecimento empírico, apresenta vantagens listadas abaixo:

- Requer-se mais mão-de-obra, de menor qualificação técnica, e menos maquinário. O custo final de implantação pode ser menor. Assim, pode-se ter uma maior relação entre custo e benefício.
- São utilizados, na maioria das vezes, materiais naturais e locais, como madeira, pedras, composto orgânico, dentre outros, que reduzem os custos de transporte, além de gerarem benefícios locais.
- De modo geral, há uma redução em erodibilidade de solos e em escorregamentos, devido à interceptação do impacto das gotas de chuva.
- O aumento da área verde reduz o impacto visual.
- Há aumento da infiltração, com consequente diminuição da área impermeabilizada, não sobrecarregando o sistema de drenagem.
- Diminuição da umidade, com subsequente aumento da estabilidade.
- Há aumento da coesão aparente, devido à presença de raízes.
- Pode ser executada em locais de difícil acesso.

De modo geral, as técnicas de bioengenharia podem aumentar a estabilidade de taludes, principalmente por aumentar a resistência ao cisalhamento do solo com raízes e/ou pela interrupção de superfícies de rupturas rasas, que pode ser feita enterrando-se caules de plantas. Ramos de arbustos vivos (por exemplo, ramos de ciprestes) podem ser inseridos em forma de camadas no solo, ao longo da superfície de talude do mesmo, para atuar como dreno horizontal e assim aumentar a estabilidade ao redirecionar o fluxo de água do interior de solos, em adição ao fato de que estes ramos estão reforçando mecanicamente o solo (SCHIANETZ, 1999).

Os geossintéticos normalmente utilizados em obras de proteção ambiental são: geomembranas, GCL's, geotêxteis, georedes, geogrelhas, geocompostos e geotubos (KOERNER e DANIEL, 1997; MARQUES, 1998). Os geossintéticos utilizados como condicionadores de solo, denominados "Rolled Erosion Control Products" (RECP), podem ser combinados com plantas e têm a função básica de proteção do local quanto à erosão, além de auxiliar no crescimento da vegetação e proteção de sementes. O seu uso busca o restabelecimento dos horizontes superficiais do solo, por meio da incorporação de matéria orgânica, adubos químicos, fixação das sementes e consequente formação de um estrato arbustivo.

As coberturas mais comumente utilizadas para estas finalidades são: palha, cavacos de madeira, rocha triturada, plantio de sementes, ou o "mulch", constituído por uma camada de

material orgânico que pode conter sementes de gramíneas e/ou leguminosas. Os RECP podem ser subdivididos em temporários, do tipo mantas degradáveis (fotodegradáveis, biodegradáveis) e permanentes, ou seja, com capacidade de decomposição em condições naturais ou não (MORGAN e RICKSON, 1995).

Empresas Mineiras trabalham com uma sistemática acerca do potencial de utilização de PRCE's (produtos em rolo para controle de erosão), em condições brasileiras, visando o controle de erosão laminar em chuva simulada e da estabilidade de talude de corte rodoviário, de alta declividade utiliza-se a Tela Vegetal ARP – 430 é composta de fibras vegetais inteiras de alta densidade e degradabilidade média (12 a 24 meses). A Tela Biotêxtil é composta de fibras vegetais trituradas, de baixa a média densidade e degradabilidade rápida (12 a 18 meses).

Apesar dos avanços obtidos nos últimos anos, os modelos de recuperação gerados ainda estão limitados ao âmbito da ciência e da situação a ser recuperada, com aplicabilidade restringida, muitas vezes, pelos altos custos de implantação e manutenção, sendo necessário maior envolvimento da pesquisa científica no desenvolvimento de tecnologias cada vez mais baratas e acessíveis (KAGEYAMA e GANDARA, 1994; KAGEYAMA, 2003; BARBOSA et al., 2003).

Ações de médio a longo prazo estão sendo empregadas buscando a recuperação das áreas degradadas assegurando a estabilidade e estruturação dos solos por meio da revegetação e da regeneração com o uso de matéria orgânica, pois é de amplo conhecimento a inter-relação da vegetação e do composto orgânico com a morfologia, a química e a biologia do solo (RESENDE et al., 2002; GARAY et al., 2003), visando proporcionar condições de equilíbrio ao solo, controlando a degradação, além de melhorar a estética visual da área.

O planejamento e a execução das ações de recuperação de uma área degradada devem ser compreendidos como um processo contínuo (início, meio e fim) e dinâmico (vivo), pois pode demandar anos o cumprimento de suas ações, durante os quais muitos fatos certamente passarão por mudanças, como por exemplo, o contexto político e social, modificações nas leis e algumas alterações no cronograma financeiro e de execução dos empreendimentos (URSULINO et al., 2010).

3.10. Matéria Orgânica e Composto Orgânico

De acordo com Krauskopf (1972) os compostos de carbonos fabricados por organismos vegetal e animal não são muito estáveis, porém, quando expostos ao oxigênio se decompõem e formam os compostos orgânicos. Os carboidratos e as proteínas (compostos orgânicos naturais) se decompõem através de reações orgânicas como a fotossíntese, a decomposição aeróbica e anaeróbica, redução e polimerização e, de reações auxiliadas por bactérias e fungos produzindo um material humificado.

Uma das principais etapas da decomposição é a hidrólise, esta reação química induz os elementos ionizados d'água (H^+ e OH^-) a substituírem, de modo equivalente, outros íons. São produzidos um forte agente redutor (carboidrato) e um forte agente oxidante (O_2), a partir de um grande agente redutor fraco (H_2O) e um agente oxidante igualmente fraco CO_2 , transformando o material orgânico que recebe a energia do sol e, têm como produto final de decomposição da matéria orgânica, o húmus (KRAUSKOPF, 1972).

Dafert, em 1893 (primeiro Diretor do Instituto Agrônomo de Campinas) define o húmus, como “adubo denominado composto que é uma mistura de todos os resíduos, restos e mais substâncias sem valor imediato, existentes ou produzidos na fazenda, reunidos e preparados para fins de estrumeação (matéria orgânica)”. Quando aplicados ou incorporados aos solos aumentam sua fertilidade, criando um ambiente mais adequado ao desenvolvimento das raízes e da planta como um todo (MALAVOLTA, 1989).

A Matéria Orgânica do Solo (MOS) constitui o maior reservatório de carbono da superfície terrestre. Este reservatório é dinâmico, podendo variar em decorrência de práticas de manejo (BAYER e MIELNICZUK, 1997). Na maioria dos solos, o teor de MOS varia de 5 a 50 g kg^{-1} nos horizontes minerais, sendo mais elevados nos Organossolos, com valores acima de 80 g kg^{-1} no horizonte hístico. Apesar de estar proporcionalmente em menor quantidade em comparação à fração mineral, a MOS é importante para os sistemas agrícolas devido a seu efeito nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (FALLEIRO et al., 2003; MEURER, 2004).

Compostos orgânicos são comumente encontrados em solos, cultivados ou não, originários, principalmente, da exsudação de fungos e raízes de plantas (Jones, 1998) e da decomposição e solubilização da matéria orgânica depositada na superfície ou incorporada nos horizontes superficiais do solo (DEVÊVRE et al., 1996). Esses compostos orgânicos apresentam grupos funcionais que participam de várias reações químicas no solo, como complexação metal-orgânica (HUE *et al.*, 1986) e adsorção de íons, podendo promover a

amenização da toxidez do Al trocável, mobilização de cátions no perfil do solo (PAVAN & MIYAZAWA, 1998; ZIGLIO et al., 1999).

Apesar de a adubação orgânica ser prática milenar, ela passou a fazer parte da legislação de fertilizantes, somente a partir de 1982, quando foram criadas as categorias de fertilizantes orgânicos, simples, compostos e organominerais (BRASIL, 1982). Em virtude da quantidade cada vez maior de resíduos orgânicos, gerados pelas atividades humanas, animal e industrial, o uso agrônomico dessas materiais como condicionadores do solo tem se constituído em alternativa viável em termos de preservação ambiental (MELO e MARQUES, 2000).

Atualmente emprega-se a compostagem para a melhoria das propriedades dos solos. Diaz et al.(1993) citam que compostagem é uma decomposição biológica de resíduos consistindo em substâncias orgânicas de origem animal ou vegetal, sob condições controladas, para um estado suficientemente estável para estocagem e utilização.

No início da compostagem, a matéria orgânica passa pela fase latente, que corresponde ao tempo necessário para os microrganismos se aclimatarem com o ambiente em que estão inseridos. Após a fase latente, vem à fase de crescimento, que é caracterizado pelo aumento da temperatura, devido à ação microbiana, até a temperatura mesofílica.

A fase termofílica, na qual a temperatura aumenta até o máximo valor é a fase onde a destruição dos patogênicos é a mais efetiva. Após essa fase, vem à fase de maturação, onde a temperatura decresce até a fase mesofílica e permanecerá por tempo geralmente mais longo que o da fase anterior; finalmente, após 100 a 120 dias, dificilmente em menor prazo, com a estabilização completa do composto quando a matéria orgânica estará humificada, a temperatura baixará mais ainda, mantendo-se próxima ou igual a do ambiente; nesse ponto atingiu-se a estabilização completa do composto, estando a matéria orgânica humificada. (PRIMAVESI, 2002).

O período de compostagem depende fundamentalmente do processo a ser utilizado e do tipo de material a ser compostado. Geralmente varia de 25 a 35 dias para a primeira fase e de 30 a 60 dias para a segunda fase. O composto curado (humificado) apresenta coloração escura, cheiro de bolor e consistência amanteigada, quando molhado e esfregado nas mãos. O produto final deverá ter no máximo 25% de umidade; pH superior a 6,0 e a relação carbono/nitrogênio (C/N) na faixa de 10 a 15 (CNDU, 1979).

Primavesi (2002) relata que o retorno de matéria orgânica ao solo é essencial, e sua aplicação se torna indispensável. Conforme Araújo et al. (2005) os métodos de cobertura são utilizados para fornecer uma proteção superficial rápida para a conservação do solo. Como

por exemplo, o uso de compostagem, a matéria orgânica aplicada ao solo aumenta a proteossíntese nas plantas, pelos seus compostos orgânicos e pela sua diversidade em macro e micronutrientes.

Segundo Guerra (1990), o teor de matéria orgânica do solo é dependente de muitos fatores que exercem sua influência individualmente e em conjunto, tais como: clima, textura do solo, topografia, drenagem, cobertura vegetal e uso da terra. O referido autor salienta, ainda, que as diversas atividades antrópicas levam a uma rápida diminuição da matéria orgânica e sem a incorporação de novos compostos orgânicos (adubação, cobertura vegetal), normalmente, tendem a acelerar as mudanças em outras propriedades físicas e químicas.

Para restabelecer o potencial produtivo de um solo, equilibrar e sustentar o ecossistema, é necessário a elevação do teor da matéria orgânica (ROSCOE et al., 2006). Sua reintrodução ao solo ocorre por meio da adição de resíduos orgânicos.

O composto não é um adubo mineral, mas sim um adubo biológico, onde sua aplicação permite aumentar o rendimento da adubação mineral de 30 a 70% (LINDENBERG, 1990a). O composto é, acima de tudo, um condicionador do solo, assim classificado pelo fato de sua matéria orgânica humificada estar em maior proporção, e que corresponde a cerca de 40 a 70% (LINDENBERG, 1990a). Conforme Quadros *et al.* (2000), a disponibilização de N a partir de resíduos orgânicos garante parte do suprimento inicial demandado pelas culturas de interesse econômico, considerando um material com relação C:N baixa, ou seja, com alta taxa de mineralização.

Então, o valor fertilizante dos adubos orgânicos (manta orgânica) é dependente da fração mineral, que é considerada prontamente disponível às plantas; e da fração orgânica, que necessita ser transformada enzimaticamente, para disponibilizar os nutrientes nele contido, pelo processo de mineralização (TEDESCO et al., 1999).

3.11. Geoquímica do Solo

A proteção dos solos é um grande desafio. O estabelecimento de níveis de referências e de distribuição dos elementos químicos nos solos é uma necessidade urgente (MINEROPAR, 2005). É necessário verificar o nível das alterações nos aspectos qualitativos e quantitativos.

“O conhecimento da ciência geológica tem servido, cada vez mais, aos propósitos humanos (extração e proteção). A análise geoquímica é uma das ferramentas, que tem servido para a busca de informações e soluções sobre a obtenção de recursos minerais para

construção, bem como, para o planejamento de ocupação e recuperação territorial” (SALAMUNI, 2005; In: MINEROPAR, 2005).

A geoquímica é a ciência que estuda a química da Terra tanto como um todo, como cada um dos seus componentes. Estuda a distribuição e migração, no espaço e no tempo, dos elementos químicos que constituem o globo terrestre.

Esta ciência baseia-se na determinação da abundância dos elementos na Terra e no estudo da distribuição e migração dos mesmos, a nível individual, nas várias partes da Terra, nos minerais e rochas, tendo o objetivo de descobrir os princípios que governam essa distribuição e migração (MASON e MOORE, 1982). Os processos através dos quais se dá a transferência dos elementos entre o ambiente primário e o ambiente secundário são diversos, desde processos de meteorização à atividade humana.

Intemperismo é o conjunto de modificações de ordem física, química e biológicas que as rochas sofrem ao aflorar na superfície da Terra, podendo ser denominado: intemperismo químico ou físico. O intemperismo químico ocorre pela diferença de temperatura e pressão entre o ambiente de formação da rocha e a superfície, pela presença de água e oxigênio. Quando uma rocha sofre intemperismo mecânico, ela é quebrada em partículas menores, mas, mantendo suas características originais (TOLEDO, de OLIVEIRA e MELFI, 2003, In: TEIXEIRA et al., 2003).

Segundo Fonseca (2005), os compostos formados durante solução incongruente de minerais primários, íons e moléculas dissolvidas na água e mineral resistentes da rocha, que são liberados pela decomposição de seus vizinhos mais suscetíveis, produzindo a formação do solo. Os óxidos dos elementos são classificados como anfotéros, isto é, podem comportar-se como óxidos ácidos ou como óxidos básicos.

Os óxidos metálicos normais são geralmente básicos e a maior parte dos óxidos não metálicos são ácidos (CHANG, 1994). Os metais são elementos mais ou menos maleáveis, dúcteis, bons condutores do calor e da eletricidade, enquanto que os não-metais são na generalidade elementos maus condutores do calor e da eletricidade. Os semi-metais ou metalóides são elementos com propriedades intermédias entre os metais e os não-metais (CSUROS e CSUROS, 2000).

Duarte (2002) comenta que variação dos elementos maiores durante o intemperismo é conhecida como a Lei de Reiche (1950), segundo a qual o grupo dos elementos: Ca, Na, K e Mg, em conjunto têm uma mobilidade superior à da sílica, e esta, por sua vez tem uma mobilidade maior que as dos sesquióxidos Al_2O_3 e Fe_2O_3 . O autor ainda descreve que os solos

mais imaturos são os constituídos por feldspato potássico, por serem mais estáveis do que o plagioclásio.

A afirmação encontra-se diretamente relacionada com o baixo grau de resistência ao intemperismo dos minerais silicatados primários que os contêm e sua ordem de destruição intempérica ao longo da alteração, concordando com a sequência de intemperização de minerais primários estabelecida por Goldich (1938).

A sequência posta por Goldich (1938), que mostra a série de estabilidade dos minerais em relação à intemperização é semelhante à ordem de cristalização da série de Bowen, a qual nos revela que os primeiros minerais que se formam são os mais estáveis, devido à grande diferença entre as condições físico-químicas do meio em que se cristalizaram e as do meio ambiente superficial. Dos vários agentes do intemperismo químico, a hidrólise é considerada a mais importante, pois se trata do processo de decomposição química que leva à destruição dos silicatos através da água (KRAUSKOPF, 1972).

O grau de intemperismo descreve a evolução do processo de transformação da rocha em solo, devido às transformações físicas e químicas que ocorrem nos minerais constituintes da rocha. Entre os vários métodos de quantificação do grau de intemperismo estão às análises químicas e mineralógicas (FONSECA, 2005).

Desta maneira, observa-se que a complexa dinâmica de agregação é o resultado da interação entre diversos fatores, incluindo aspectos ambientais, influências edáficas, como a textura e composição mineral e o uso e manejo do solo. A partir daí surge a necessidade de conhecer a dinâmica desses fatores e seu papel na formação do solo. A primeira relação de métodos químicos para caracterização de solos foi apresentada por Paiva Netto et al. (1946).

A análise pedogeoquímica é muito utilizada para identificar áreas com alta e baixa concentração de elementos traços (WELCH et al., 1991), além de ser um excelente critério para julgar a extensão de acumulação de um determinado metal no solo (GUPTA, 1991), o que pode orientar os estudos da potencialidade de ocorrência de problemas nutricionais (em plantas e animais), de saúde e ambientais. Identificar os argilominerais presentes nos solos constitui-se como mais uma ferramenta de avaliação da qualidade dos solos e da identificação de reserva de minerais, que segundo Sampaio (2006), trata-se da capacidade dos minerais primários e secundários atuarem como reserva de nutrientes, que depende da sua granulometria e resistência à meteorização.

O termo “barreira geoquímica” foi introduzido por Perelman (1961, In: Sampaio, 2006), para definir os locais nas paisagens onde ocorre a brusca diminuição da intensidade de migração dos elementos químicos e, como consequência, a formação de anomalias de

elementos químicos nos solos, nos sedimentos ou nos organismos vivos. São considerados, bons indicadores geoquímicos, sustentados pela análise pedogeoquímica, a composição mineralógica; conteúdo de sílica reativa e conteúdo de sílica livre.

São chamados de intemperismo biológico, os processos de intemperismo de rochas causados por fatores biológicos. O papel dos organismos é determinado pela sua capacidade de assimilar vários elementos da rocha em processo de alteração e, de produzir em seu metabolismo agentes químicos, como por exemplo, os ácidos orgânicos. Tais processos podem ser tanto de natureza física como química.

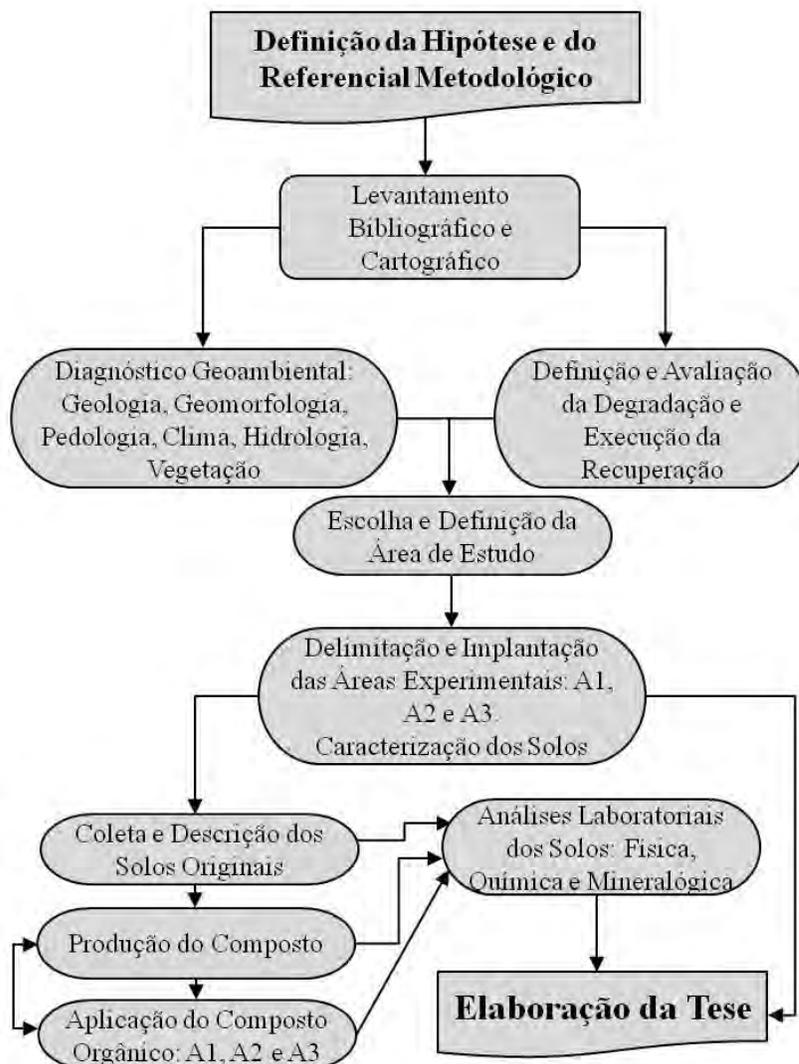
São processos de natureza física causados por organismos, entre outros, a pressão de crescimento de raízes, no caso destas estarem ocupando fendas de rochas. Assim também animais escavadores têm papel importante ao facilitarem a remoção de materiais alterados. Entretanto os processos de natureza química são muito mais importantes, destacando-se processos no quais vegetais superiores promovem a dissolução química das rochas através de substâncias ácidas produzidas pelas suas raízes, e assimilam elementos tais como K, Na, Ca, Al, Fe, etc., existentes nos minerais das rochas.

Os primeiros estágios da decomposição biológica de rochas são associados com microrganismos (fungos e bactérias) que "preparam" a rocha para o ataque químico seguinte promovido por líquens, algas e musgos, sendo os últimos estágios associados com vegetais superiores.

4. MATERIAS E MÉTODOS

O desenvolvimento do projeto de pesquisa foi baseado no levantamento bibliográfico e cartográfico, em estudos de campo e coleta de amostras deformadas e indeformadas dos solos, que compreenderam análises físicas, químicas, a química dos elementos maiores por fluorescência de raios X e identificação dos diferentes tipos de argilominerais e minerais das amostras coletadas, por difração de raios X e micropedologia. A Figura 11 mostra o esquema metodológico empregado no desenvolvimento deste trabalho de pesquisa.

Figura 11: Fluxograma metodológico.



Fonte: Elaboração da autora.

4.1. Levantamento Bibliográfico e Cartográfico

A fundamentação teórica sobre o tema abordado, foi realizada em livros, anais de congresso, revistas, teses de doutorado, dissertações de mestrados, destacam-se: Benayas, Pinalla, Ibarra (2007), Guerra (2005, 1999), EMBRAPA (2004), Gomes & Filizola (2006), Shukla, Lal & Ebinger, (2006), Lima et al. (2007), dentre outros. A contextualização sobre o reconhecimento de pesquisas desenvolvidas no Estado do Ceará foi embasada nos trabalhos de Torquato & Nogueira Neto (1996); Arthaud et al., (1998); CPRM (2003), Silva Filho et. al (2009), Nolêto (2005), Souza, (2005), Lemos (2001) etc., que abordam temáticas sobre a caracterização do Estado do Ceará. E, para o levantamento das características do Município de Sobral foram estudados os trabalhos de Ursulino et al., (2006), Aguiar Júnior, 2005; Nascimento et al. (2006), Evangelista & Lima (2007), Aguiar et al. (2006), Sobrinho (2006), Diniz & Jiménez-Rueda, 2010) entre outros.

Os mapas geológico, geomorfológico e de solos pesquisados foram: RADAMBRASIL (1981), a folha topográfica do IPECE (1998), mapa geológico e modelo digital de elevação da CPRM (2003), mapa de classes de solos do IPECE (2002), mapa morfoestrutural do Ceará e Áreas Adjacentes do Rio Grande do Norte e da Paraíba (Peulvast & Claudino Sales, 2003), bloco de diagrama Silva Filho (2004), e Andrade et al. (2006), mapas geológico, geomorfológico, domínios morfoestruturais, rede de drenagem de Silva Filho et al. (2009), bem como, imagens orbitais do programa Google Earth, página visitada em 2010, 2011 e 2012.

4.2. Diagnóstico Ambiental, Reconhecimento Pedogeológico e a Escolha das Áreas.

O diagnóstico ambiental e o reconhecimento pedogeomorfológico foi adaptado a partir da técnica sugerida por Rodrigues (2004), que define unidades geocológicas como a individualização, a tipologia de unidades regionais e locais da paisagem. Através da análise regional (área de influência indireta) se investigou as condições de formação dos elementos que formaram a estrutura da paisagem e, para a análise das unidades de nível local (área de influência direta) foi abordada a diferenciação paisagística em escala de detalhe.

A descrição geológica da área foi realizada através de um mapeamento de detalhe com o propósito de reconhecer os tipos de rochas e suas correlações com o solo. A caracterização geomorfológica visou observar e descrever os compartimentos da paisagem e sua correlação com a degradação, enquanto que, os solos, preliminarmente (*in situ*) foram analisados por

meio dos testes táteis, desagregação, resistência e compressão (geotécnicas). Após a coleta as amostras foram encaminhadas aos laboratórios (análises pedogeoquímica).

Foram escolhidas três unidades geológicas, associadas a três diferentes superfícies geomorfológicas, que formaram três diferentes solos, como áreas testes. Com base na suspeita da degradação foi realizado um levantamento histórico das áreas (causas naturais e causas antrópicas) através de entrevistas em campo e de estudos bibliográficos.

O planejamento da recuperação das áreas degradadas foi adaptado pela metodologia sugerida por Shianetz (1999). O autor elaborou um fluxograma com esquema de escolha de ação para o levantamento histórico, definição dos objetivos da recuperação, procedimento possível na determinação dos pontos de amostragem e para a execução da recuperação. A técnica foi adaptada para execução deste trabalho, pois havia a necessidade de ações imediatas e de baixo custo.

4. 3. Estações Experimentais e Produção do Composto

Os três sistemas experimentais (A1, A2 e A3) foram montados através da adaptação dos trabalhos de Morgan (1986, 2005) e Guerra (1991, 2002), que apontam que para o controle de erosão as estações experimentais deveriam ter no mínimo 10 metros de comprimento e 1 metro de largura, possibilitando mensurar as perdas e ganhos de solos, que acontecem a cada período chuvoso e de estiagem.

Segundo Guerra et al., 2005, apesar da eficiência que as estações experimentais têm demonstrado em várias partes do mundo, é preciso que seja também possível, extrapolar os resultados para áreas maiores, isso deve ser feito com muita cautela, para que os dados não sejam subestimados ou superestimados. Isso depende de como a estação foi implantada e como o monitoramento foi feito, bem como da sua duração.

Para a construção do sistema experimental levou-se em consideração os aspectos do dia-a-dia, as relações geológicas e geomorfológicas, as relações pedogeoquímicas estabelecidas no ambiente, ciclos naturais e a história local.

Neste estudo as estações experimentais foram construídas em alvenaria. Em razão das condições dos terrenos (afloramentos rochosos, raízes, inclinação) as estações foram dimensionadas com 12m², no nível do solo (em subsuperfície) para não reter a água em excesso e cercadas com uma tela de metal atrelada a um suporte de madeira mista (estaca), para evitar o pisoteio e garantir a integridade das estações. Devido às condições climáticas, as

estações estarem no nível do terreno, a degradação ser pontual, as mesmas foram implantadas no sentido do escoamento, simulando uma situação natural.

A instalação do sistema experimental ocorreu em terrenos com pequenos declives possibilitando a observação da distribuição dos elementos químicos numa escala de detalhamento. Para uma área da estação experimental A1 inclinação do terreno está na faixa de 0 – 2% de declividade. A estação A2 corresponde a um terreno plano com ondulações suaves, enquadrando-se na classe 2-5% de declividade. A3 está implantada em um terreno de meia encosta de declividade moderada na faixa de 6-12%.

Para efeito de comparação as estações foram divididas em duas parcelas, com 6m² cada uma, definidas como: solo exposto (SE) sem tratamento orgânico e solo com composto (SC) com a manta orgânica (Figura 12).

Figura 12: a) Delineamento da estação experimental A2; b) Estação experimental A1 com toda infraestrutura montada, dividida em duas parcelas solo exposta (SE) lado esquerdo e solo com composto (SC) lado direito. Observa-se que a estação foi construída no nível do terreno.



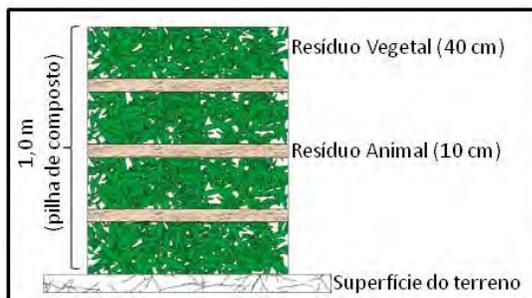
Fonte: Elaboração da autora.

Para a produção do composto orgânico vários autores foram estudados, destacam-se: Bertoni & Lombardi Neto (2005); Meirelles & Rupp (2005) e Primavesi (2002). Para a montagem da pilha de compostagem foi adicionado o esterco bovino comum nas três áreas testes e os resíduos vegetais pertencentes a cada unidade geomorfológica correspondente a cada estação climática, vale salientar, que a produção do composto ocorreu distante das moradias e que se levou em consideração a direção do vento.

A sistemática foi simples, o esterco de gado (resíduo animal) despedaçado e o resíduo vegetal picado foram empilhados um sobre o outro em camadas na forma de um sanduíche,

nas seguintes proporções: quatro volumes de material vegetal, para 1 (um) volume de material animal. Fez-se a primeira camada sobre a base (solo) com 40 cm de vegetal, a seguir adicionou-se uma camada de 10 cm de esterco. Novamente adiciona-se 40 cm, e assim por diante, até atingir a altura de 1,00m. A largura da pilha foi de 1,50m, salienta-se, que a largura da pilha não deverá ser superior a 3 metros (Figura13).

Figura 13: Esquema de montagem da pilha de composto feito sanduíche com 40 cm de resíduo vegetal, para 10 cm de resíduo animal (esterco), até atingir a altura de 1,00m.



Fonte: Elaboração da autora.

À medida que o material seco era empilhado, uma irrigação foi providenciada, umedecendo o composto, ao término da montagem da pilha utilizou-se 10 litros d'água. Após alguns dias, quando o composto orgânico estava seco, fez-se necessário umedecê-lo com 5,0 litros de água, a irrigação ocorreu sempre que a umidade estava baixa, na prática ao apertá-lo entre os dedos se não sentir molhado, irrigar, sem, contudo, encharcar. Ao final da produção utilizou-se 20 litros de água.

Nos primeiros quinze dias, o material foi revolvido a cada cinco dias. Após os primeiros quinze dias ocorreu um revolvimento a cada dez dias. Considera-se suficiente um total de oito revolvimentos. Para este projeto de pesquisa o composto orgânico foi produzido a cada três meses. O composto estará curado, ou seja, pronto para o uso cerca de 90 dias após o início das operações, e quando a relação carbono/nitrogênio (C/N) estiver abaixo de 15 conforme Iglesias-Jimenez & Perez-García (1992) e Lima et.al. (2009).

O composto foi produzido a céu aberto, numa área plana, na forma de leira na área experimental A1 e em composteiras improvisadas nas estações A2 e A3, utilizou-se cestos de palha com 60 cm de comprimento, 30 cm de largura e 60 cm de profundidade, foram utilizados 4 cestos, dois para cada área. A produção do composto no ano de 2010 ocorreu na

estação de chuva e de estiagem, no ano de 2011 somente no período chuvoso, perfazendo um total de três momentos de aplicação (dosagem).

No segundo semestre de 2010, no mês de setembro, para que houvesse uma maior umidade na produção do composto orgânico e uma melhor interação dos nutrientes foram abertas cavas no solo (aterramento), com as seguintes dimensões: 1,0m (comprimento) x 0,50m (largura) x 0,80m (profundidade), com um leve declive para facilitar o revolvimento da amostra orgânica, os compostos foram umedecidos com 20 litros de água.

Antes e logo após de cada aplicação do composto, para uma melhor interação solo x composto, o solo da era umedecido com aproximadamente 6,5 l/m², com um total de 20 l/m² de água. Depois de pesado o composto orgânico foi disposto diretamente nas parcelas solo com composto (SC).

O procedimento da aplicação do composto nas estações ocorreu da seguinte maneira:

- A limpeza da área com a retirada dos sedimentos soltos e galhos;
- Estações experimentais;
- Umedecimento do solo (6,5 l/m²);
- Aplicação do composto.

A análise do composto produzido foi executada pelo Laboratório de Solos/Água do Departamento de Solo da Universidade Federal do Ceará (UFC). A metodologia empregada pelo laboratório de solo da UFC obedece aos critérios técnicos sugeridos pelo Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes da Embrapa (1999). O nitrogênio total foi analisado pelo método regular de Kjeldahl e o carbono orgânico pelo método de Walklev-Black, ambos descritos por Fernandes (1993). O teor de matéria orgânica do solo foi calculado multiplicando-se o resultado do carbono orgânico por 1,724 (EMBRAPA, 1997).

4.4. Amostragem e Caracterização dos Solos

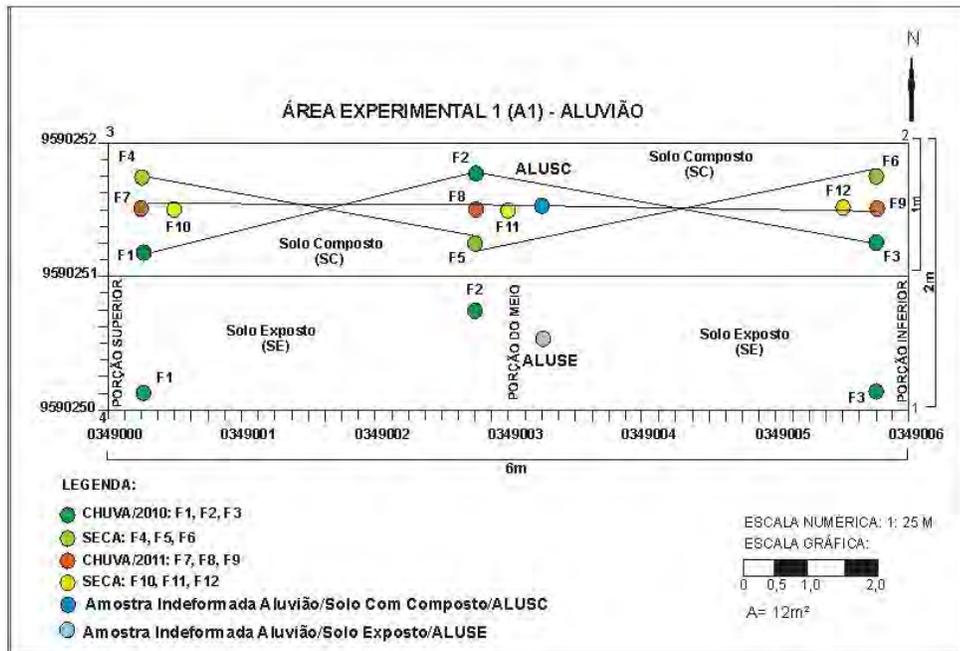
Foi conduzido um levantamento expedido dos solos, sempre com registros fotográficos e anotação dos parâmetros analisados. Os solos foram descritos *in situ* e no laboratório, obedecendo a vários métodos, como o sugerido por Primavesi (2002) e Nogueira (2005).

As amostras deformadas usadas para análises de fertilidade antes, durante e depois da aplicação do composto foram coletadas entre 0 e 20 cm de profundidade, conforme a

metodologia sugerida por Silva (1999), Nogueira (2005) e Serrat & Oliveira (2006), com 2kg de solos, em três pontos amostrais localizados no porção superior, do meio e inferior das estações experimentais. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, etiquetadas e enviadas ao laboratório (Figura 14).

Foram locados 12 furos amostrais, de forma sistemática no interior dos 6 m², onde se retirou amostras deformadas para análises química de fertilidade e indeformadas para confecção de lâmina delgada. Os pontos amostrais distanciavam-se entre si cerca de 2,0 metros (Figura 14).

Figura 14: Esquema da estação experimental A1, parcela solo exposto (SE) sem tratamento, a parcela solo com composto (SC) e o posicionamento dos furos de amostragem, esquema comum a todas as áreas.



Fonte: Elaboração da autora.

Antes da aplicação do composto produzido, os solos foram inicialmente analisados para averiguação seu nível de fertilidade (qualidade/degradação), por meio de uma amostra única. Foi retirado parte do solo da parcela solo exposto (SE), equivalente a 1kg (um), e também, 1kg do solo da parcela solo com composto (SC), o material foi homogeneizado em um balde (F1, F2 e F3), definindo-se como uma amostra composta representando o solo original de cada área (Figura 14).

Antes da homogeneização os solos foram avaliados através da identificação visual e táctil. O material foi descrito quanto à cor natural da amostra; consistência; minerais reconhecíveis; odores característicos; textura e a estrutura. As demais coletas ocorreram somente na parcela solo com composto (SC), durante os períodos de chuva e estiagem, os últimos resultados das análises de fertilidade obtidos datam de setembro de 2011.

O número dos furos indica o número de coletas (F1 a F12), totalizando 36 amostras, com um intervalo de aproximadamente 05 (cinco) meses entre uma coleta e a outra. Como não houve descrição do perfil dos solos e não ocorreu a descrição morfológica de topossequência, os pontos amostrais foram georeferenciado. Nessa linha de organização foi possível interpretar, classificar e integrar as informações sobre os solos estudados.

As amostras indeformadas foram coletadas nas duas parcelas (SE e SC) para confecção de lâmina delgadas, para averiguação da estruturação dos solos com e sem o tratamento utilizado (composto orgânico), após os 2 anos de estudos (Figura 14).

A coleta foi por meio de amostrador de ferro galvanizado de 13,5 cm de altura e 11 cm de diâmetro (Figura 15). Os pontos de coletas foram todas georeferenciados e, após a retirada da amostra, o amostrador foi envolvido com plástico bolha e acondicionado em caixas protegidas com isopor e enviadas ao Laboratório de Laminação do Departamento de Geologia da Unicamp.

Figura 15: a) Coleta de amostra indeformada na estação experimental A2, o círculo preto indica o ponto de coleta e a seta em preto o amostrador envolvido com plástico bolha na parcela solo composto (SC). Na parcela solo exposto (SE) a seta em preto mostra o posicionamento do amostrador no mesmo alinhamento que o da parcela SC. b) Detalhamento do amostrador sendo retirado da parcela solo composto da estação experimental A3, com o posicionamento orientado por GPS.



Fonte: Elaboração da autora

4.5. Testes e Ensaio Geotécnicos

Para a realização das análises físicas considerando a heterogeneidades dos solos, utiliza-se de combinações de métodos que permitem a verificação das partículas sólidas (areia, silte e argila). Essas determinações visam indicar as possíveis diferenças morfológicas entre o solo da Planície Fluvial, da Depressão Sertaneja e do Maciço Residual e a forma como essas modificações podem atuar entre os resultados nas análises físicas e químicas dos solos.

Teste táctil, desagregação, resistência e compressão, juntamente com os ensaios de granulometria conjunta (peneiramento e sedimentação), limite de liquidez e limite de plasticidade e massa específica foram executados no Laboratório de Geotecnia do Departamento de Geologia Aplicada da Universidade Estadual Paulista, seguindo a metodologia sugerida por Nogueira (2005).

Para proceder com os testes táctil e visual no laboratório foi necessário preparar uma mistura de aproximadamente 50g de solo com água (pasta). O solo pode ser considerado como areia quando é áspero ao tato, com partículas visíveis, silte (menos áspero que a areia, mas perceptível ao tato) e, argila quando apresentam semelhança com uma pasta de sabão escorregadia e quando seca proporcionam ao tato, a sensação de farinha.

Para o teste de desagregação utiliza-se um torrão de solo seco, de aproximadamente 2 cm em seguida mergulhando-o até metade em recipiente contendo água (sem imergir totalmente). O solo identificado como areia a desagregação é muito rápida (2 minutos), solo considerado siltoso a desagregação é rápida (até 5 minutos) e solo caracterizado como argiloso a desagregação é lenta (mais de 5 minutos).

A partir de uma pasta de moldar foram produzidos três corpos de prova, esféricos e com aproximadamente 15 mm de diâmetro, para o teste de resistência e compressão. Os corpos de prova devem secar à sombra ou em estufa a uma temperatura de 60° C. Depois de seco comprimir entre os dedos polegar e indicador e avaliar a pressão aplicada e observar o que ocorre com o corpo de prova (Nogueira, 2005).

A análise granulométrica foi determinada através do ensaio normalizado pela NBR-7118/84. A distribuição granulométrica foi determinada por peneiramento à seco utilizando peneiras com abertura variando de 4,75 a 0,053 mm, correspondendo, respectivamente, às peneiras de 4 a 270 mesh. Para o material passante foi realizada a sedimentação pelo método do Densímetro (ABNT, 1984).

Após a desagregação e quarteamento, amostras de 20g de material seco ao ar foram colocadas em *becker* com 125ml de defloculante (hexametáfosfato de sódio de concentração 1N). Esta mistura foi agitada com bastão de vidro e colocada para repousar por no mínimo 12

horas. Procedeu-se então à homogeneização por meio de agitador elétrico *Stirrer* (hélices de plástico), em 20 minutos. O conteúdo foi peneirado em ASTM 270 mesh (abertura de 0,053 mm) e coletado em proveta de 1000 ml.

Os finos ficam retidos na água e colocados em proveta de 1000 ml para análise de pipetagem e os grossos ficam retidos na peneira e transferidos para secar na estufa. Após a secagem e resfriamento o material foi pesado, obtendo-se o peso total da areia e peneirado por agitação em conjunto de peneiras que obedecem à Escala Internacional de Atterberg (1912). Concluindo a granulometria foi executado o ensaio para a determinação do [Limite de Plasticidade](#) (LP) e do [Limite de Liquidez](#) (LL).

O ensaio para a determinação o [Limite de Liquidez](#) (LL), e o [Limite de Plasticidade](#) (LP) são baseados no método de Atterberg, segundo as normas NBR 7181 e NBR 6549, respectivamente. O índice de plasticidade (IP) refere-se à zona em que o solo se encontra no estado plástico, fornecendo um critério para se avaliar o caráter argiloso de solo, sendo que quanto maior o IP mais argiloso será o solo. O IP foi determinado pela diferença entre o LL (ponto de transição entre o estado plástico e o estado líquido) e o LP (limite entre o estado semi-sólido e o plástico):

$$IP (\%) = LL (\%) - LP (\%) \quad (1)$$

Segundo a classificação de Jenkins, citado por Caputo (1981) o índice de plasticidade (IP) corresponde a quatro categorias conforme mostrado na Quadro 02.

Quadro 02: Definição do caráter argiloso de acordo com o índice de plasticidade.

Índice de Plasticidade (IP %)	Nível de Plasticidade
IP = 0	Não plástico
1 < IP < 7	Pouco plástico
7 < IP < 15	Plasticidade média
IP > 15	Muito plástico

Fonte: Caputo (1981).

Brandy (1989) após analisar a umidade nos perfis de um solo, observaram que a umidade variava de acordo com a fração granulométrica, além disso, tal variação está relacionada, também, ao teor de argila presente.

Para Brady (1989) a massa específica da partícula (MEP) ou densidade da partícula, depende da composição química e da estrutura cristalográfica dos minerais constituintes dos

solos Gondim (2008) menciona a relação organizada por Lambe & Witman (1979), que contém os minerais comumente encontrados nos solos com seus respectivos valores de massa da partícula, que será utilizado como uma medida de correlação (Quadro 03).

Quadro 03: Massa específica da partícula de alguns componentes comuns no solo.

Mineral	Massa Específica (g/cm ³)
Quartzo	2.65
Feldspato-K	2.54 – 2.57
Plagioclásio Na, Ca	2.67 – 2.76
Mica	2,70 – 3,20
Caulinita	2.60 – 2.61
Ilita	2.70 – 3.10
Clorita	2.60 – 2.90
Montmorilonita	2.74

Fonte: Gondim (2008).

Troeh & Thompson (2007) afirmam que a massa específica dos solos está usualmente entre 1,0 e 1,6 g/cm³, e para Reinert & Reichert (2006) a massa específica de solos arenosos em torno de 1,65 g/cm³ e para solos argilosos 1,45 g/cm³. Para estes autores quanto mais altos o valor massa específica às restrições de uso são maiores, por restringir o crescimento das raízes e reduz o movimento do ar e da água. Neste trabalho estes padrões serviram como medida de qualidade. Segundo Guerra (1990), solos que sofreram erosão apresentam uma densidade aparente entre 1,3 - 1,9 g/cm³, devido à diminuição dos agregados.

Segundo Brandy (1989), a porcentagem de sólidos (PS) indica o volume de solo ocupado por sólidos, estando correlacionado diretamente com a massa específica do solo, com a estrutura e textura. A porcentagem do espaço poroso (PEP) é a porção volumétrica do solo ocupado por ar e água, e o tamanho desses espaços é consequência da arrumação das partículas sólidas. Segundo Kiehl (1979), citado por Mota *et al.* (2008), a porosidade total para solos de textura média (silte e areia) e a argilosa apresentam valores da ordem de 40 a 60%.

A porcentagem dos sólidos e a porcentagem dos espaços porosos dos solos, adotada neste trabalho foi calculada a partir dos dados de massa específica do solo e da massa específica da partícula, que segundo Troeh & Thompson (2007) é igual:

$$PS\% = 100 \times (MES/MEP) \quad (2)$$

$$PEP \% = 100 \times (1 - MES/MEP) \quad (3)$$

Onde: MES = massa específica do sólido

MEP = massa específica da partícula

PS = porcentagem de sólidos

PEP = porcentagem dos espaços porosos

O ensaio da massa específica da partícula (MEP) e da massa específica do solo (MES) foi realizado no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – IFCET/Sobral-CE conforme as normas da ABNT-NBR 6508/84.

4.6. Análise Mineralógica

Inicialmente foi executada a identificação da mineralogia das frações areia, grossa e fina *in situ* utilizando uma lupa de bolso Triplet 30X-20.5mm. A posteriormente foi feita nova descrição com lupa binocular Leica M26 com aumento de 10 e 20 vezes sendo possível descrever com mais precisão o grau de arredondamento e esfericidade dos grãos, informações das formas/hábitos, correspondente à fração dos minerais retidos nas peneiras de 30 a 100 mesh: 30 (abertura 0,60 mm), 40 (0,42 mm), 50 (0,30 mm), 60 (0,25 mm), 80 (0,18mm) e 100 mesh com abertura equivalente a 015 mm.

Já a mineralogia do substrato rochoso encontrado nas áreas experimentais A2 e A3 foi determinada de acordo com as propriedades macroscópica em campo e em conformidade com as propriedades microscópicas através de lâminas delgadas produzidas no Laboratório de Laminação do Departamento de Petrologia e Metalogenia (DPM) da UNESP, na identificação foi utilizado microscópico petrográfico da marca Zeiss acoplado com uma câmera fotográfica digital da marca Canon para captar as imagens. Vale salientar, que não foi confeccionada lâmina delgada da área A1, por se tratar de um material inconsolidado.

Para uma melhor interpretação da mineralogia fez-se necessário a investigação geoquímica a partir dos óxidos dos elementos maiores (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , K_2O , Na_2O_3 , MgO , CaO , MnO e P_2O_5), efetuada por espectrometria de Fluorescência de Raios X (FRX) em pastilhas fundidas com tetraborato de lítio a partir das amostras moídas até a granulometria menor que 200 mesh com abertura de 0,074 mm (moinho oscilante) no Laboratório de Preparação de Amostragem Geológicas e Pedológicas do DPM/UNESP. Foi obtido, também, neste ensaio, a perda ao fogo (P.F.) que representa os materiais voláteis presentes nas amostras e liberados até a temperatura de 1000°C.

Para análise dos gráficos obtidos de difração de raios X (DRX), a amostra total foi moída até granulometria menor que 200 mesh (75 micras). A recuperação dos argilominerais é feita através da separação da fração menor que 2 micras, preparando uma suspensão com 20 g de argila desagregada em 1 litro de água destilada, sifonando a suspensão até uma profundidade de 30cm após 24h de repouso segundo a Lei de Stokes (SUGUIO, 1973), e posterior sedimentação da fração que permaneceu suspensa na água com a qual foram preparadas as lâminas analisadas por DRX.

A determinação e identificação dos diferentes argilominerais por DRX foi conduzida através de quatro condições de análises, primeiramente a amostra natural total moída abaixo de 200 mesh (200 μm), glicolada e após aquecimento 500°C que permiti efetuar um exame mineralógico global, podendo determinar alguns minerais argilosos e o conjunto dos principais minerais não argilosos. Em seguida, tanto na fração silte quanto na fração argila as amostras foram analisadas no estado natural, no estado glicolada e aquecida a 500°C. Os difratogramas de raios X foram obtidos num difratômetro Siemens, modelo D5000. Foi utilizada uma radiação $\text{CuK}\alpha$ com velocidade do goniômetro de 3°2 θ /minuto. Para interpretação dos gráficos de difração utilizou-se os Programa Eva 2.0 e X'Pert High Score Plus.

Com os dados de difração, medindo a área de picos pré-determinados, foram identificados os minerais mais frequentes e representativos utilizando o poder de difração dos diferentes minerais/argilominerais. Este método de análise foi utilizado por Schultz (1964), e Thorez (1976) e adotado nos trabalhos de Coroado (2000) e Martins (2006) (Citado por LIMA, 2009).

O Quadro 04 mostra as reflexões características utilizadas para cada mineral, bem como os autores que tem usado estes parâmetros na análise semiquantitativa. O poder refletor adotado para os filossilicatos (amostra total) para o pico considerado correspondente a 4,46Å, foi de 0,25 (SCHULTZ, 1964). Como utilizado por Coroado (2000), optou-se em utilizar o pico correspondente à reflexão 4,26Å para o quartzo na semiquantificação, no lugar do pico de 3,33Å de maior reflexão, por não ser objeto de interferência com pico da illita de 3,31Å (LIMA, 2009).

Quadro 04: Poderes refletores usados na semiquantificação de difratogramas (amostra total e fração argila).

Mineral	Poder Refletor	Reflexo em Å	Autores
Quartzo	0,70	4,26	Gonzales etal. 1970
Filossilicatos	0,25	4,26	Schultz 1964
Feldspato K	1	3,24	Schultz 1964
Plagioclásio	1	3,18	Schultz 1964
Calcita	1	3,03	Talvenheime et al. 1952
Dolomita	1	2,88	Whiteside 1947
Caulinita	1	7,1	Gomes 1988
Illita	0,5	5	Gomes 1988
Esmectita	4	17	Rocha 1993
Clorita	0,75	7,74	Rocha 1993

Fonte: Lima (2009).

A mineralogia dos solos, também, foi identificada através das lâminas confeccionadas a partir das amostras indeformadas e na identificação foi utilizado microscópico petrográfico da marca Zeiss do Laboratório do Departamento de Petrologia e Metalogenia (DPM) da UNESP.

4.7. Análise Química de Fertilidade

As análises de caracterização química de fertilidade foram realizadas no Laboratório de Solos e Água, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – IFCET/Sobral-CE e, obedeceram aos padrões e métodos do Manual de Métodos de Análise do Solo (Embrapa, 1997). As coletas ocorreram de abril de 2010 a agosto de 2011.

Foram determinados: pH em água, cátions trocáveis (Ca^{+2} , Mg^{2+} , Na^{+} , e K^{+}), alumínio trocável (Al^{3+}), acidez potencial (H^{+} + Al^{3+}), matéria orgânica e fósforo (P) assimilável. A partir destas determinações, foram calculados: a soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), percentagem de saturação por bases (V%), percentagem de saturação com alumínio (m%).

A determinação da porcentagem de sódio trocável foi obtida pela equação (Richards, 1954; Ayers; Westcot, 1994), citada por Amorim et al. (2010).

$$\text{PST} = \text{Na} \times 100 / (\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Na} + \text{H} + \text{Al}) \quad (4)$$

Onde: PST–Porcentagem de Sódio Trocável, Ca–Cálcio, Mg–Magnésio, Na–Sódio, K–Potássio.

A classificação dos solos quanto à sodicidade é aquela citada por Amorim *et al.* (2010), de acordo com os critérios propostos por Massoud (1971), Pizarro Cabello (1985; 1986), que agrupam as classes da porcentagem de sódio conforme a Quadro 05.

Quadro 05: Classificação quanto à sodicidade em função da PST

Classes	PST
Não-sódicos	< 7%
Ligeiramente sódicos	7 – 10%
Medianamente sódico	11 – 20%
Fortemente sódicos	21 – 30%
Excessivamente sódicos	> 30%

Fonte: Amorim et al. (2010).

O resultado das análises químicas dos solos foi interpretado comparando-os com as faixas de valores adequados. A classificação dos teores dos elementos no solo são aqueles indicados no Manual de Recomendações de Adubação e calagem para o Estado do Ceará (FERNANDES, 1993) (Quadro 06).

Quadro 06: Níveis de classificação para interpretação dos resultados das análises do solo utilizados pelos Laboratórios do Estado do Ceará.

Determinação	Unidade	Classificação			
		Baixo	Médio	Alto	
Alumínio – Al KCl 1M	mmol _c /dm ³	0 - 5	6 – 10	> 10	
Cálcio – Ca KCl 1M	mmol _c /dm ³	0 – 15	16 – 40	> 40	
Magnésio – Mg KCl 1M	mmol _c /dm ³	0 – 5	6 – 10	> 10	
Potássio – K Mechlich I	mmol _c /dm ³	0 – 1,15	1,18 – 2,30	> 2,33	
Fósforo – P Mechlich I	mg/dm ³	0 – 10	11 – 20	> 21	
Matéria Orgânica	g/kg	0 - 15	16 - 30	> 30	
pH em água (1: 2,5)					
Acidez			Neutralidade		Alcalinidade > 7,9
Alta	Média	Baixa	Baixa	Média	
< 5,0	5,1 – 5,9	6,0 – 6,9	7,0	7,1 – 7,4	
				7,5 – 7,9	

Fonte: Fernandes (1993).

Outra importante ferramenta da geoquímica empregada foi a distribuição granulométrica com o uso do equipamento MARTERSIZER 2000, equipamento que determina a distribuição granulométrica por difração de raios laser. O tratamento dos dados é executado por um software de mesmo nome.

Para obtenção de uma amostra representativa, o solo passa pelo processo de homogeneização e quarteamento. A amostra foi destorroada em um almofariz de porcelana com pistilo de borracha, passado em peneira 0,250 mm (60 mesh), sendo descartada fração mais grossa devido a limitação da faixa de medida do equipamento para ser realizada em um único ensaio. Inicia-se a sedimentação para análise de tamanho das partículas, sendo a faixa de tamanho medido de 0,001 a 3000 microns. A interpretação das curvas obtidas pelo aplicativo Mastersizer 2000 foi feita com base na porcentagem acumulada e de frequência. Também foram delimitadas nos gráficos as proporções de areia, silte e argila.

4.8. Umidade dos Solos

Segundo Brandy (1989) o fluxo da água em estado líquido, de uma zona para outra no mesmo solo, se processa em função de um gradiente no potencial da água no solo. O fluxo dirige-se da zona com potencial de umidade mais elevado para aquele de potencial reduzido. O fluxo de saturação se processa quando os poros na porção mais molhada do solo estão completamente saturados de água. A umidade natural foi determinada em laboratório e deu-se em conformidade com a NBR 6457, foram utilizadas as seguintes fórmulas:

$$h = Ma \times 100/Ms + Ms = Mt - Ma, \quad (5)$$

Onde: h = umidade, Ma = massa de água, Ms = massa de solo seco e Mt = massa de solo com umidade.

A umidade do solo em campo foi adquirida através do aparelho portátil XH901-1 (Moisture Meter), que possui um escala analógica para umidade dentro da faixa de 1-10%, a medição é feita de acordo com os intervalos de leitura: de 1-3%= solo seco, 4-7%= solo úmido, 8-10%= solo molhado. A haste que mede 18 cm de comprimento é colocada diretamente no solo, de forma simples e direta faz-se a leitura da medida (Figura 16).

Figura 16: a) Medidor de umidade portátil com haste de 18cm. b) Medida superficial georeferenciada, na parcela SE da área experimental A3. c) Perfil longitudinal nas duas parcelas solo com composto (SC) e solo exposto (SE), para medida subsuperficial em A3. d) Medida subsuperficial da parcela SC da área experimental A1, cava com aproximadamente 18 cm de profundidade.



Fonte: Elaboração da autora.

O alcance do medidor de umidade portátil é limitado, porém, o princípio é baseado no potencial de água no solo (precipitação e temperatura) e pela saturação. A determinação da umidade foi avaliada de duas maneiras nas duas parcelas (SE e SC): superficial e subsuperficial (pequenas cavas com alguns centímetros de profundidade), em cinco pontos longitudinais no alto, meio e, baixo estação experimental (duas medidas para esquerda, uma no centro da faixa longitudinal e, mais duas para direita), durante os dois períodos caracterizado como chuvoso e seco no ano de 2011 (Figura 16).

As leituras foram obtidas no período da manhã e da tarde na estação da chuva e na estação seca do ano de 2011. Devido ao tipo de material de cada área a profundidade das cavas foi variada: em A1 cava possui 18 cm de profundidade, em A2 15 cm de profundidade e em A3 a medida foi de 20 de profundidade (Figura 16).

4.9. Análise Micromorfológica

Esta análise tem como objetivo identificar e determinar a melhoria na estrutura dos solos estudados com vistas a sua regeneração, a partir da metodologia sugerida por Castro (1985, 1989, 1999) e Cardoso *et. al.* (2002). Para cada solo foram confeccionadas lâminas delgadas em seções verticais equivalentes as parcelas solos exposto (SE) e solo com composto (SC) (Figura 14).

4.10. Monitoramento, Equipamento e Trabalho de Escritório.

O monitoramento ocorreu em cada área teste e contribuiu para aquisição dos dados sobre a operacionalidade do experimento e auxiliaram na identificação e registro de anomalias as quais ocorreram duas vezes por ano.

De posse dos dados bibliográficos e cartográficos foram realizadas visitas técnicas (campo) ao longo do médio vale Acaraú no município de Sobral e percorrendo as áreas escolhidas como áreas teste. Nos trabalhos de campo os equipamentos utilizados foram: GPS, bússola, termômetro, lupa de bolso, trena, pás, trado manual, cavador, enxadas, sacos plásticos, máquina fotográfica, medidor de umidade, amostrador de solo e planilhas de campo.

Os trabalhos de escritório seguiram compreendeu as atividades: compilação das observações dos solos, estudo dos dados de laboratório e redação do trabalho final. Para a interpretação e organização dos dados utilizaram-se vários softwares: Excel, PowerPoint, Core Draw, Google Earth, Master Sizer 2000, X'Pert High Score Plus, EVA, Word.

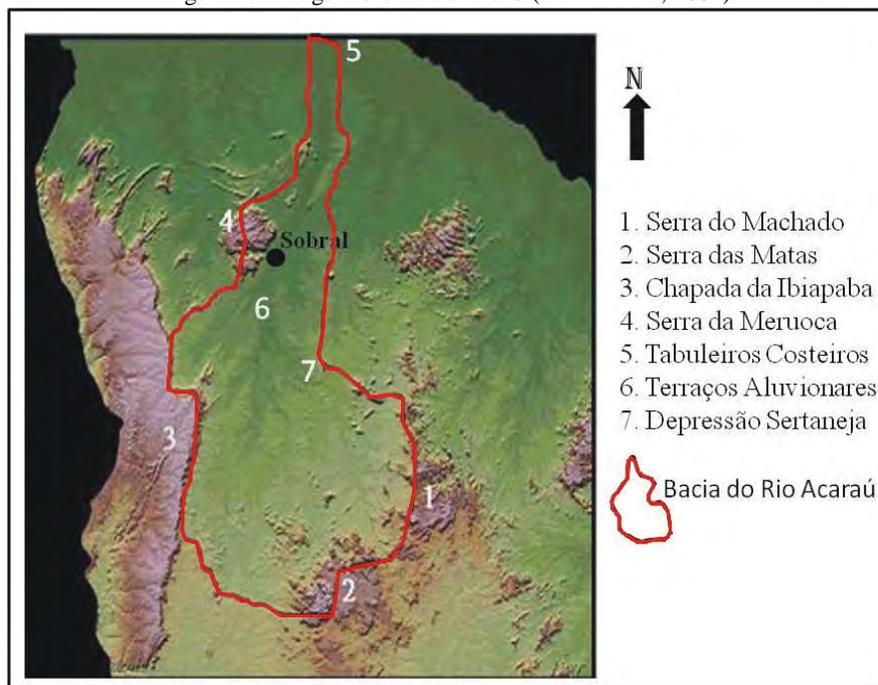
5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISES DOS RESULTADOS

5.1. Diagnóstico Geoambiental das Áreas Teste

A Bacia Hidrográfica do Rio Acaraú constitui-se um sistema natural bem delimitado com 315 km de extensão, da nascente, no Município de Monsenhor Tabosa (Serra das Matas) na Depressão Sertaneja, até a desembocadura no município de Acaraú (Planície Litorânea). Neste sentido, esta bacia foi adotada como área de influência indireta onde as interações com as áreas teste puderam ser interpretadas (Figura 17).

A bacia hidrográfica do Acaraú ocorre na maior amplitude hipsométrica do Ceará, na Serra das Matas com 1.145 m, porém, a maior parte da área da bacia encontra-se abaixo dos 200 m de altitude, observando-se um evidente aplainamento do terreno (Figura 10).

Figura 17: Imagem orbital do relevo (EMBRAPA, 2004).

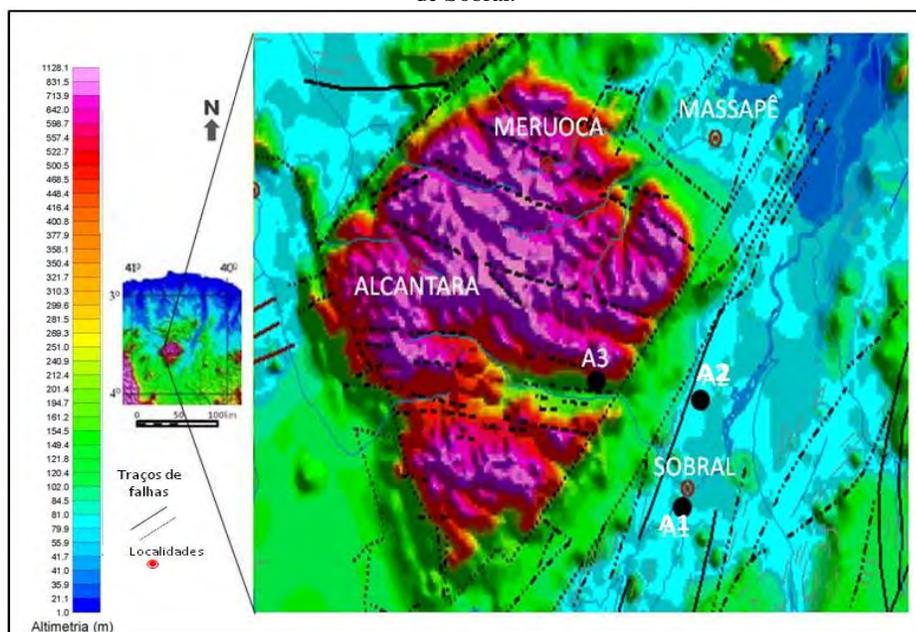


Fonte: Meireles (2007).

A figura acima revela que a morfologia dos terrenos do Município de Sobral é resultante da interrelação entre os vários elementos geobiofísicos, que sofrem a influência dos condicionantes geológicos, climáticos e dos tipos de solos na configuração física das paisagens.

O diagnóstico geoambiental e o reconhecimento pedogeomorfológico foram executados em campo utilizando mapas, cartas e imagens orbitais, como o Modelo Digital do Terreno (MDT) gerado por Cavalcante/CPRM (2003). O compartimento morfológico identificado de cor azul foi a Planície Fluvial dos Rios Acaraú, Jaibaras e Groaíras. A área experimental A1 encontra-se neste compartimento, encaixada na porção dissecada da Depressão Sertaneja, trata-se de uma área plana e de baixa altitude de aproximadamente 80 metros (Figura 18).

Figura 18: Modelo digital de terreno extraído do mapa geológico do Ceará, escala 1: 500.000, relativo a região de Sobral.



Fonte: Cavalcante *et. al.* (2003).

Outro compartimento morfológico identificado como área teste foi a Depressão Sertaneja, com altitude em torno de 80 a 200 m. Observa-se em campo e confirmado pela imagem que há uma variação na superfície representativa da Depressão Sertaneja, na cor verde a área apresenta-se mais conservada e, na cor azul-esverdeada área teste A2, a área é mais exposta aos processos erosivos (Figura 18).

O Maciço Residual na cor lilás apresenta altitude superior a 1000 metros, a Serra da Meruoca, localizada no extremo oeste de Sobral. Na cor vermelho alaranjado e amarela com altitude em torno de 600m representa a porção mais seca da Serra, conhecida como Meruoca Sul ou Meruoca-Rosário. A porção escolhida como área teste A3 (Vale do Riacho Boqueirão)

está definida na imagem na cor verde, cuja altitude encontra-se na faixa dos 120 a 200 metros (Figura 18).

A estação experimental A1 foi implantada na Planície Fluvial por ser uma unidade geomorfológica bastante expressiva e historicamente utilizada. A estação A2 foi instalada na unidade geomorfológica Depressão Sertaneja por ser um terreno de rochas pré-cambrianas mais exposta aos processos erosivos. O Maciço Residual foi escolhido como área teste A3, por abranger uma única associação litológica (granito) na porção mais conservada da depressão sertaneja.

O uso das imagens orbital facilitou a compreensão dos processos formadores da paisagem em Sobral oferecendo uma melhor percepção visual da geodiversidade da área de estudo. A tipologia das unidades regionais e locais da paisagem analisada definiu as áreas teste, revelando as diferenças quanto aos compartimentos morfológicos. Portanto, a integração dos dados geoambientais (campo) com as informações retiradas das imagens e mapas, associada de maneira integrada a degradação dos solos consolidou a escolha das áreas de testes.

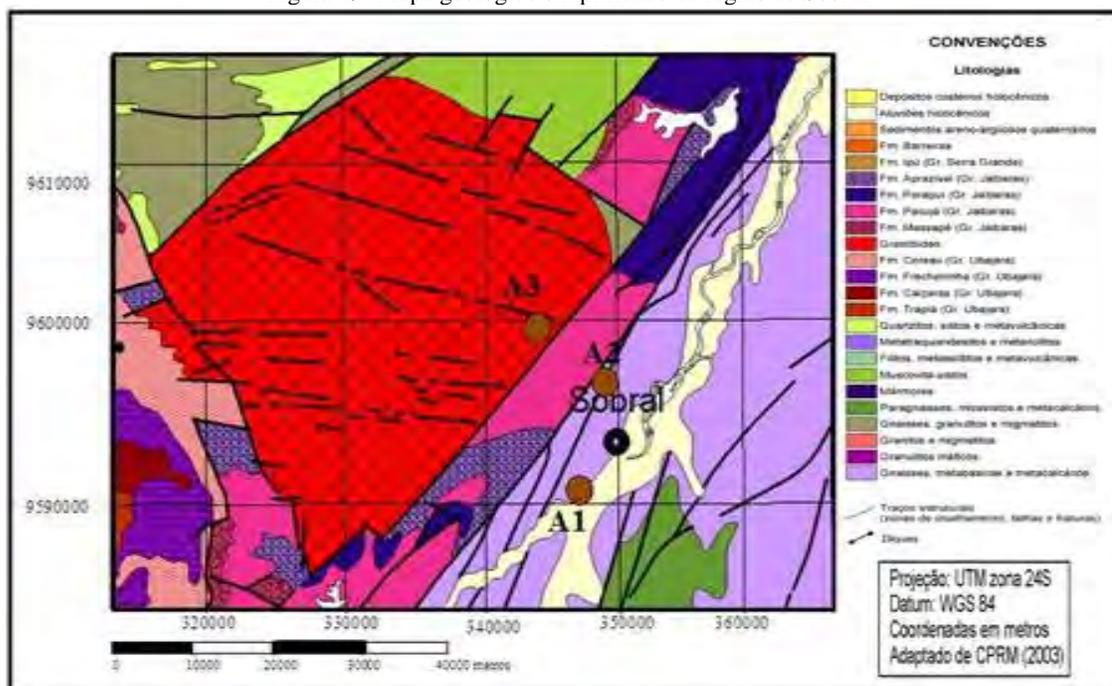
5.2. Contexto Geológico Local

O arranjo geológico da área de estudo (área de influência direta) baseia-se nas relações observadas em escala de afloramento, confrontadas com trabalhos anteriores de cunho regional. As áreas teste encontram-se geologicamente posicionadas no Domínio Médio Coreaú (DMC) e no Domínio Ceará Central (DCC) da Província Borborema (Figura 04).

São representadas pelas seguintes unidades geológicas: Complexo ou Grupo Ceará (A2), Granito Meruoca (A3) e Sedimentos Quaternários (A1), configurando um ordenamento estratigráfico estabelecido a partir das relações geocronológicas (Figura 19). A descrição sobre abordagem geológica respeitará a ordem geocronológica da base para o topo, portanto, ocorrerá a caracterização geológica da área teste A2, seguida de A3 e por fim A1.

A Tabela 01 exibe a coluna litoestratigráfica estruturada para as áreas teste que foi elaborada com dados fornecidos pelas relações de campo e de informações geocronológicas e geoquímicas de vários autores, são unidades litoestratigráficas constituídas por rochas do embasamento cristalino Pré-cambriano, Cambriano-Siluriano e Cenozóico.

Figura 19: Mapa geológico simplificado da região de Sobral



Fonte: Silva Filho (2009).

Tabela 01: Unidades Litoestratigráfica das Áreas Teste.

Era	Período	Idade	Domínios		Cobertura Geomorfológica
			DMC	DCC	
Quaternário (A1)	Pleistoceno-Holoceno	Holoceno			Aluvião, Coluvião
Neoproterozóico/Paleozóico (A3)	Cambriano – Siluriano	500 a 410 Ma	Pluton Meruoca		Maciço, Colúvio
Paleoproterozóico (A2)	Riciniano	2,2 a 2,3 Ga		Complexo Ceará	Depressão (Embasamento)

Fonte: Elaboração da autora.

Na área de influência direta da estação experimental A2 os litotipos predominantes são pertencem ao Complexo ou Grupo Ceará (DCC), agrupadas na Unidade Canindé que representam o embasamento para área de estudo. Esta unidade litológica na área em questão é marcada pela variação composicional de gnaisses milonitizados com feições migmatíticas associados a outros litotipos (anfíbolitos, quartzitos, calcosilicáticas).

Os gnaisses afloram na área da estação experimental na forma de lajedo, têm coloração cinza esverdeado e algumas faixas com coloração cinza esbranquiçada indicando a presença de plagioclásios cálcicos, granulação média a fina e bandamento migmatítico bem

distinto, onde ocorre alternância de bandas milimétricas a centimétricas constituídas de biotita e granada, bandas félsicas centimétricas a decimétricas formadas por quartzo, plagioclásio e feldspato potássico. Observam-se porfiroblastos em formas de amêndoas de vários tamanhos indicativo de uma feição milonítica (Figura 20a).

Os gnaisses apresentam-se dobrados e redobrados em estilos diversos (coaxiais ou não), bem como, dobras desenhadas pelo bandamento composicional da foliação migmatítica (Figura 20b). Encontram-se também, envolvidos por material quartzo feldspático rico em muscovita, que aparece na forma de veios pegmatíticos.

Os veios encontram-se associados às fraturas, concordante como discordante a foliação e as vezes entrecruzados (Figura 20c). Como consequência do fraturamento em várias direções, os veios pegmatóides quando expostos à superfície são quebrados em seixos angulosos de vários tamanhos (Figura 20d).

Os gnaisses ocorrem, também, associado a anfibolitos na forma de camadas lenticulares intercalados e provavelmente intercamados e na forma de boudins. O anfibolito apresenta-se concordantes à foliação dos gnaisses e em blocos centimétricos, trata-se de rochas de cor cinza esverdeada, de granulação fina e bem foliada (Figura 20e, f). Esta unidade ocorre em escala muito reduzida não mapeável.

Os quartzitos afloram de forma destacada no Morro do Açude, são em geral finos a médio, quase puros, com muscovita ou biotita (Figura 20g). Essas rochas apresentam cor vermelha-amarelada, ocorrem também, como lentes de espessuras decimétricas que se intercalam nos gnaisses.

Foi identificada ao lado da estação experimental A2 a presença de pedregosidade, constituída por seixos de quartzo, calhaus feldspato, fragmentos de rochas, formando pequenos blocos angulosos de vários tamanhos, consequência do fraturamento, expostos como um revestimento superficial (Figura 20h).

Os eventos tectônicos que ocorrem na área levaram à formação de várias estruturas geológicas, como as foliações miloníticas (estiramento dos minerais), bandamento migmatítico (lineamento dos minerais), dobras e fraturas em escala centimétrica a métricas com movimentos que obedecem as direções dos grandes falhamentos, Zona de Cisalhamento Sobral – Pedro II (NE-SW), Falha Rio Groaíras (*trend* NW), Humberto Monte e Forquilha, ambas de caráter transcorrente com direção NE-SW (CUNHA, 2007).

Figura 20. Afloramentos de Gnaiss Migmatítico na área A2: a) Gnaiss milonitizado com feições migmatíticas exibindo porfiroblastos com formas de amêndoas (elipsoide em vermelho/augen gnaiss), o quadrado vermelho indica a porção mais micácea, o círculo dentro do maior elipsoide marca a presença de granadas, a linha em vermelho indica o lineamento mineral e a linha em preto as fraturas; b) Padrão de redobramento provocado pela superposição de dobras no gnaiss bandado (linha em vermelho), a linha preta indica fraturamento. c) Veio pegmatítico fraturado, a linha vermelha indica que esta concordante com a foliação e em preto mostra a direção do mergulho; d) Fragmentos dos veios pegmatóides de vários tamanhos e angulosos. e) Anfibolito com fraturas verticais e horizontais (linhas em preto) associado ao gnaiss. f) Boudins em rochas anfibolíticas, também, associado ao gnaiss; g) Quartzito bastante fraturado, as linhas pretas indicam a foliação e os quadros em vermelho os fragmentos de vários tamanhos e angulosos; h) Seixos de quartzo e feldspatos (círculo vermelho) de tamanhos milimétricos e centimétricos expostos como um revestimento superficial.



Fonte: Elaboração da autora.

Foram coletas três amostras e confeccionadas três de seções delgadas. Microscopicamente a rocha apresenta textura granoblastica e localmente porfirítica e milonítica. A rocha é constituída por cristais de quartzo, plagioclásio (albita), feldspato potássico (microclínio), biotita, muscovita. Como minerais acessórios são identificados a granada, hornblenda, epidoto, apatita e opacos, de origem secundária a sericita e argilominerais.

Os quartzos são finos a grossos anédricos, apresentam moderada orientação de direção preferencial, em alguns locais da lâmina apresentam-se estirados em faixas em toda a seção delgada, exibindo textura ribbion que indica a maior deformação e com forte extinção ondulante. Os cristais de plagioclásio são finos a grossos, anédricos a subédricos, com moderada orientação preferencial, com cristais microfraturados apresentando maclamentos deformados do tipo albita e alteração nas suas bordas, por vezes ocorre como porfiroclastos (Figura 21).

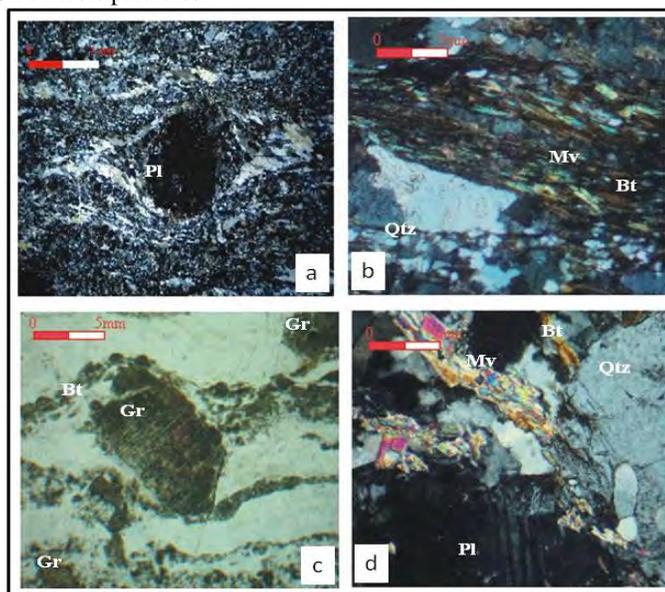
Os cristais de feldspato potássico ou k-feldspato são finos a grossos anédricos a subédricos, por vezes formando porfiroclastos, cujo fenocristais apresentam sombra de pressão, alguns se encontram microfraturados. Apresenta típica geminação em grade (xadrez), tratando-se de uma microclina. Por vezes apresentam microfissuras preenchidas por sericita e superficialmente alterados para minerais de argila.

A biotita ocorre na cor marrom acastanhada, ocorre na forma lamelares sendo estas orientadas seguindo a orientação do cisalhamento indicando movimentação e dobras confirmadas por planos de foliação. Por vezes, possui cristais finos a médios dispersos ou na forma de agregados. Os cristais de muscovita são finos e lamelares anédricos, ocorrem muitas vezes na forma de agregados associados aos cristais de biotita (Figura 21).

A granada ocorre como cristais anédricos a subédricos de tamanho médio a grande, microfissuradas, muitas vezes estão associadas a biotita, ocorre na forma de porfiroblastos sin-tectônico (Figura 21).

A hornblenda ocorre em granulação média, tamanhos irregulares anédricos a subédricos, imersos na matriz granoblástica com pleocroísmo. O epidoto é inequigranular fino, encontra-se disperso na rocha e a sericita como produto de alteração do plagioclásio. Os opacos ocorrem dispersos, por vezes, agregados aos minerais máficos (biotita).

Figura 21: a) Fotomicrografia na objetiva 2,5x com nicóis cruzado, evidenciando o aspecto geral da rocha, o quartzo na textura ribbon, e o fenocristal de plagioclásio com maclamento do tipo albita com sombra de pressão (deformação). b) Concentração de biotita e muscovita imprimindo uma textura milonítica à luz polarizada na objetiva 5x. c) Cristal de granada associado ao mineral biotita, na forma de porfiroblasto, em uma matriz de quartzo e feldspato, na objetiva de 5x e nicóis paralelos. d) Fotomicrografia mostrando grão de quartzo fraturado em contato a albita, o plagioclásio com maclamento do tipo albita, a muscovita em cristais laminares associada a biotita, na objetiva de 5x e nicóis paralelos.



Legenda: Pl (Plagioclásio), Qtz (Quartzo), Mv (Muscovita), Bt (Biotita), Gr (Granada).

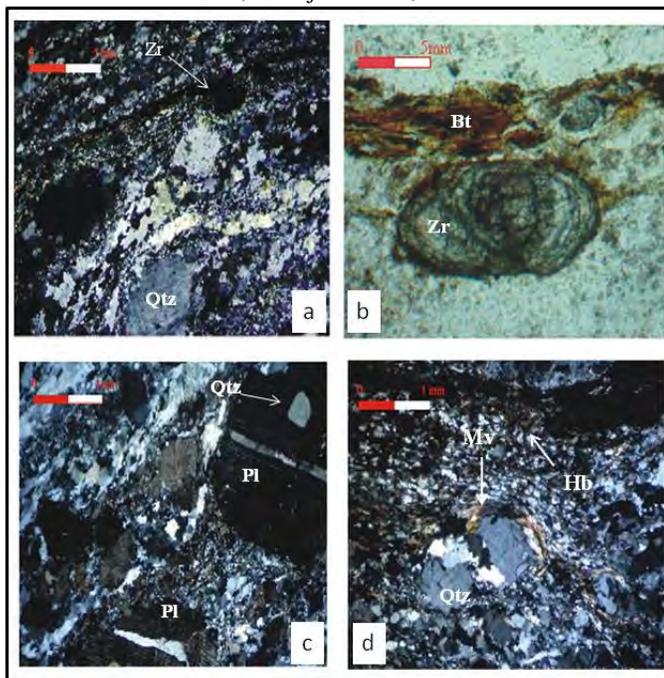
Fonte: Elaboração da autora.

Na segunda lâmina descrita microscopicamente o gnaiss apresenta a mesma mineralogia da lâmina anterior, a diferença foi a presença do mineral apatita como mineral acessório, que ocorre como finos cristais anédricos, associados geralmente aos grãos de biotita, como os minerais opacos formando agregados máficos.

Os cristais de plagioclásio e feldspato potássico exibem pequenas alterações e outros ocorrem na forma de fenocristais apresentando pequenas deformações, observam-se cristais de muscovita dentro do feldspato potássico.

Na última lâmina a mineralogia é diferenciada pela presença do zircão como mineral acessório, indicativo de que esse tipo de rocha, provavelmente, seja proveniente de um granito que passou por alto grau metamórfico, encontra-se na forma euédrico associado a biotita com prismas bipiramidal e zonado (Figura 22).

Figura 22: a) Fotomicrografia na objetiva 2,5x com nicóis cruzado, evidenciando o aspecto geral da rocha, o quartzo na textura ribbion, e sob a forma de subgrãos neoblastos (moderada orientação), microfraturado. b) Fotomicrografia mostrando em detalhe o zircão associado a biotira bipiramidal e zonado, nicóis paralelos na objetiva 5x. c) Cristal de plagioclásio com maclamento do tipo albita, com intercrescimento de cristais de quartzo, na objetiva de 2,5x e nicóis cruzados. d) Fotomicrografia mostrando grão médio de quartzo fraturado associado a muscovita lamelares e dispersos na matriz formando agregados granulares que definem a textura granoblástica, cristais de hornblenda anédricos, na objetiva de 2,5x e nicóis cruzados.



Legenda: Zr (Zircão), Qtz (Quartzo), Bt (Biotita), Pl (Plagioclásio), Mv (Muscovita), Hb (Hornblenda).
Fonte: Elaboração da autora.

A determinação dos constituintes mineralógicos do solo da estação A2 foi realizada em campo através da lupa de bolso, foram identificados o plagioclásio (mineral predominante), quartzo e mica. Na análise mineralógica feita por meio da lupa de bancada se confirma a presença do plagioclásio, quartzo, a mica identificada foi a biotita bastante fragmentada por vezes acompanhada da muscovita.

Geologicamente a área teste A3 é representada por rocha do Proterozóico classificada como Granito Meruoca (DMC e DCC) que é afetado por grandes falhamentos (Café Ipueiras e Lineamento Sobral Pedro II) de direções preferenciais E-W e NE-SW, respectivamente. Segundo Moura et.al. (2008) em escala de detalhe as falhas possuem direções NW, NE, N-S e E-W.

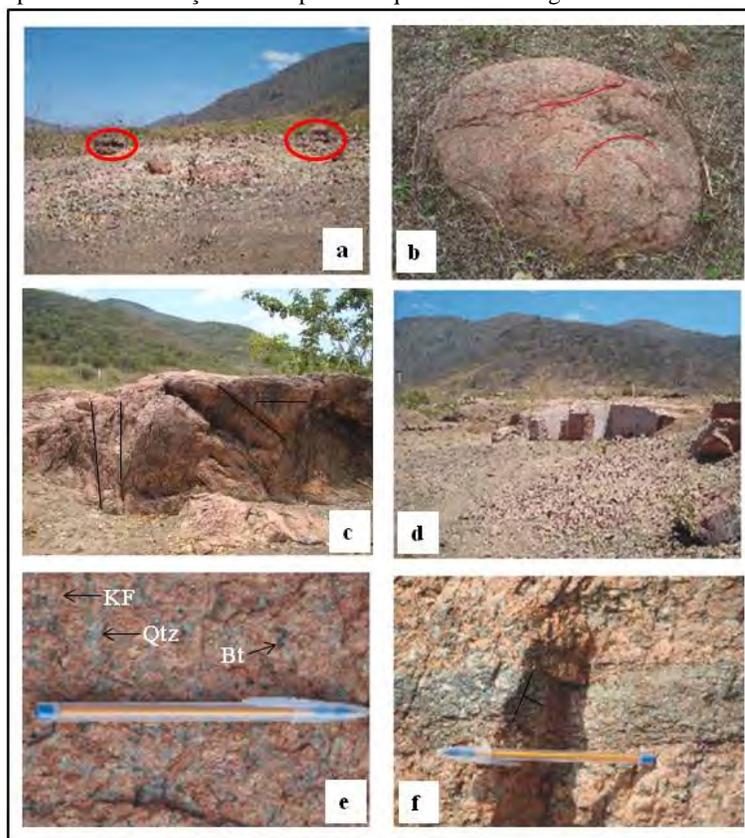
O Pluton Meruoca tem contato intrusivo com as rochas do Grupo Jaibaras (item 3.3, página 31), marcado pela presença de xenólitos de maetaconglomerados e de metarenitos. A relação de contato deste corpo granítico com outras as rochas como as do Grupo Martinópole

(DMC) e Suíte Parapuí (DCC), também é intrusivo. Segundo Gorayeb et al. (1988) e Brito Neves et al. (2000) são reconhecidas três fácies petrográfica deste litotipo.

Na área na estação experimental A3 a rocha identificada é um microgranito, que representa fácies de resfriamento e corpos tardios (diques e pequenos corpos cortando outras fácies). Ocorrem na área teste sob a forma de matações, blocos soltos, lajedos, além da forma artificial em pedreira (Figura 23). Devido ao fraturamento generalizado, a estrutura maciça e a granulação uniforme, o intemperismo mecânico atua descamando os blocos em uma esfoliação esferoidal (Figura 23).

O granito exibe uma coloração avermelhada, de granulação fanerítica média a grossa, composto por predominantemente de feldspatos potássicos (K-f), seguidos de quartzo e pontuações de biotita (Figura 23). A rocha é falhada e cortada por fraturas abertas e preenchidas por óxido/hidróxido de ferro, imprimindo uma feição do tipo pseudotaquilito ou microgranito (Figura 23).

Figura 23. Afloramento do Granito Meruoca na área experimental A3: a) Blocos soltos. b) Detalhe do bloco com esfoliação esferoidal. c) Lajedo bastante fraturado em várias direções. d) Pedreira abandonada. e) Feição maciça onde se observa feldspato potássico (róseo) e quartzo e pontos de biotita; f) Falha preenchida com óxido e hidróxidos de Fe imprimindo uma feição de um pseudotaquilito ou microgranito.



Legenda: KF (Feldspato Potássico) Qtz (Quartzo), Bt (Biotita).

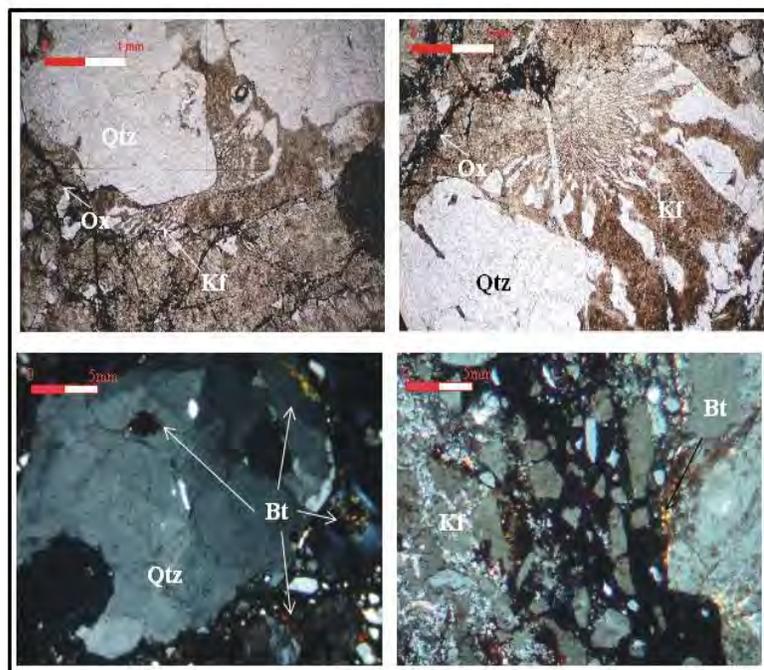
Fonte: Elaboração da autora.

O granito foi descrito microscopicamente através de duas seções delgadas que apresentam a mesma mineralogia. É composto preferencialmente por feldspatos alcalinos, quartzo, plagioclásio, biotita e pelos acessórios: titanita e opacos. Os minerais secundários relacionados à circulação de fluidos se devem a óxidos (ilmenita) e hidróxidos de ferro, sericita argilominerais e carbonato.

O feldspato potássico é o mineral mais abundante na rocha com cristais anédricos a subédricos com bordas corroídas e encontram-se sericitizados e microfraturados. Apresenta cor vermelho carne causada pela pronunciada oxidação (Figura 24). O plagioclásio é anédrico a subédrico e está sericitizado, observa-se que alguns cristais aparecem inclusos em cristais maiores de feldspato alcalino exibindo feição pertítica e mimerquítica (Figura 24).

O quartzo aparece na forma de minerais anedrais localmente arredondados e ocorrem dispersos na matriz feldspática, exhibe extinção ondulante, alguns grãos apresentam microinclusões de biotita (Figura 24). A biotita aparece, muitas vezes, ao redor de grãos de quartzo, apresenta cristais lamerales e em contato o feldspato potássico encontra-se bastante alterada.

Figura 24: a) Fotomicrografia na objetiva 2,5x com nicóis paralelos, evidenciando o quartzo microfraturado e os óxidos preenchendo as microfissuras. b) Fotomicrografia na objetiva 2,5x com nicóis paralelos, da feição mimerquítica. c) O quartzo aparece na forma de minerais arredondado, circundado e com microinclusões de biotita, na objetiva 5x com nicóis cruzados. d) Fotomicrografia na objetiva 5x com nicóis cruzado da feição do um pseudotaquilito, e do feldspato potássico bastante alterado.



Legenda: Qtz (Quartzo), Ox (Óxidos), Kf (Feldspato Potássico), Bt (Biotita). Fonte: Elaboração da autora.

A mineralogia do solo da área teste A3 identificada em campo é constituída primordialmente por feldspato potássico (Kf) e quartzo. Os minerais determinados na lupa de bancada diferem da identificada em campo pela presença da biotita.

A área experimental A1 encontra-se no domínio da Planície Fluvial (terraços aluviais), inserida na Cobertura Sedimentar do Holoceno no Domínio Ceará Central (Figura 05). Unidade geológica que ocorre predominantemente sobre rochas pré-cambrianas de composição gnáissicas migmatíticas e metabásicas (Figura 25).

Trata-se de uma área que no passado foi submetida à vários processos orogenéticos, atualmente as atividades geológicas passaram a ser as erosões e deposições pleistocênica, que formaram o vale abrindo o leito do Rio Acaraú com seus maiores afluentes e escavando os lugares mais expostos ao mesmo tempo que construía os terraços aluviais e coluviais.

Os sedimentos provenientes dessa erosão no maciço granítico e parte dos seus litotipos encaixantes são de coloração variegada, predominando os siltosos e os argilosos nos terraços sobre embasamento, os arenosos no leito do rio e com teores altos de matéria orgânica. A natureza dos sedimentos é essencialmente clástica, constituídos de areias finas a grosseiras representadas pelo quartzo, feldspatos, fragmentos de rocha e, de material de menor tamanho, silte e argila (Figura 25).

Figura 25: Geologia da área experimental A1. a) Afloramento do litotipo encaixante (rochas pré-cambrianas de composição gnáissicas migmatíticas) localizado a montante da área experimental. b) Imagem do furo F1 na parcela solo exposto (SE) de coloração cinza escuro (úmido) com brilho micáceo. c) Sedimentos silte-arenoso de coloração cinza claro-amarrozada (seco), observa-se em alguns pontos coloração creme (círculo em vermelho), amostra coletada do furo F3 na parcela SE. d) Sedimentos inconsolidados de coloração creme, constituído por areia quartzosa com níveis ferruginosos, depósito de uso na construção civil, localizado na margem esquerda do rio Acaraú, próximo a estação experimental.



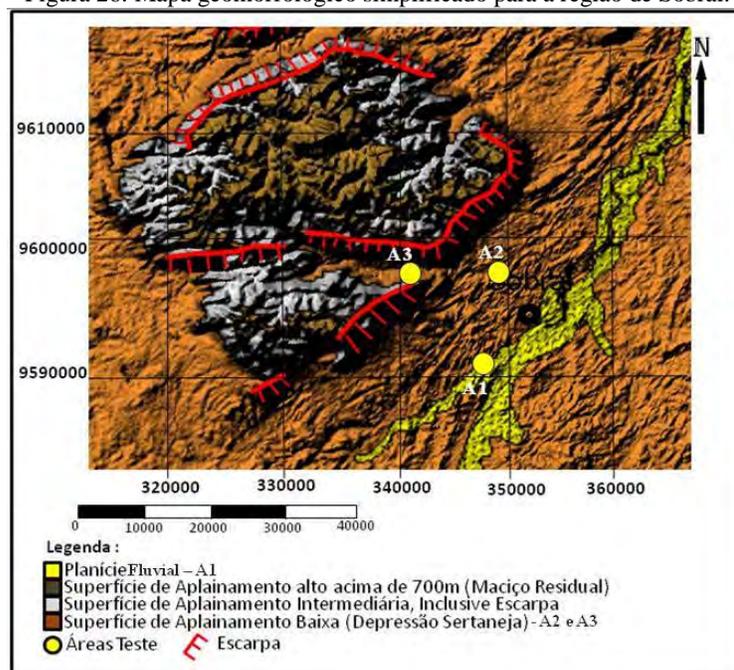
Fonte: Elaboração da autora.

Os minerais identificados no solo de A1 através da lupa de bolso foram o quartzo, feldspato a e muscovita, através da lupa de bancada foi o quartzo, os feldspatos, a muscovita que se apresenta quebrada e fina, e a honrblenda que ocorre como pequenos cristais anédricos a subédricos.

5.3. Contexto Geomorfológico Local

As áreas testes encontram-se inseridas no contexto de três principais domínios geomorfológicos do Município de Sobral (Figura 26).

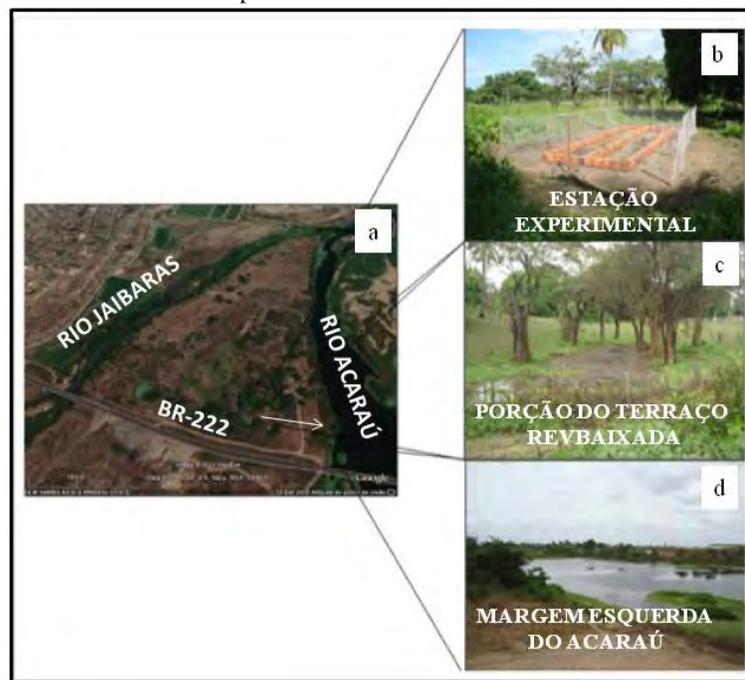
Figura 26: Mapa geomorfológico simplificado para a região de Sobral.



Fonte: Silva Filho (2009).

A área experimental A1 encontra-se inserida no setor mais rebaixado do Município, na Planície Fluvial, instalada na cota dos 70 metros de altitude. A inclinação do terreno na faixa de 0 – 2% de declividade resultando na feição morfológica tipo terraço. Esta característica indica que a água da chuva escoar com pequena velocidade, tendo tempo suficiente para se infiltrar, promovendo maior umidade ao solo. Pela delimitação da paisagem em escala de detalhe foi identificada na área teste, uma única unidade fisiográfica, o terraço aluvionar (Figura 27).

Figura 27. a) Visão espacial da área teste A1 na Fazenda Entre Rios, detalhe da unidade fisiográfica da paisagem, o terraço aluvionar, a seta em branco indica o sentido do escoamento. A ponte construída na BR-222 dividiu a zona urbana da zona rural (Imagem Digital Globo de 2010/Google Earth, página visitada em abril de 2010). b) Detalhe da infraestrutura da estação experimental, instalada em uma clareira (desmatamento), a vegetação é representada por frutíferas e herbáceas. c) Bacia de decantação arquitetada pelos proprietários para conter as inundações, situação que proporcionou o desenvolvimento da caatinga arbórea. d) Margem esquerda do rio, completamente descaracterizada e ocupada.



Fonte: Elaboração da autora.

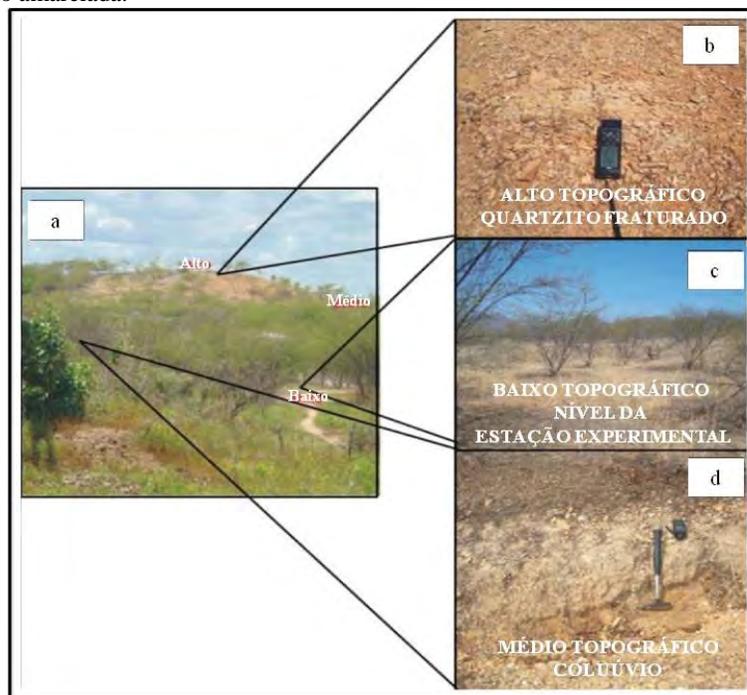
Devido à proximidade com a água do rio e se tratar de uma área de vazante formada por sedimentos aluviais que modelam uma feição topográfica tipicamente plana, esta unidade fisiográfica, até hoje é desmatada para o desenvolvimento da agricultura de subsistência, extrativismo vegetal e a para exploração de bem mineral para construção civil (areia e argila).

A topografia da área teste A2 corresponde a um terreno plano com ondulações suaves, enquadrando-se na classe 2-5% de declividade, a superfície foi dissecada em feições ondulares colinosas sob as rochas do embasamento. A estação experimental está instalada em níveis altimétricos na faixa dos 100 metros.

Para a caracterização fisiográfica da área teste A2, a paisagem foi dividida em três unidades, a saber: Alto Topográfico (Morro do Açude), Médio Topográfico (meia encosta do Morro do Açude) e Baixo Topográfico (no nível da estação) (Figura 28).

Figura 28: Área de influência direta da estação experimental A2. a) Alto Topográfico no Morro do Açude, observa-se que a vegetação foi retirada e ainda não se recuperou, deixando o solo exposto, como também, a

concentração de indivíduos em uma única espécie, a jurema preta, no canto esquerdo um único exemplar do pau branco. b) Detalhe do material no Morro do Açude, o quartzito fraturado. c) Terreno no nível da estação experimental aonde aflora o material parental (gnaisse migmatítico). d) Detalhe da meia encosta do Morro do Açude observa-se um pequeno perfil de solo, material coluvionar constituído pelo quartzito, proporcionando ao solo uma coloração amarelada.



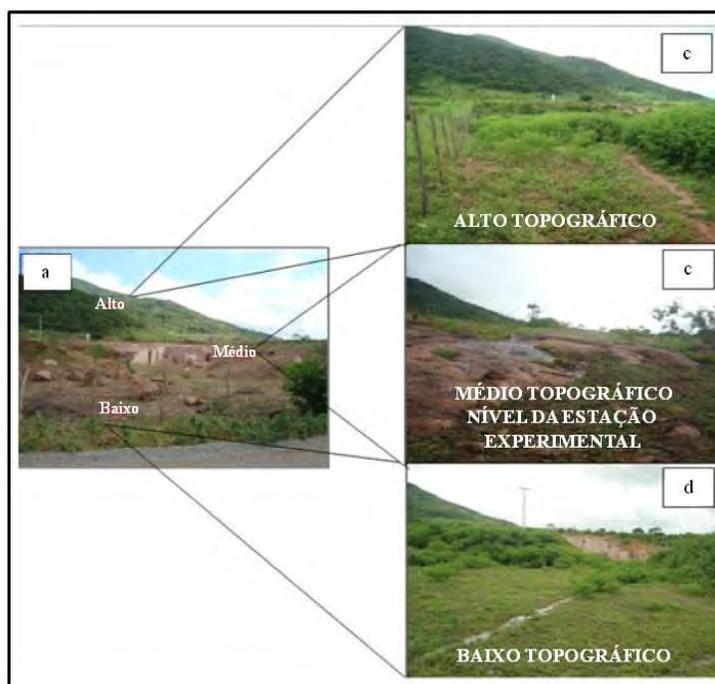
Fonte: Elaboração da autora.

Devido à superfície topográfica da área teste ser aplainada, embutida no Morro do Açude e circundada por barreiros e açudes, sofre inundações durante a estação chuvosa, porém, com precária incorporação à rede de drenagem, a água escoar com certa velocidade e se acumula nas depressões, mantendo o solo encharcado, porém, devido às altas taxas de evaporação ocorre a formação de trincas.

A área da estação experimental A3 apresenta altimetria de 200m, posiciona-se na vertente norte da Serra da Meruoca e possui dissecação moderada sem incisão violenta de cursos d'água, apesar de apresentar declives acentuados dentro do Vale do Riacho Boqueirão (EVANGELISTA e LIMA, 2007). A estação A3 está implantada em um terreno de meia encosta de declividade na faixa de 6-12%, correspondendo a uma superfície inclinada na cota de 180 metros. A Serra da Meruoca é conhecida como indutora de chuva e brisas, característica que induz uma boa drenagem. Devido ao posicionamento topográfico da área teste (meia encosta), a água escoar com velocidade proporcionando carreamento de parte do material pedimentar e alta lixiviação.

A caracterização da paisagem a partir da topografia possibilitou a divisão da área teste, também, em três unidades fisiográficas: Alto Topográfico (topo da serra), Médio Topográfico (meia encosta, nível onde se localiza a estação) e Baixo Topográfico (fonte d'água) (Figura 29).

Figura 29: a) Visão da vertente norte do Vale do Riacho Boqueirão e das unidades fisiográficas definidas para a área teste A3. b) Observa-se que no alto topográfico a vegetação é densa e representada tanto pela mata primária como secundária. c) Terreno no nível da estação experimental observa-se o granito aflorando na forma de lajedo, porção a montante da estação experimental. d) Baixo topográfico no nível de uma fonte d'água que surge por entre as fraturas.

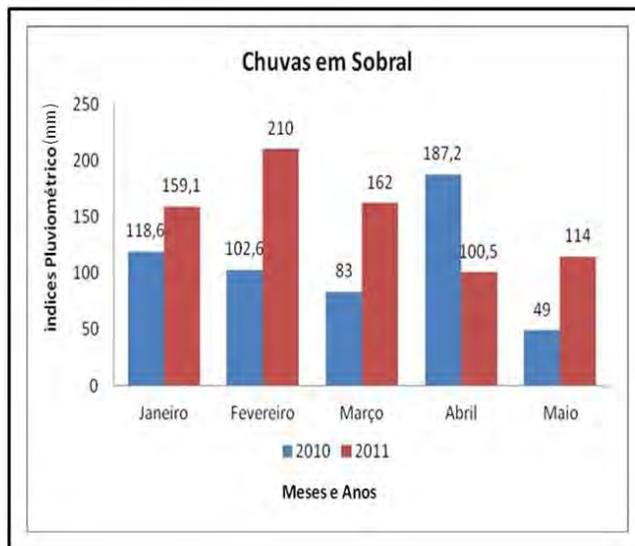


Fonte: Elaboração da autora.

5.4. Aspectos Hidroclimáticos e Vegetacionais

O Município de Sobral está sujeito a uma ocorrência de climas mais quentes e mais secos dentro do contexto semiárido do Ceará. Durante dois anos de pesquisa os dados de precipitação confirmam a irregularidade das chuvas (Figura 08). No ano de 2010 e 2011 nos meses considerados chuvoso, a média pluviométrica foi inferior a anos anteriores, porém, em 2011 os índices pluviométricos totais foram superiores as médias de 2010, sendo considerado ano atípico (Figura 30).

Figura 30: Média das chuvas em Sobral nos anos de 2010 e 2011. Dados de pluviômetros instalados pela FUCEME em Sobral dos anos de 2010 e 2011.



Fonte: Elaboração da autora.

Quanto microclima da área teste A1 percebe-se a dependência da distribuição e quantidade de chuva em relação ao seu posicionamento na Planície Fluvial, a área está inserida entre as margens dos rios Jaibaras e Acaraú elevando a umidade (vento, cobertura vegetal, matéria orgânica) e provocando alto percentual de evapotranspiração. O regime hidrológico da área teste está condicionado ao relevo e a granulometria do material sedimentar que escoar sentido ao rio principal.

O uso e a ocupação nesta unidade fisiográfica (área de vazante) levou a destruição ecológica das formações vegetais originais, modificando tanto a estrutura da fisionomia da vegetação, como as associações florísticas existentes, alterando as propriedades do solo.

Na área de influência direta e indireta da área teste A1 são reconhecidas duas espécies principais que compõem a fisionomia vegetal desta unidade localizadas nos terraços marginais das faixas interfluviais, a carnaúba (*Copernicia prunifera*), seguido da oiticica (*Licania rígida*) são espécies que resistem ao desenvolvimento devido fatores econômicos (carnaúba) e ambientais (a oiticica, serve de barreira natural), além de algumas espécies frutíferas, na margem esquerda do Acaraú formando mosaico vegetacional.

Nos limites da Fazenda Entre Rios como nos limites da estação experimental A1 são identificadas árvores frutíferas como a mangueira, cajueiro, siriguela, pé de ata (fruta do conde), pé de sapoti, goiabeiras, coqueiros, pontualmente, espécies de mata nativa (caatinga arbórea).

A área teste A2 encontra-se circundada por lagoas perenes, ao norte pelo açude da Fazenda Açude, ao sul pelo açude da área do Parque de Exposição e a oeste pelos açudes Sobral e Cachoeira, além de alguns barreiros. O posicionamento da área atrelado ao desmatamento alterou o clima local e condicionou a área a um microclima semiárido mais quente e mais seco, com grande incidência de raios solares.

Feições hidrológicas formadas por depressões de pequenos e grandes desníveis (açudes) permitem um maior acúmulo de água no período chuvoso. O escoamento dentro da estação experimental A2 corre na direção W-E. A água utilizada na irrigação do solo na parcela solo com composto (SC) foi de um barreiro localizado a aproximadamente 05 (cinco) metros a frente da estação, que conseguia reter água até meados do mês de julho.

O alto grau de desmatamento na área de influência direta de A2, aliado à deficiência pluviométrica juntamente com a forte incidência solar, levou a vegetação a uma forte adaptação, tendo apenas indivíduos que formam uma concentração de jurema preta (*Mimosa hostile*) com caules finos e espinhosos, alguns pau branco (*Auxema onconcalyx*) e um estrato herbáceo composto predominantemente pela ocorrência da gramínea conhecida como capim panasco (*Aristida setifolia*),

A área teste A3 está instalada em uma posição a sotavento conduzindo a um microclima quente/seco a subúmido condicionado principalmente pelo seu relevo e da vegetação esparsa. A vegetação nativa foi desmatada para ser utilizada como lenha, para cultivo de algodão, para extração do granito e atualmente para o cultivo do plantio de subsistência. A cobertura vegetal é caracterizada por mata seca, sendo as espécies representativas jurema preta (*Mimosa hostile*), pau branco (*Auxema onconcalyx*).

A área é abastecida pelo Riacho Boqueirão que tem as suas nascentes a oeste da Serra da Meruoca, que corre no sentido transversal W-E. Na área da estação a água que escoar e que se infiltra tem contato direto com a rocha granítica, bem como, pelo sistema de fraturas se comportando como uma boa interconexão hidráulica, portanto, a drenagem varia de moderada à acentuada. A direção do escoamento dentro da parcela é N-S. Na área da estação experimental a água utilizada é proveniente de uma fonte natural que surge pelas fraturas, localizada na frente de lavra da antiga mineração.

Pode-se observar que o microclima nas três áreas teste foi alterado, a baixa pluviosidade faz com que o céu permaneça com nuvens esparsas ou sem nuvens favorecendo a evaporação da água da chuva antes mesmo que ela chegue ao solo. Através dos dados históricos das chuvas nos últimos anos do município de Sobral, a média pluviométrica diminuiu. Percebe-se que a temperatura vem aumentando como consequência,

principalmente, do desmatamento, conseqüentemente, diminuindo o acúmulo de água (MEDEIROS et al. 2011).

5.5. Contexto Pedológico Local

As áreas teste estão representadas por gnaisses migmatitos, núcleo granitóide, incluem-se também os sedimentos aluviais que bordejam os rios Acaraú e Jaibaras. Este material litológico facilitou a ação dos agentes intempéries formando os solos na área de estudo.

O intemperismo físico na área de estudo é atuante e facilitado devido o tamanho dos grãos e a heterogeneidade das rochas identificadas. A ação do intemperismo químico é pequena, mas, eficaz, as rochas e os sedimentos encontram-se em zonas de falhas o que facilita a alteração devido ao aumento da superfície específica. O intemperismo biológico, também é atuante e exerce papel incisivo sobre os solos da área, pois além de propiciar o desenvolvimento da cobertura vegetal ajuda na decomposição do material parental.

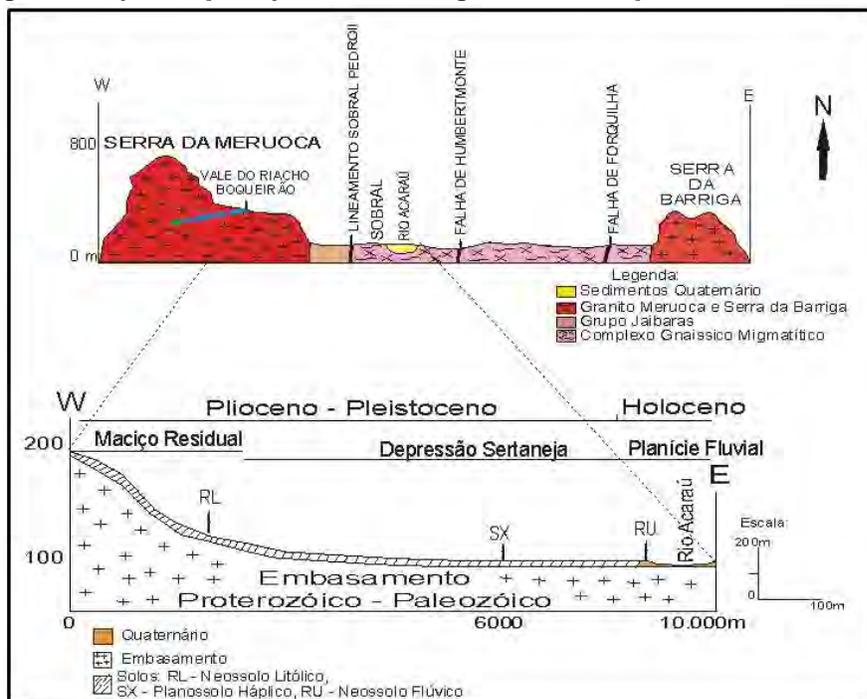
Estes fenômenos ocorrem durante o prolongado período seco e das breves fortes chuvas. As “massas” oriundas da desagregação, fragmentação e decomposição desses materiais geológicos se movimentam num curto período chuvoso formando um manto de intemperismo raso que apresentam características adquiridas quanto herdadas.

Os trabalhos de campo permitiram identificar, na escala da paisagem, três “solum” e com base no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, associa-los a três classes, a saber: Neossolo Flúvico (RU), Planossolo Háplico (SX) e o Neossolo Litólico (RL) (EMBRAPA, 2006). A classificação pode ser confirmada pela discussão sobre os dados geotécnicos e através dos resultados das análises de fertilidade, bem como, dos dados da difração de raios X nos itens 6.8, 6.9.2 e 6.9.4, respectivamente.

Após estudos geoambientais e morfológicos das três áreas, desenhou-se um perfil topográfico e pedológico representativo, com a finalidade de evidenciar o substrato rochoso o qual o regolito se desenvolveu e as correlações pedogeomorfológicas (Figura 31).

O Neossolo Flúvico (RU), identificado na área experimental A1 é derivado da sedimentação aluvial (caráter flúvico) com características adquiridas da rocha encaixante, em alguns pontos apresenta caráter glei e tem como agente de transporte o Rio Acaraú (Figura 31). Tais Características apesar de indicarem intenso processo de lixiviação e intemperismo sugere uma evidente filiação com a rocha parental, que pela atual classificação de solos do Brasil, trata-se de um solo pouco evoluído.

Figura 31: Representação esquemática da litologia, relevo e situação dos “solum” estudados.



Fonte: Elaboração da autora.

O Planossolo Háptico é originário do embasamento cristalino gnáisse migmatítico (Figura 30). Este tipo de rocha tem como característica o bandamento, definido pela presença de biotita, hornblenda (minerais ferromagnesianos) e do plagioclásio (feldspato cálcico), considerados como minerais mais intemperizáveis, entretanto, há ocorrência de minerais primários como o quartzo e o feldspato, indicando solo formado em um pedoambiente de baixa lixiviação. Devido ao seu posicionamento no relevo, da drenagem deficiente, aos grãos grossos e angulosos sugere que o solo tenha se desenvolvido “in situ” (autóctones), caracterizando-o como raso com pedregosidade e rochosidade na superfície e com forte influência da rocha parental.

O Neossolo Litólico na área teste A3 tem sua origem adquirida do material granítico, apresenta grande quantidade de minerais primários, grãos grossos, pedregoso e rochoso em superfície e assentado diretamente sobre a rocha, sugerindo tratar-se de um solo pouco evoluído. Por se encontrar distribuído na meia encosta o “solum” adquire característica coluvionar (Figura 31).

A Tabela 02 apresenta de maneira sucinta os fatores de formação dos três solos que neles atuaram e ainda atuam.

Tabela 02: Formação geológica, material litológico, unidade geomorfológica, clima e classificação dos três solos estudados.

Amostras	Formação Geológica	Material Litológico	Unidade Geomorfológica	Clima	Classificação
A1	Sedimento Aluvionar	Material proveniente de rochas do embasamento e sedimentos recentes.	Planície Fluvial (Terraço Aluvionar)	Semiárido Úmido	Neossolo Flúvico (RU)
A2	Unidade Canindé	Capeamento argilo-arenoso de rochas gnaisses migmatíticas.	Depressão Sertaneja	Semiárido mais quente e mais seco	Planossolo Háptico (SX)
A3	Pluton Meruoca	Granito	Maciço Residual	Semiárido quente/seco a subúmido	Neossolo Litólico (RL)

Fonte: Elaboração da autora.

5.6. Estações Experimentais

Os sistemas experimentais foram construídos em propriedades particulares que são utilizadas até hoje, principalmente para atividades agrícolas, portanto, pode-se considerar como áreas de “riscos” devido aos efeitos antrópicos.

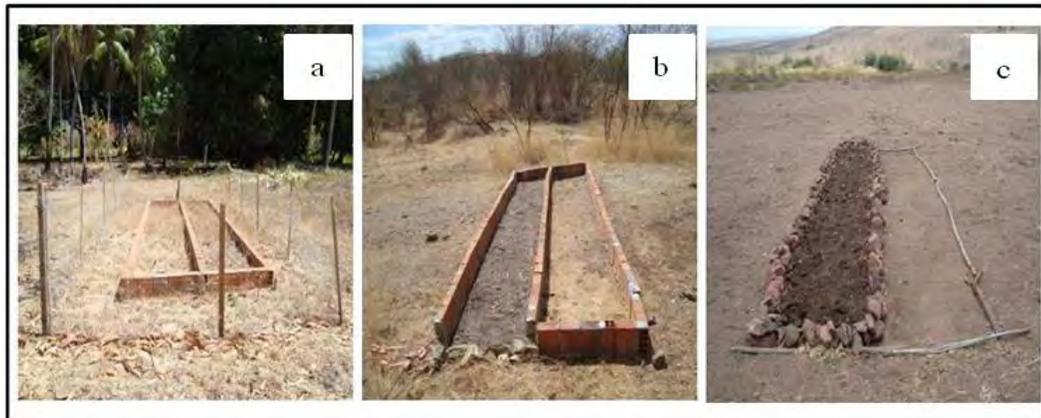
Na área teste A1 a integridade da estação experimental estava relativamente garantida por encontrar-se dentro do perímetro da casa grande da Fazenda Entre Rios. Já a infraestrutura da estação experimental da área teste A2 por estar instalada em uma porção da Fazenda Açude arrendada para o plantio da cultura de subsistência, apresentou-se como um “monumento” ficando um pouco fora da rotina, porém, não descaracterizou a paisagem.

A integridade do sistema experimental na área teste A3 ficou ameaçada desde o início, pois a área é arrendada para pasto, o gado é um constante perigo, mesmo sendo pastorado pelos moradores da comunidade da área.

Durante os dois anos de pesquisa a estrutura do sistema experimental de A1 manteve-se intacta (Figura 32a). Os danos foram mínimos, alguns consertos na tela protetora e troca de algumas estacas, porém, foi possível averiguar a interação solo x composto.

No segundo semestre de 2010 as estações experimentais A2 e A3 foram danificadas. Pode-se perceber pela figura que a estrutura organizacional da estação experimental da área teste A2 foi modificada, a tela, as estacas e alguns tijolos foram retirados, mas, a integridade da estação experimental foi garantida (Figura 32b).

Figura 32: a) Estação experimental de A1 intacta após 2 anos de pesquisa; b) Vandalismo na estação A2, ocorreu a retirada da cerca e de alguns tijolos, porém, integridade mantida; c) Estação experimental de A3 com o novo desenho, integridade comprometida.



Fonte: Elaboração da autora.

Não se pode dizer o mesmo sobre o sistema experimental A3, a perda foi total com a ação de vandalismo. Foram executadas algumas medidas corretivas na tentativa de garantir os objetivos propostos, fragmentos de rochas e galhos foram utilizados para delimitar o experimento, bem como, galhos com espinhos para afugentar o gado (Figura 32c).

O novo desenho da estação experimental se enquadrou melhor com o meio físico, porém, há fortes indícios de que haverá grandes diferenças entre os três sistemas, as quais serão abordadas e discutidas através dos dados de fertilidade dos solos (Item 6.9.2).

5.7. Produção e Disposição do Composto Orgânico

O composto orgânico produzido para emprego na recuperação dos solos degradados de Sobral, na área teste A1 na forma de leira e em composteiras improvisadas (cestos) nas áreas A2 e A3, pesou aproximadamente 80kg os quais foram aplicados nas parcelas definidas solo com composto (SC), de forma homogênea perfazendo uma manta orgânica com 5cm de espessura. Devido às dimensões das estações experimentais e da quantidade de material disposto, o volume de composto calculado foi de 0,3m³.

No período chuvoso de 2010 o material de origem vegetal utilizado na área experimental A1 foi a palha do *Coocos nucifera L.* (coqueiro) palmeira introduzida na área, bem como, plantas herbáceas como a salsa (*Ipomoea asarifolia*) e a jitirana-cabeluda (*merremia aegyptia (l.) Urb.*), e como espécies gramíneas o capim carrapicho (*Cenchrus echinatus L.*) e o capim batatais (*Paspalum notatum*).

Na área teste A2 foi utilizado a chanana (*Turnera subulatae Sm.*) que é uma planta herbácea do tipo arbusto, a jilitirana-cabeluda (*Merremia aegyptia (L.) Urb.*) que também é uma herbácea tipo trepadeira e o capim panasco (*Aristida setifolia*) como gramínea. Em A3 utilizou-se o galhos e folhas da jurema preta (*Mimosa hostile*), a salsa (*Ipomoea asarifolia*) e o capim batatais (*Paspalum notatum*).

O composto orgânico foi produzido durante 90 dias pela ação da energia “livre” (água e luz do sol) e da energia química (reações bioquímicas). O material foi analisado no Laboratório de Solos e Água do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará (UFC) (Tabela 03). Salienta-se que a relação carbono/nitrogênio (C:N) dos novos compostos produzidos serão avaliadas através das análises química de fertilidade dos solos (Item 6.9.2).

Tabela 03: Resultado analítico do composto orgânico produzido em cada área teste.

Amostras	Macronutrientes (g/kg)										Micronutrientes (mg/kg)			
	C	N	C/N	MO	P	P ₂ O ₅	K	K ₂ O	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
A1	120	10,4	12	208	2,7	6,2	18,8	22,9	8,9	5,2	6.798,4	56,7	67,3	315,6
A2	100	8,7	11	174	2,4	5,5	8,4	10,2	8,4	5,3	7.950,4	58,3	57,9	248,4
A3	88	7,6	11	152	2,0	4,6	7,6	9,3	7,6	4,8	8.897,7	40,2	50,2	284,0

Fonte: Laboratório de solos e água da UFC: C (carbono), N (nitrogênio), C/N (relação carbono/nitrogênio), MO (matéria orgânica), P (fósforo), P₂O₅ (pentóxido de fósforo), K (potássio), K₂O (óxido de potássio), Ca (cálcio), Mg (magnésio), Fe (ferro), Cu (cobre), Zn (zinco), Mn (manganês).

Lima *et.al.* (2009), afirmam que de acordo com os trabalhos de Hortenstine & Rothwell (1973), Kropisz & Wojciechowski (1978) e Chanyasak & Kubota (1981), a relação C:N abaixo de 15 g/kg expressa estabilidade do composto e de acordo com Iglesias-Jimenez & Perez-García (1992), uma relação C:N abaixo de 12 g/kg indica alto grau de maturidade do composto.

Pelos valores do teor de carbono e de nitrogênio encontrados indicam que o composto orgânico atingiu a maturidade, ou seja, transformou-se em produto decomposto. A média dos valores da relação C:N se situa em torno de 11 g/kg, estando de acordo com a classificação sugerida pelos autores ora citado, portanto, os compostos avaliados podem ser considerados humificado.

No segundo semestre de 2010, período considerado seco, pode-se observar que ocorreram mudanças nas parcelas solo com composto (SC), algumas espécies vegetais

nasceram durante a estação chuvosa e secaram durante a estiagem, na área da estação A1 brotou a malícia roxa (*Shrankia leptocarpa* DC.) da família da leguminosa e a quebra-panela (*Alternanthera tenella* Colla) uma erva ramificada. Na parcela SC da área teste A2 nada brotou, na estação experimental A3 nasceu a chanana (*Turnera subulatae* Sm.) (Figura 33).

Figura33: Situação das estações experimental no período seco de 2010. a) A vegetação nas parcelas solo exposta (SE) e solo com composto (SC) da estação A1 encontram-se totalmente ressecadas. b) Em A2 nada vigou dentro de nenhuma das parcelas, em volta da estação experimental observa-se a jurema preta e o capim penasco secos. c) Detalhe da chanana que brotou na parcela SC da estação A3.



Fonte: Elaboração da autora.

Para que houvesse uma maior umidade na produção do composto no período seco de 2010, foi aberta uma cava no solo de cada área teste, com um leve declive para facilitar o revolvimento da amostra orgânica (Figura 34). O procedimento empregado na produção seguiu as mesmas proporções e dimensões sugeridas anteriormente, procedeu-se também, com uma rega e mistura do material semanalmente (Capítulo 4 item 4.3).

A segunda aplicação (dose) superficial do composto na parcela solo com composto (SC) foi de 40 kg que quando disposto, formou uma camada de 2,5cm resultando em um volume total/área de 0,15m³ de composto produzido.

Figura 34: a) Detalhe da montagem da pilha de compostagem (material vegetal e material animal) na forma de leira na estação A1. b) Cesto utilizado como composteira em na estação A3. c) Aspecto da cava na área experimental A1, no alto em vermelho o dimensionamento da cava.



Fonte: Elaboração da autora.

Como a média pluviométrica de 2011 foi superior a de 2010 e como as chuvas se concentram nos primeiros meses do ano, a vegetação, principalmente, dentro das estações experimentais cresceu de forma bastante satisfatória. Pode-se perceber também, mudanças nas características físicas e químicas dos solos nas parcelas solo com composto (SC) em relação aos das parcelas solos expostos (SE), conforme os dados da análise de fertilidade e da análise microforológica.

Para uma melhor descrição das mudanças e para a terceira e última aplicação do composto orgânico, se faz necessário o corte da vegetação dentro das parcelas. O material vegetal (verde) da limpeza foi colocado sob a manta orgânica recém colocada contribuindo de alguma maneira com o incremento de nutrientes no solo.

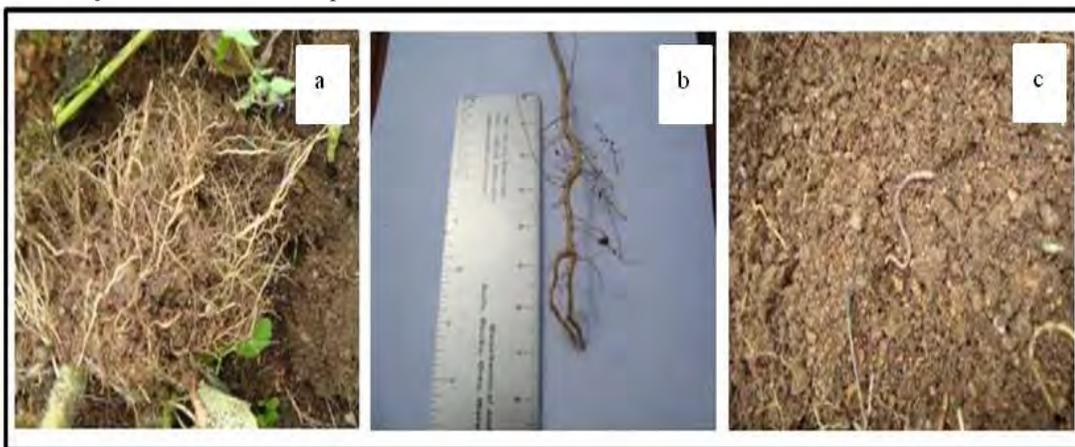
Na parcela SC da estação A1 nasceram capim carrapicho (*Cenchrus echinatus* L.) e o capim batatais (*Paspalum notatum*) e o pé de galinha (*Dactyloctenium aegyptium* (L.) P. Beauv.), a chanana (*Turnera subulatae* Sm.), a malícia roxa (*Shrankia leptocarpa* DC.), foi observado cobras e lagartos, bem como, abelhas, formigas e minhocas.

Em na estação A2 cresceram a chanana (*Turnera subulatae* Sm.), a malícia roxa (*Shrankia leptocarpa* DC.), o capim panasco (*Aristida setifolia*) e algumas espécies que possuem folhas e galhos suculentos indicativo do acúmulo de água, além do cominho bravo (*Pectis opodocephala* Baker), bem como, cobras, lagartos, rãs, escorpiões, formigas e abelhas.

A parcela solo com composto (SC) da estação experimental A3 estava completamente ocupada por uma leguminosa nativa, a mata pasto liso (*Senna obtusifolia* (L.) H. S. Irwin & Barneby), além da presença de escorpiões, formigas, abelhas, lagartas e minhocas.

Os solos degradados cobertos com a manta orgânica conseguiu agregar as partículas o suficiente para permitir a entrada de ar e água, o desenvolvimento das raízes e de minhocas (Figura 35). Segundo Primavesi (2006) para que haja minhocas o solo tem que conter matéria orgânica e ser protegido contra o ressecamento.

Figura 35: a) Raiz do material vegetal desenvolvido no solo da estação experimental A1. b) A raiz da parcela SC da área teste A2 é indicadora (confiável) de que a manta orgânica aplicada melhora as condições do solo. c) O solo da estação A3 úmido e areado permitindo o desenvolvimento de minhocas.



Fonte: Elaboração da autora.

Observa-se que o ciclo de vida foi iniciado e trata-se da mais perfeita sinergia. Os solos mantiveram-se úmidos, com nutrientes disponíveis, os quais se mobilizaram na hora em que a planta necessitou deles. Portanto, é possível afirmar que os 160 kg de composto orgânico utilizados, possibilitou a ocorrência de espécies com um enraizamento, mesmo que superficial, apresentar funções de ancoragem aos solos contra os processos erosivos (degradação) pela simples agregação das partículas dos solos.

5.8. Dados Geotécnicos

Serão apresentados os dados físicos das amostras coletadas antes da aplicação do composto orgânico.

- Descrição no Campo

A descrição morfológica tátil/visual “in situ” evidenciou que o Neossolo Flúvico (RU), não apresenta crosta e nem rachaduras, foi considerado como úmido, pois, a água (umidade) foi sentida ao tato, de cor cinza escuro quando úmido e cinza amarronzado quando seco. Foi possível constatar estrutura granular média, o material não é áspero como a areia, mas, perceptível ao tato uma matriz argilosa, apontando-o como siltoso.

O Planossolo Háptico (SX) apresenta textura argilosa, mas, o conteúdo de areia é razoável, o que propicia ao solo, a formação de uma estrutura média com blocos angulares. É de consistência dura que aumenta quando seco e plástico e pegajoso quando molhado, condição que proporciona a formação de crosta e rachaduras. O Neossolo Litólico (RL) possui textura arenosa e estrutura granular, quando molhado adere ligeiramente aos dedos e não apresenta crosta e nem rachaduras.

- Descrição no Laboratório

Os testes geotécnicos realizados no Neossolo Flúvico (RU) o enquadraram como solo siltoso, a comprovação adveio do comportamento de um torrão imerso na água que se desagregou durante uma reação considerada como rápida e de três corpos de prova produzidos, que após a secagem foram pressionados, utilizando-se média pressão resultando na quebra dos corpos de prova, indicando uma pequena resistência, confirmando o solo com caráter siltoso. Esse comportamento textural classifica o RU como um solo de pouca coesão.

O foi possível constatar que o Planossolo Háptico (SX) possui uma matriz argilosa, a desagregação do torrão foi muito lenta, por mais de cinco minutos e foi utilizada uma alta pressão nos três corpos indicando alta resistência, ratificando a textura argilosa. Resultados que apontam o SX como um solo coeso. O Neossolo Litólico (RL) é arenoso, o torrão no recipiente com água desagregou-se rapidamente e os três corpos de prova após pressão esfarelou indicando nenhuma resistência. Estas características assinalam o RL como não coeso.

A classificação textural foi confirmada por meio da análise granulométrica conjunta (peneiramento e sedimentação) e granulometria laser. O número de amostras é muito pequeno, considerado insatisfatório, podendo oferecer um resultado impreciso, porém, não

pode ser descartado, pois confirmam que os três solos estão relacionados diretamente com o material de origem e o ambiente de formação.

Os grãos foram analisados a partir do material retido na malha grossa de 35 mesh (#), equivalente à abertura de 0,50mm, para a identificação da forma, do grau de arredondamento e do grau de seleção (Figura 36).

Figura 36: Morfologia das partículas: a) Grãos do Neossolo Flúvico, furo F2, fração 0,50 mm. b) Grãos do Planossolo Háptico, furo F2, malha 35#. c) Grãos do Neossolo Litólico, furo F3, fração 0,50mm.

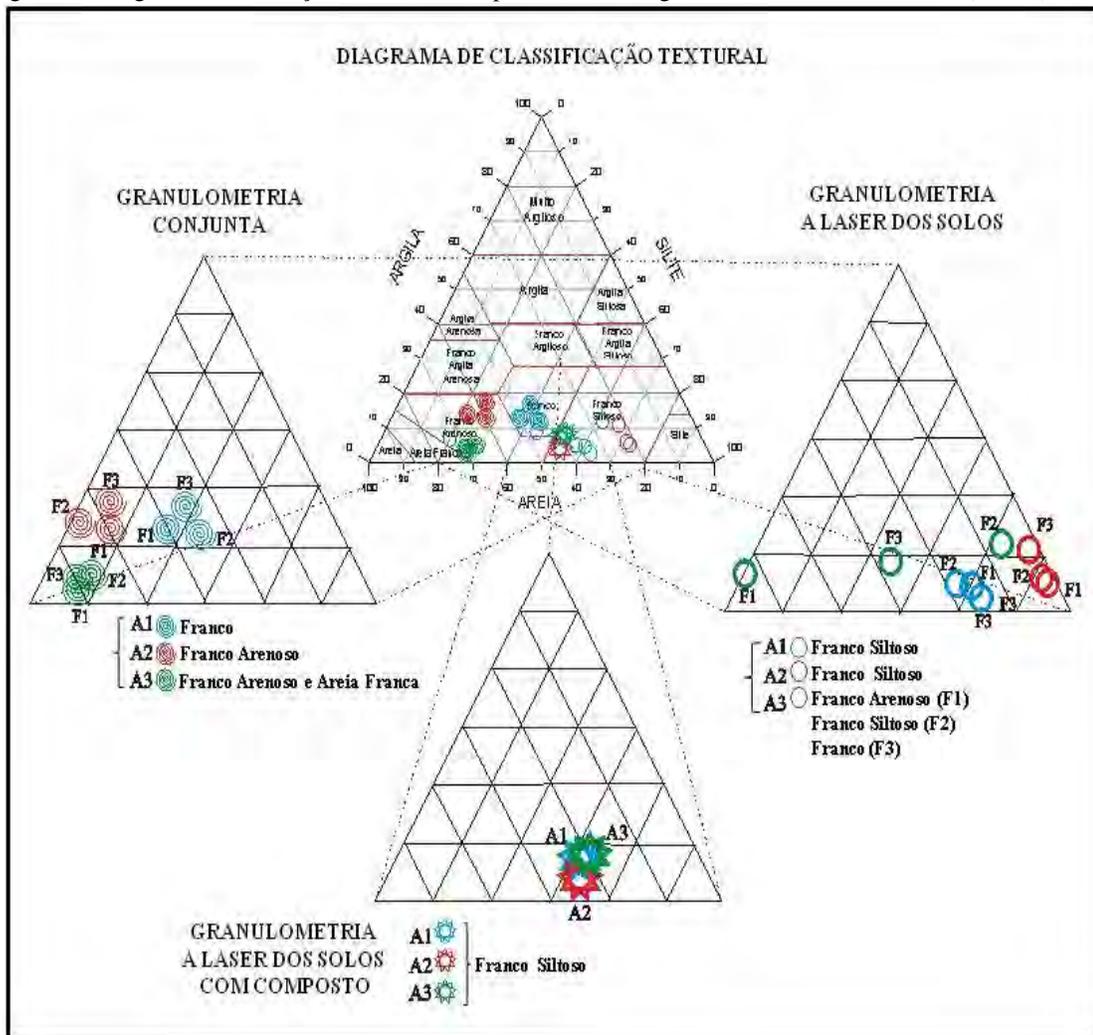


Fonte: Elaboração da autora.

Os valores encontrados através das análises granulométricas foram plotados no diagrama do sistema de classificação textural do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), o qual orienta a escolha de termos mais apropriados para designar os solos estudados. O teor de finos, para este trabalho foi definido pela soma da argila + silte e o teor de grossos pela quantidade de areia. Foram, também, plotados os resultados encontrados para os solos com composto orgânico (Figura 37).

De acordo com o diagrama ternário todas as amostras do Neossolo Flúvico (F1, F2 e F3) foram classificadas de textura franca, textura que reflete a natureza granulométrica do pedoambiente planície fluvial (Figura 37). Este solo possui média de 53% de finos e 46% de partículas grosseiras (Tabela 04).

Figura 37: Diagrama Classificação Textural do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA).



Fonte: Instituto Geológico Y Minero de Espanã (2000).

Tabela 04: Características físicas dos solos antes da aplicação do composto.

Características Geotécnicas	Neossolo Flúvico (A1)				Planossolo Háptico (A2)				Neossolo Litólico (A3)			
	Furo 1	Furo 2	Furo 3	\bar{y}	Furo 1	Furo 2	Furo 3	\bar{y}	Furo 1	Furo 2	Furo 3	\bar{y}
Argila %	12	11	16	13	12	14	16	14	4,0	4,0	3,0	3
Silte %	38	44	39	40	28	35	26	29	26	28	27	27
Areia %	50	45	45	46	60	65	58	61	70	68	70	69
Classificação (G. Conjunta)	Franco				Franco Arenoso				Areia Franca e Franco Arenoso			
Argila %	4,0	4,0	5,0	4	8,0	6,0	14	9	7,0	11	8,0	8,0
Silte %	60	58	63	60	76	71	69	72	20	61	44	41
Areia %	36	38	37	37	24	23	23	23	73	28	48	49
Classificação (G. Laser)	Franco Siltoso				Franco Siltoso				Franco Arenoso, Franco Siltoso e Franco			
LL %	24,70	23,20	23,70	24	47,00	42,30	46,90	45	14,70	19,65	20,24	18
LP %	21,62	20,57	19,03	20	27,19	28,72	29,80	29	11,94	17,81	16,53	15
IP %	3,08	2,63	4,63	4	19,81	13,58	17,10	16	2,76	1,84	3,71	3
Índice de Consistência	Pouco Plástico				Plasticidade Média				Pouco Plástico			
h %	9,4	12,3	11,9	11,2	15,8	11,5	16,7	14	4,1	2,3	3,4	3,2
MEP g/cm ³	2,63	2,63	2,74	2,7	2,63	2,67	2,82	2,7	2,56	2,57	2,56	2,6
MES g/cm ³	1,35	1,32	1,31	1,3	1,46	1,40	1,35	1,4	1,42	1,50	1,44	1,5
PS %	51,33	50,19	47,81	50	55,51	52,43	47,87	52	55,46	58,36	56,25	57
PEP %	48,66	49,80	52,18	50	44,48	47,57	57,12	50	44,53	41,63	43,75	43

Onde: Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP), Índice de Plasticidade (IP), Teor de Umidade (h), Massa Específica da Partícula (MEP), Massa Específica do Solo (MES), Porcentagem de Sólidos (PS) e Porcentagem do Espaço Poroso (PES). Fonte: Elaboração da autora.

Todas as amostras do Planossolo Háptico (F1, F2 e F3) foram classificadas como franco arenoso (Figura 37). É o solo com alto teor de argila (Tabela 04), condição que confirma a potencialidade do material de origem, o gnaiss migmatítico, em fornecer quantidades de substâncias de argila como produto do intemperismo.

No Neossolo Litólico, a amostra representada pelo furo F1 foi classificada como areia franca, F2 e F3 de franco arenoso, é um solo constituído na sua essência por frações grossas evidenciando uma ação intempérica muito baixa (Figura 37).

Observa-se que o ensaio da granulometria conjunta (sedimentação e peneiramento) as partículas não foram totalmente desagregadas, apresentam-se aglomeradas indicando falta de organização dos agregados (Figura 37).

A granulometria a laser revelou que a utilização do ultra-som aumentou o teor de finos, as partículas foram defloculadas. Pelo resultado da granulometria laser o Neossolo Flúvico (A1) foi classificado como franco siltoso, o Planossolo Háptico (A2), também, como franco siltoso, estes solos têm em comum o gnaiss migmatítico na sua formação. Cada amostra do Neossolo Litólico (A3) revelou uma classe textural, classificação evidenciada pelo baixo grau de seleção das partículas.

O valor médio do IP (índice de plasticidade) do Neossolo Flúvico é de 4%, ou seja, trata-se de um solo pouco plástico que é coerente com a classe textural. O Planossolo Háptico

foi enquadrando como solo de plasticidade média, o alto teor de argila possivelmente sugere a presença de minerais de argila do tipo 2:1 (confirmação na difração de raios X-DRX). O valor médio do IP no Neossolo Litólico é de 3% inserindo-o no nível de pouco plástico, corroborando com a classe textural (Tabela 04).

O Neossolo Flúvico apresenta uma média de 11,2% de umidade, isto indica que pela presença das partículas finas o solo possui boa capacidade de retenção de água. A média do teor de umidade para Planossolo é de 14%, valor alto, reflexo dos 43% de finos. O Neossolo Litólico por apresentar baixa plasticidade atinge conteúdos baixos de umidade (Tabela 04).

Quanto aos valores da massa específica da partícula (MEP) ou densidade da partícula, verificou-se que duas amostras do Neossolo Flúvico, uma amostra do Planossolo Háplico e todas as amostras do Neossolo Litólico, estão abaixo do valor universal geralmente usado, $2,65 \text{ g cm}^{-3}$. Este resultado, também indica a existência de partículas menos densas que o quartzo, que influenciam o valor da MEP para abaixo do valor médio universal (Tabela 04).

O alto valor da MEP no Neossolo Flúvico é de $2,74 \text{ g/cm}^3$, este valor é atribuído à presença de partículas de plagioclásio cálcico ($2,67 - 2,76 \text{ g/cm}^3$) nas camadas detriticas, nessa faixa, também, se evidenciam a presença de mineral de argila do tipo 2:1, por exemplo, a montmorilonita ($d=2,74 \text{ g/cm}^3$), conforme dados de Gondim (2008) (Quadro 03, item 4.5).

O alto valor da massa específica da partícula encontrada para duas amostras do solo residual (Planossolo Háplico) indicam a presença do plagioclásio cálcico, mineral comum no material de origem e outro valor que se enquadra dentro da faixa característica de colóides silicatados que possuem densidade dentro dessa faixa. O solo coluvionar (Neossolo Litólico) obteve baixos valores de massa da partícula, reflexo do mineral mais abundante no granito Meruoca, o feldspato potássico ($2,56 - 2,57 \text{ g/cm}^3$).

Os valores encontrados da massa específica do solo (MES) ou densidade aparente, no Neossolo Flúvico são os mais baixos, refletindo na qualidade do solo, a área possui uma maior cobertura vegetal responsável pelo aporte de matéria orgânica, o que lhe fornece uma melhor estrutura influenciado na densidade do solo.

A MES do Planossolo Háplico é alta, devido ao alto desmatamento influenciando nos efeitos pluvioerosivos, conseqüentemente ocasionou uma selagem de superfície, aumentando a massa específica do solo. A densidade aparente do Neossolo Litólico, também é alta, indica que o solo foi modificado em função do baixo teor de matéria orgânica e do pisoteio do gado causando compactação (Tabela 04).

Os valores da porcentagem dos sólidos (PS) do Neossolo Flúvico são os mais baixos, mesmo com grande quantidade de grãos grossos, os sólidos são moderadamente selecionados.

O solo apresenta a maior porcentagem de espaços porosos (PES) favorecido pelo maior nível de organização dos agregados, os grãos são arredondados e de tamanho uniforme, possibilitando a retenção de uma grande quantidade de água durante o período chuvoso, corroborando com o resultado encontrado para a umidade.

O resultado da PS do Planossolo Háptico, também é baixo, o solo também, possui grande quantidade de grãos grossos, porém, são de tamanhos moderadamente selecionados. A PES é alta devido os grãos serem tabulares e angulosos, possibilitando um bom armazenamento de água. O Neossolo Litólico possui a maior porcentagem de sólidos os grãos são grandes e sem seleção, é o solo mais aerado, porém, não permite armazenar água.

Os resultados evidenciam que o solo com maior massa específica do solo possui baixa porcentagem de espaços porosos, no caso, o Neossolo Litólico, influência da degradação levando ao desaparecimento da estrutura e o aumento na densidade aparente (Tabela 05).

Tabela 05: Porcentagem dos sólidos x Espaços porosos.

CLASSES DE SOLOS	FORMATO DOS GRÃOS	ARRANJAMENTO DAS PARTÍCULAS	PS (%) (Média)	PEP (%) (Média)
Neossolo Flúvico	Esféricos e Arredondados	Tamanho Uniforme	50	50
Planossolo Háptico	Tabulares e Angulosos	Melhor Distribuição	52	50
Neossolo Litólico	Subarredondados	Gradação Aberta	57	43

Fonte: Elaboração da autora.

As diferenças observadas nos três solos estão relacionadas com o material de origem, o posicionamento geomorfológico onde cada um foi originado. São solos constituídos por um alto percentual de grãos grossos, evidenciando um tempo geológico relativamente curto. O intemperismo foi insuficiente para promover uma desagregação e uma decomposição mais acentuada.

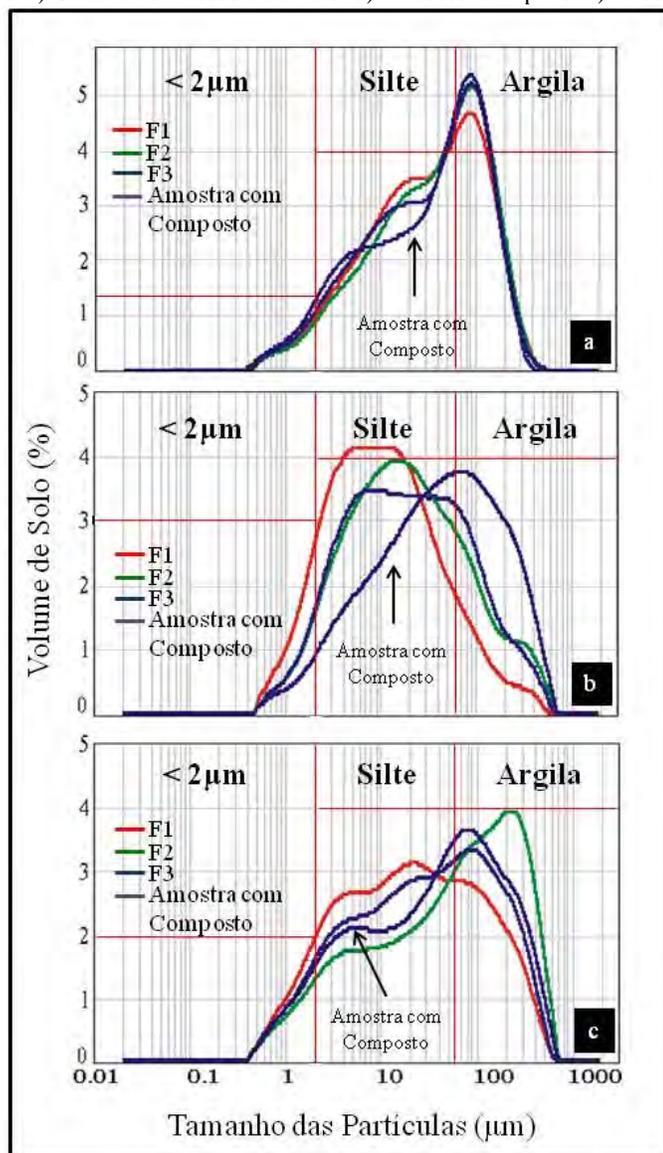
Os resultados das análises geotécnicas demonstram que a qualidade dos solos está comprometida indicando restrições de uso. Portanto, os três solos estudados encontram-se degradados.

5.9 Dados Geoquímicos

5.9.1 Granulometria a Laser

Na Figura 38 são apresentadas as curvas de frequência granulométrica a laser dos três solos sem tratamento e com tratamento orgânico. Percebe-se que há divergências entre as curvas, referentes aos diferentes graus de organização e do estado de aglomeração.

Figura 38: Curva de frequência granulométrica dos três solos sem composto orgânico (F1, F2 e F3) e da amostra com composto orgânico. a) Gráfico do Neossolo Flúvico. b) Planossolo Háplico. c) Neossolo Litólico.



Legenda: Linha em vermelho=F1, Verde=F2, Azul=(F3) e Lilás=Amostra do Solo Com Composto (SC).

Fonte: Elaboração da autora.

A curva de frequência granulométrica das amostras sem tratamento (F1, F2 e F3) do Neossolo Flúvico na área experimental A1, são bimodais indicando transporte, estando em concordância com o pedoambiente de formação (Médio Rio Acaraú). As curvas tornam-se mais alongada e estreita na faixa da areia ($> 63 \mu\text{m}$) evidenciando uma maior concentração de partículas finas, distribuídas no limite silte e argila, que juntamente com as partículas grosseiras podem ser consideradas uniformes, indicando tratar-se de um solo moderadamente a bem selecionado (Figura 38a).

Analisando a curva da amostra com tratamento, pode-se sugerir que a natureza dos colóides associada a manta orgânica adicionada promoveu uma organização das partículas (Figura 38a, amostra com composto). O composto orgânico atuou como um ligante, proporcionando uma evolução no solo, que se traduz numa melhoria gradual das suas características físicas.

Através da inspeção visual das curvas de frequência granulométricas das amostras sem composto do Planossolo Háplico (Figura 38b), verifica-se uma distribuição aproximadamente gaussiana (monomodal) e achatada (grãos angulosos) indicando que as partículas não foram sujeitas a transportes, condizente com o seu posicionamento geomorfológico (Depressão Sertaneja). Os grãos são aproximadamente equidimensionais sugerindo uma uniformidade, indicando tratar-se de um solo moderadamente selecionado.

A curva que representa a amostra com tratamento orgânico (Figura 37b, amostra com composto) apresenta uma curva aproximadamente bimodal indicando movimentação das partículas, após da adição da manta orgânica formando estruturas.

As curvas granulométricas das amostras do Neossolo Litólico (área teste A3) são bimodais tornando evidente, que as partículas foram movimentadas, compatível com a natureza coluvial deste solo (Figura 38c). Observa-se uma grande concentração de grãos grosseiros traduzindo numa gradação aberta, indicando que a gama de índices de vazios é limitada, corroborando com os dados da porcentagem dos espaços porosos. A curva granulométrica da amostra com tratamento (Figura 38c, amostra com composto) ilustra uma arrumação dos agregados.

Observando as curvas granulométricas sem tratamento percebe-se que o procedimento utilizando ultrassom desagregou a fina camada de argila em torno dos grãos maiores, aumentando a proporção de material mais fino, quando comparado com os resultados da granulometria conjunta, com isso, é possível ressaltar a facilidade que as partículas possuem de se aderir a outro objeto.

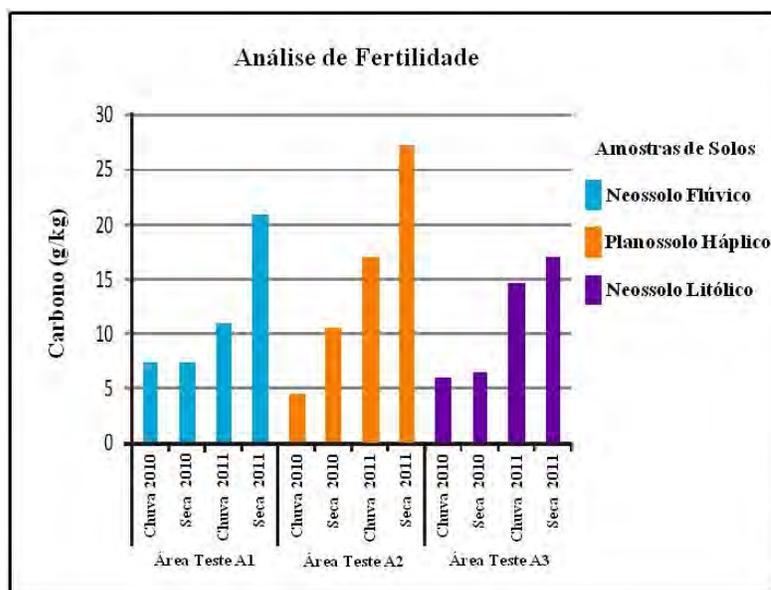
As curvas de frequência granulométrica dos solos com tratamento evidenciam que com a aplicação do composto, os solos ficaram quimicamente ativos, o ultrassom desagrega, porém, devido à natureza dos colóides minerais existentes, a manta orgânica estimula as partículas dos três solos se agregarem de forma estruturada.

5.9.2. Análise Química de Fertilidade

A seguir, serão apresentados os resultados da análise de fertilidade, das amostras coletadas antes da aplicação do composto orgânico voltadas à avaliação da qualidade, posteriormente, as análises das amostras com composto para a constatação da reversão da degradação. Foi considerado um valor médio para os furos de amostragem, uma vez que as transformações ocorridas mostraram variações em função do clima (Tabela 06). O valor individual dos furos de amostragem encontra-se em apêndices.

O valor de carbono encontrado nas amostras evidenciou que, independente do tipo de solo são baixos (Tabela 06). A primeira aplicação do composto ocorreu em maio de 2010 no período chuvoso e a coleta em setembro no período considerado seco. Comparando os valores de carbono (C) das amostras sem tratamento e com as amostras com composto orgânico, percebe-se que houve um aumento no teor de C, especialmente, no Planossolo (Figura 39).

Figura 39: Comparação entre os valores de carbono nos três solos antes, durante e depois da aplicação do composto orgânico. Eixo X: Valores do carbono, Eixo Y: Chuva e Seca dos anos de 2010 e 2011, para cada área teste.



Fonte: Elaboração da autora.

Tabela 06: Média ponderada dos furos de amostragem dos três solos.

ÍNDICES QUÍMICOS	NEOSSOLO FLÚVICO (A1)			PLANOSSOLO HÁPLICO (A2)			NEOSSOLO LITÓLICO (A3)			
	CHUVA 2010	SECA 2010	CHUVA 2011	CHUVA 2010	SECA 2010	CHUVA 2011	CHUVA 2010	SECA 2010	CHUVA 2011	SECA 2011
C(g/kg)	7,3	7,4	10,9	4,4	10,5	16,9	6,0	6,5	14,6	17,0
MO (g/kg)	1,27x10	1,27x10	1,88x10	0,69x10	1,80x10	2,91x10	1,04x10	1,11x10	2,52x10	2,94x10
pH (água)	7,8	7,6	7,6	6,9	7,7	7,5	7,0	7,3	7,3	7,8
P (mg/kg)	6,68x10 ²	7,83x10 ²	5,09x10 ²	0,42x10 ²	1,65x10 ²	1,28x10 ²	0,05x10	0,44x10 ²	1,08x10 ²	5,44x10
K (cmol/kg)	1,4	2,3	0,9	0,2	0,8	0,7	0,4	1,6	0,7	0,4
Ca (cmol/kg)	7,3	13,1	10,9	10,1	14,8	13,0	1,1	5,4	7,2	10,0
Mg (cmol/kg)	1,4	1,3	3,7	9,9	7,5	4,9	0,4	2,5	1,9	4,8
Na (cmol/kg)	0,2	0,5	0,2	2,9	2,1	1,4	0,8	0,3	0,1	0,5
H + Al (cmol/kg)	1,4	1,1	0,5	3,9	1,5	0,9	3,0	1,8	0,6	0,7
SB (cmol/kg)	1,02x10	1,72x10	1,56x10	2,31x10	2,52x10	1,96x10	0,2x100	0,98x10	0,98x 10	1,53x10
CTC (cmol/kg)	1,16x10	1,83x10	1,61x10	2,7x10	2,7x10	2,05x10	0,51x1	1,15x10	1,04x10	1,59x10
V (%)	8,2x10	9,4x10	9,7x10	8,5x10	9,4x10	9,6x10	4,1x10	8,5x10	9,4x10	9,6x10
PST (%)	2,3	2,7	1,0	10,3	8,0	7,0	2,0	2,3	1,0	1,0
m (%)	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	1,7	0,0
CE (dS/m)	0,6	-	0,5	0,6	-	0,8	0,3	-	0,8	0,7
N (g/kg)	0,5	0,6	1,0	1,0	0,8	1,7	0,5	0,5	1,5	1,5
C/N	13	12	10	13	12	10	12	12	10	11
Fe (mg/kg)	-	-	0,94x10	-	-	2,91x10	-	-	0,4x10	2,4
Cu (mg/kg)	-	-	0,0	-	-	2,4	-	-	0,0	0,7
Zn (mg/kg)	-	-	0,87x10	-	-	0,45x10	-	-	5,0	1,39x10
Mn (mg/kg)	-	-	2,01x10	-	-	2,72x10	-	-	3,16x10	3,35x10

Fonte: Elaboração da autora. Onde: Carbono (C), Matéria Orgânica (MO), Potencial Hidrogeniônico (pH), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Sódio (Na), Acidez Potencial (H+Al), Soma de Bases (SB), Capacidade de Troca Catiônica (CTC), Saturação de Bases (V), Porcentagem de Sódio Trocável (PST), Porcentagem de Saturação de Alumínio (m), Condutividade Elétrica (CE), Nitrogênio (N), Relação Carbono/Nitrogênio (C/N), Ferro (Fe), Cobre (Cu), Zinco (Zn), Manganês (Mn).

A segunda dosagem do composto orgânico ocorreu no período seco de 2010, nova análise foi efetuada em 2011 no período chuvoso, pode-se averiguar que houve novo aumento de carbono (C). Após a terceira e última aplicação do composto observa-se que mesmo no período seco ocorreu acúmulo de carbono. Houve uma ascensão do carbono, os solos passaram de um estágio degradado para serem considerados de ativos (Figura 39).

Pode-se perceber que houve uma diferença significativa na quantidade de C nos solos avaliados durante 24 meses, após a aplicação de 160 kg de composto orgânico produzido. Ao observarmos a (Tabela 06) e a (Figura 39) vemos que os valores de C aumentaram cerca de três vezes no Neossolo Flúvico e sete vezes no Planossolo Háplico.

Vale ressaltar que a estação experimental A3 foi danificada, sugere que durante as chuvas o carbono tenha sido removido em maior quantidade, conseqüentemente, o Neossolo Litólico foi o que obteve a menor quantidade desse elemento.

De acordo com o índice de fertilidade descrito por Fernandes (1993) os teores de matéria orgânica (MO) nos solos do Ceará são considerados baixos quando se enquadram na faixa de 0 - 15 g/kg. Antes da aplicação do composto o teor desse parâmetro no Neossolo Flúvico é baixo, porém, devido às características do solo é o que apresenta mais matéria orgânica (Tabela 06).

Em relação ao Planossolo o teor de MO é o mais baixo, a área é a mais crítica devido às condições naturais e à intensa intervenção antrópica. O valor de MO no Neossolo Litólico, também, é considerado baixo (Tabela 06).

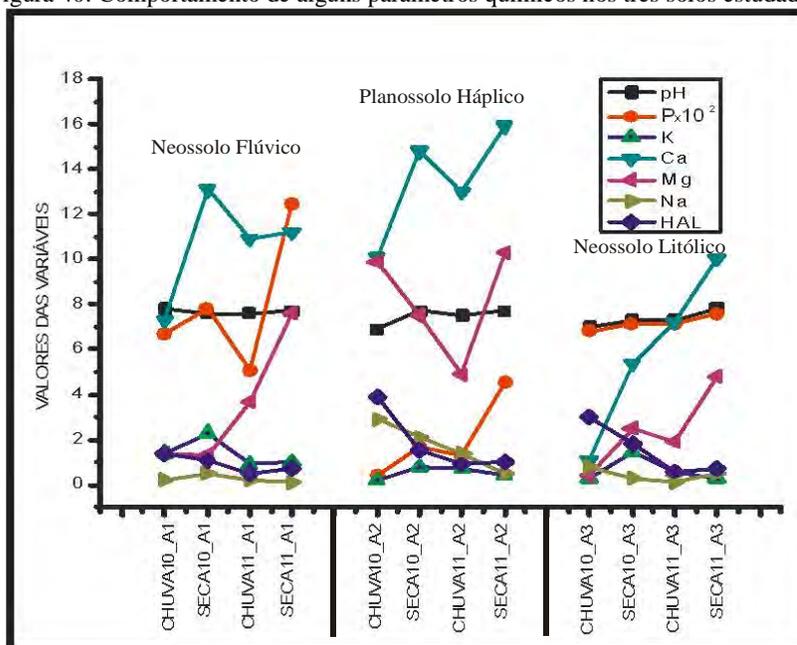
Conferindo os valores dos índices encontrados para MO nos solos das três áreas teste, após a aplicação do composto nos revelam que houve um aumento satisfatório dessa variável (Tabela 06). Mesmo com o lixiviação durante o período chuvoso ocorreu a adsorção do composto orgânico, garantindo uma boa relação entre umidade e matéria orgânica, possibilitando uma revitalização do substrato pedológico.

Para Troeh e Thompson (2007) o pH ótimo é geralmente entre 6,0 e 7,5, condição em que quase todos os nutrientes estão razoavelmente disponíveis, porém, segundo Tomé Júnior (1997) as plantas em solução nutritiva toleram valores de pH que variam de 3,0 a 9,0 sem prejuízo no seu desenvolvimento, se os nutrientes estiverem disponíveis. A reação dos solos estudados apresentam índices de pH entre 6,6 a 8,1 (Apêndice), indicativo de condições favoráveis, porém, não são devidamente aproveitadas por falta de umidade.

Segundo a classificação de Figueiredo (1993) os valores obtidos de pH mostram que o Neossolo Flúvico apresenta reações de alcalinidade, houve uma pequena redução quando da aplicação do composto, porém, a reação manteve-se alcalina indicativa de solo rico em

cátions disponíveis (Tabela 06). No Planossolo Háplico a reação foi de baixa acidez, após a aplicação do composto orgânico passou a ser um solo alcalino, pode-se afirmar que o composto possui um efeito corretivo do pH. A presença de sais solúveis no Neossolo Litólico posiciona o pH à neutralidade e após a aplicação do composto orgânico o pH elevou-se para nível da alcalinidade indicando um solo com cátions disponíveis (Figura 40).

Figura 40: Comportamento de alguns parâmetros químicos nos três solos estudados.



Legenda: Variáveis: (pH)-Potencial Hidrogeniônico em água. (P)-Fósforo (mg/kg). (K)-Potássio (cmol/kg). (Ca)-Cálcio (cmol/kg). (Mg)-Magnésio (cmol/kg). (Na)-Sódio (cmol/kg). (H+Al)-Acidez Potencial (cmol/kg).

Fonte: Elaboração da autora.

Moreira et al. (2006) explica que o fósforo (P) é um adequado suprimento às plantas e que os solos da região semiárida do Nordeste Brasileiro possuem baixa disponibilidade desse elemento. Conforme a classificação de Figueiredo (1993), o teor de P nos solos do Ceará é considerado alto quando ultrapassarem 21 mg/kg.

O Neossolo Flúvico foi o que mais adsorveu P, antes e depois da aplicação do composto orgânico (Tabela 06). Sugere que o alto teor de fósforo nesse solo seja devido às condições de adubação natural (planície de fluvial/matéria orgânica) e devido a preparação do solo para o plantio da cultura de subsistência (queimada) durante os vários anos de uso (Figura 40).

O Planossolo Háplico apresentou o segundo maior teor de P, também, antes e depois da aplicação do composto orgânico (Tabela 06). Sugere que adsorção de fósforo nesse solo seja pela quantidade desse elemento já disponível, oriundo do plagioclásio e pequenas quantidades de apatita (gnaisse migmatítico) associado à queimadas, que somado ao composto orgânico se dissolveram liberando o fósforo, e conseqüentemente, aumentando sua disponibilidade.

O Neossolo Litólico foi o que menos adsorveu fósforo (Tabela 06). Possivelmente, devido às limitações nas condições físicas do solo (compactação), o esterco do gado não possui reserva suficiente desse elemento (Tabela 03) ou por apresentar baixos teores de CTC, além de ser um solo arenoso, condições que restringem a fixação do fósforo, ou ainda, pelas precárias condições da estação experimental.

Descrição análoga foi encontrada na pesquisa de Moreira et al. (2006) sobre adsorção de fósforo em solos do Estado do Ceará, os autores concluíram que os atributos do solo mais estreitamente correlacionados com a adsorção de fósforo foram a matéria orgânica, a capacidade de troca catiônica e que a adsorção ocorre principalmente na fração argila.

Segundo Figueiredo (1993), os teores de potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) nos solos são considerados, como baixo ou alto devido à relação com o material de origem. As principais fontes dos cátions trocáveis presentes nos Neossolo Flúvico e Planossolo Háplico são os minerais constituintes do gnaisse migmatítico. Os minerais hospedeiros das bases encontradas no Neossolo Litólico são os constituintes do granito Meruoca.

Resultados aproximados foram encontrados no trabalho de Araújo (2009), no Neossolo Flúvico e Planossolo Solódico estudados no município de Aracati, que tem como material de origem os sedimentos aluvionais e gnaisse migmatítico do Grupo Ceará e o Neossolo Litólico formado a partir de rochas granitóides no município de Morada Nova.

Segundo Maia et al. (2008), o teor de sódio encontrado em solo do Ceará é bom quando encontra-se na faixa de $0,15 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ para solo com tratamento convencional e $0,20 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ para solo de caatinga nativa.

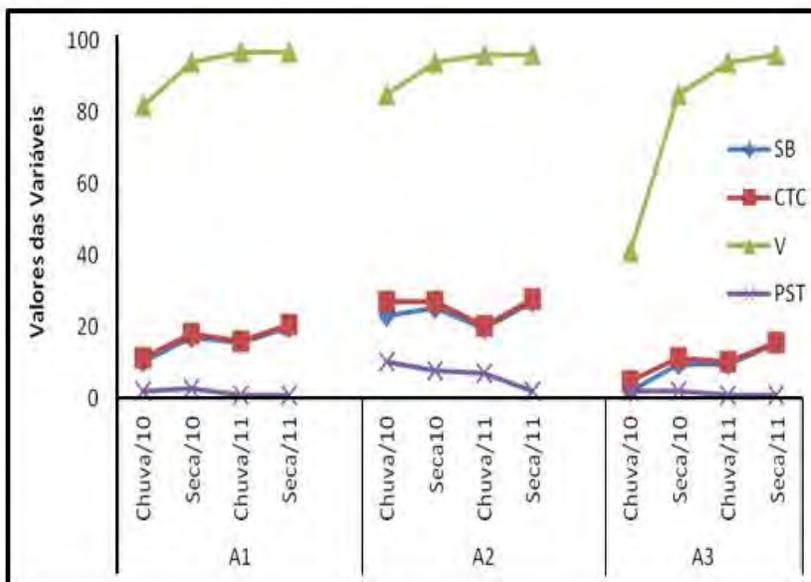
Os teores de Na encontrados no Neossolo Flúvico e Neossolo Litólico são baixos, classificando os como solos não sódicos, mesmo depois da incorporação do composto orgânico, como consequência dos seus posicionamentos topográfica na região de Sobral e pelos fatores pedogenéticos (Figura 40). O alto teor de sódio no Planossolo Háplico é devido às condições ambientais e as suas características físicas (MEP). Os altos teores dos cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} no complexo de troca e o teor alto de Na^+ conferem ao Planossolo Háplico caráter solódico.

Conforme a classificação de Alvarez et al. (1999) solos com baixo CTC se enquadram entre 1,61 a 4,30 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$, médio de 4,31 a 8,60 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$, alto de 8,61 a 15 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$. Os dados da (Tabela 06) mostram que os valores de CTC para os três solos antes da aplicação do composto estavam na faixa do médio-alto para o Neossolo Flúvico, muito alto para o Planossolo Háptico Solódico e baixo no Neossolo Litólico.

Após a aplicação do composto orgânico os teores dos macronutrientes, bem como, dos micronutrientes aumentaram, conseqüentemente, aumentaram o valor da CTC, o Planossolo Háptico Solódico detém o maior valor médio (25,53 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$), seguido pelo Neossolo Flúvico (16,66 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$) e por último o Neossolo Litólico (10,71 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$).

Conforme dados publicados por Kiehl (1979), o alto valor de CTC corresponde a camadas com maior conteúdo de argila, matéria orgânica e maior capacidade de retenção de água útil, condições condizente com o Neossolo Flúvico, o Planossolo Háptico e em parte do Neossolo Litólico. (Figura 41).

Figura 41: Propriedades dos três solos estudados. Soma de Bases (SB), Capacidade de Troca de Cátions (CTC), Saturação por Bases (V), Porcentagem de Sódio Trocáveis (PST).



Legenda: Variáveis: CTC-Capacidade de Troca Catiônica (cmol/kg). SB-Soma de Bases (cmol/kg). SV-Saturação por Base (cmol/kg). PST-Porcentagem de Sódio Trocáveis (cmol/kg).

Fonte: Elaboração da autora.

A qualidade (fertilidade) dos solos das três áreas é analisada através da capacidade de troca catiônica, da soma de bases, da saturação de bases (V) e pela porcentagem de sódio trocáveis (PST). Como consequência do alto valor da CTC o valor da soma de base (SB) também é alto (Figura 41). A presença de nutrientes, associados ao composto orgânico e a umidade (água) é um dos aspectos fundamentais que garantem a boa qualidade dos solos e seu bom uso.

Um solo é considerado eutrófico (fértil) quando íons como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ ocupam mais de 50% da capacidade de troca a pH 7,0. Distrófico (baixa fertilidade), quando menos de 50%, e álico quando mais de 50% da capacidade efetiva de troca de cátions encontra-se ocupada pelo alumínio (EMBRAPA, 1999). A saturação de base (V%) encontrada para o Neossolo Flúvico e Planossolo Háplico indica se tratar de solos férteis e o valor encontrado de saturação de base no Neossolo Litólico indica se tratar de solo com baixa fertilidade.

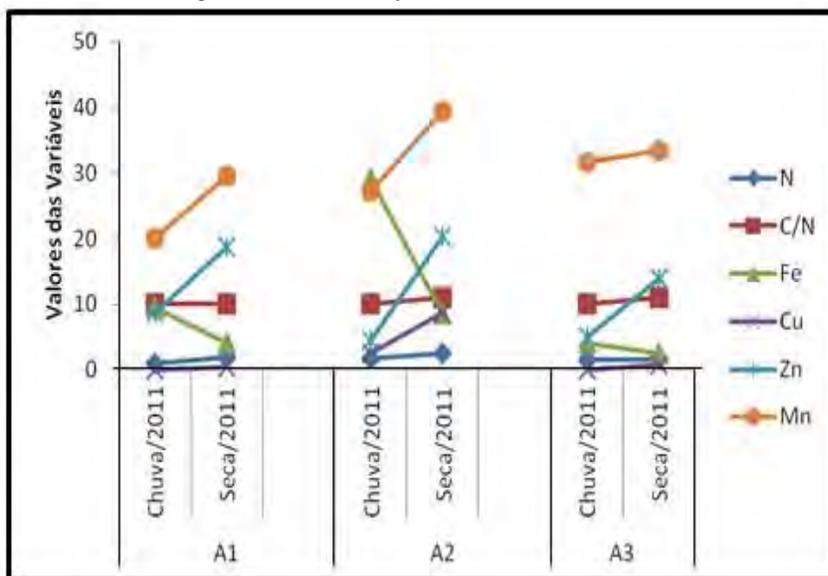
Enquadrar os solos como fértil e de baixa fertilidade baseado nos valores de saturação por base, neste trabalho, não foi considerado como um indicador satisfatório, nem sempre valores de V% maiores que 50% indicam fertilidade, por exemplo, o Planossolo foi considerado como fértil, porém, devido as suas características físicas e químicas, como seu elevado teor de sódio, levam esse solo a apresentar problemas, portanto, os solos estudados demandam grandes preocupações quanto a suas qualidades.

Avaliando, comparativamente, os resultados obtidos para os períodos de início e de final do período de chuvas, constata-se uma redução nos teores de sódio e sais e aumentando nos valores médios de porcentagem de sódio trocáveis (PST) nos solos (Figura 40). Verifica-se que, após a aplicação do composto orgânico no período de estiagem, também, ocorreu redução do teor de sódio nos três solos. Sugere que o elemento tenha sido lixiviado pelo aumento da umidade nos solo (água).

Verifica-se que para o nitrogênio (N) e os micronutrientes analisados os resultados foram influenciados pelas doses do composto (Figura 42). Após a incorporação do composto orgânico nos solos estudados o N aumentou, mesmo tendo sido movido durante a chuva, porém, torna-se disponível no período seco, conseqüentemente, ocorre um aumento da população microbiana, resultando em uma relação C/N entre 10 a 12, indicando uma boa maturação do composto orgânico produzido e uma excelente melhoria na qualidade dos solos nas áreas teste.

Pode-se perceber que após a incorporação do composto ocorreu uma diminuição do teor de ferro extraído, o qual é absorvido pela matéria orgânica, esse fato é indicativo no aumento dos outros micronutrientes (Figura 42).

Figura 42: Dinâmica do Nitrogênio (N) e sua relação com o Carbono (C/N) e os demais micronutrientes.



Legenda: Variáveis: N-Nitrogênio (cmol/kg). C:N-Relação Carbono/Nitrogênio. Fe-Ferro (cmol/kg). Cu-Cobre (cmol/kg). Zn-Zinco (cmol/kg). Mn-Manganês (cmol/kg).

Fonte: Elaboração da autora.

A caracterização da fertilidade dos solos estudados determinou o grau de deficiência e suficiência dos nutrientes nos solos em condições adversas de umidade (chuva e seca). Foi possível de forma reproduzível perceber a disponibilidade dos nutrientes nos solos estudados após a aplicação do composto orgânico produzido, visando corrigir a degradação dos solos, possibilitando a recuperação. No meio estudado a dinâmica desses elementos parece estar relacionada, principalmente, com as condições do clima (semiárido).

5.9.3. Elementos Maiores (Fluorescência de Raios X)

Os resultados da análise dos elementos maiores (%) para as três amostras selecionadas antes da aplicação do composto orgânico encontram-se na Tabela 07.

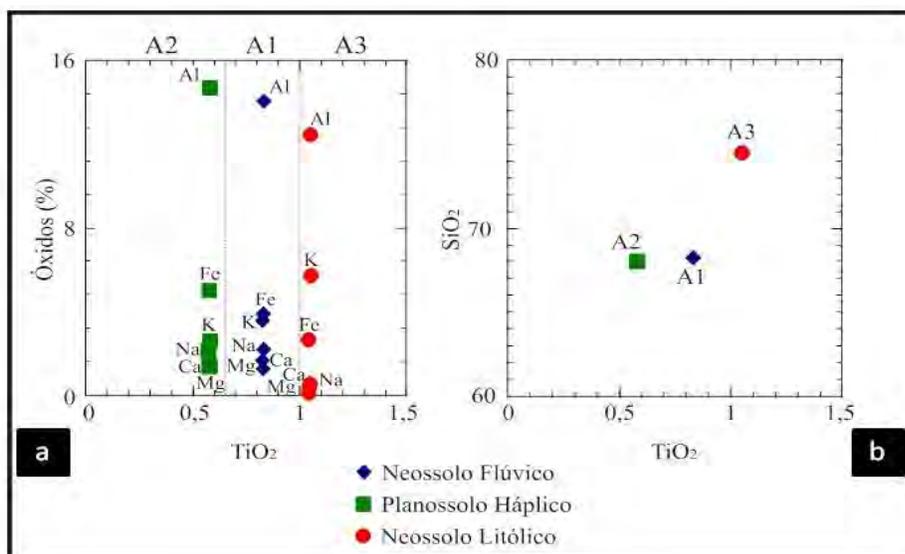
Tabela 07: Resultado da análise química por fluorescência de raios X dos três solos estudados em (%).

Amostras	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	CaO	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	LOI	SOMA
A1	68,25	14,04	3,63	3,91	2,13	1,28	1,68	0,83	0,19	0,07	3,96	99,99
A2	68,02	14,65	5,04	2,13	2,51	1,41	1,38	0,58	0,05	0,07	4,16	100,0
A3	76,48	12,81	2,75	5,87	0,46	0,43	0,15	1,08	0,05	0,06	2,54	100,0

Fonte: Elaboração da autora.

Com o intuito de compreender o grau de evolução dos três solos a partir da análise de elementos maiores, os resultados foram lançados em diagramas binários Óxidos x TiO₂, (Figura 43a) e SiO₂ x TiO₂ (Figura 43b). A Primeira relação possibilitou caracterizar três estágios de evolução, sendo confirmado pela relação TiO₂ x SiO₂ que mostra o Neossolo Litólico com o mais alto valor de SiO₂.

Figura 43: Diagrama mostrando a relação entre o titânio com os demais óxidos e com a sílica dos três solos estudados.



Legenda: Óxidos: Al (Al₂O₃), Fe (Fe₂O₃), K (K₂O), Na (Na₂O), Mg (MgO), Ca (CaO), Ti (TiO₂), Si (SiO₂).

Fonte: Elaboração da autora.

Os altos valores de sílica encontrados para os três solos é justificada pela presença significativa de quartzo e feldspatos de diferentes tamanhos na massa dos solos, tal afirmação é corroborada pelo valor encontrado para a densidade da partícula de cada solo (Tabela 04).

Os valores dos demais óxidos indicam que os solos passaram por algum tipo alteração intempérica, gerando lixiviação dos alcalinos e alcalinos terrosos e enriquecimento dos elementos imóveis, como SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 (Figura 43a). Os outros óxidos MnO e P_2O_5 apresentam distribuição muito baixa refletindo a pobreza do material de origem nesses elementos.

O Neossolo Flúvico é de natureza aluvionar, desenvolvido sobre rochas do Complexo Ceará, apresenta valores percentuais de SiO_2 e os outros óxidos, equivalentes aos do Planossolo Solódico. Resultado semelhante foi encontrado por Diniz (2010), que estudando a caracterização fisiográfica e pedológica da região norte do Ceará, afirma que os solos formados a partir de gnaisses migmatíticos com pegmatitos existentes na área apresentam elevados teores de sílica em todo o perfil e os valores de alumínio encontram-se acima de 14% devido à presença dos feldspatos.

Nesbitt & Young (1982), citado por Duarte (2002) comentam que o Ca, Na e K são geralmente removidos a partir dos feldspatos por soluções contribuindo para que a proporção de Al_2O_3 aumente habitualmente nos produtos de alteração. No Planossolo Solódico o aumento proporcional do Al_2O_3 está relacionado pela condição de drenagem da área e com a liberação dos óxidos Na_2O , K_2O , MgO e CaO , onde o Al_2O_3 retido no solo propiciam a formação de argilominerais.

O Neossolo Litólico está localizado em uma área onde o microclima é subúmido, é um solo raso de textura arenosa e possui drenagem boa, conseqüentemente, o escoamento é relativamente excessivo, que favorecido pela inclinação da área circula por entre as fraturas e no contato solo/rocha rapidamente, lixivia e altera os elementos químicos. Este condicionamento proporcionou aumento da sílica (74,47%) e óxido de alumínio (12,47%), com redução do Na_2O , CaO e do MgO devido serem mais móveis deixando-os com valores baixos.

Por ser menos evoluído, o Neossolo Litólico apresenta altos valores de K_2O provenientes principalmente do feldspato potássico, mais abundante neste solo como foi constatado na análise mineralógica (Figura 43a). Diniz (2010) registra valores de quartzo maior que 70% e alumínio acima de 12%, em Neossolos Litólicos originados de granito nesta região.

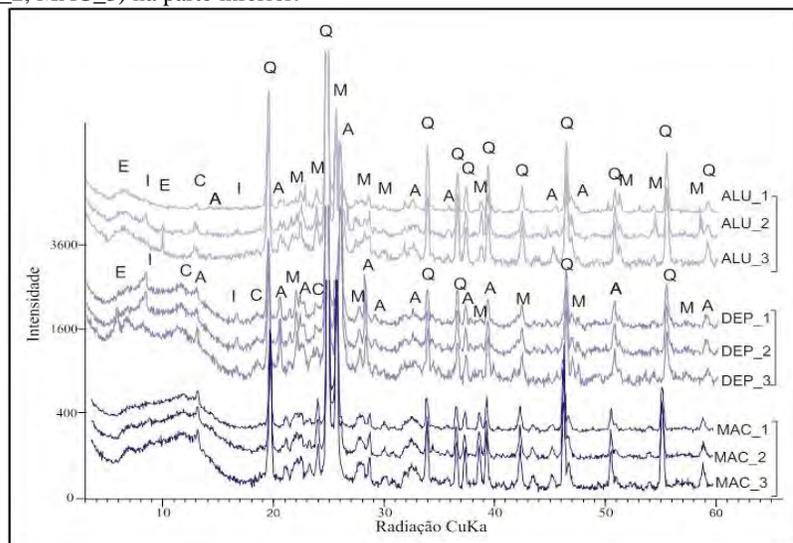
Duarte (2002) afirma que quanto mais avançado é o estado de alteração do solo, maior é a quantidade de água retida nas estruturas dos minerais secundários de neoformação, portanto, quanto maior a perda ao fogo resulta, principalmente, na desidratação de argilominerais e hidróxidos de ferro, alumínio e magnésio indicando o um estágio avançado de evolução (ONETO e BERNARDES, 2009).

Então, pode-se dizer que o Planossolo Háptico Solódico e o Neossolo Flúvico devido à presença de argilominerais retiveram mais água nas suas estruturas, classificando-os como os solos mais intemperizado (Tabela 07). O valor obtido de perda ao fogo pelo Neossolo Litólico indica que o solo possui argilominerais, mesmo se tratando de um solo jovem.

5.9.4. Análises de Argilominerais (Difração de Raios X)

As amostras do Neossolo Flúvico (ALU_1, ALU_2, ALU_3), Planossolo Solódico (DEP_1, DEP_2, DEP_3) e do Neossolo Litólico (MAC_1, MAC_2, MAC_3) foram preparadas, montadas e submetidas a tratamentos para a identificação dos argilominerais através da Difração de Raios X. Os principais componentes da amostra total dos solos estudados possibilitou a identificação de alguns minerais argilosos e o conjunto de minerais não argilosos, pelas reflexões características de cada mineral, expressa nos difratogramas (Figura 44).

Figura 44: Difratogramas das amostras total: Neossolo Flúvico (ALU_1, ALU_2, ALU_3) na parte superior da figura, Planossolo Solódico (DEP_1, DEP_2, DEP_3) na parte do meio e das amostras do Neossolo Litólico (MAC_1, MAC_2, MAC_3) na parte inferior.



Legenda: Quartzo (Q), Microclínio (M), Albita (A), Ilita (I) e a Esmectita (E).

Fonte: Elaboração da autora.

O quartzo foi identificado principalmente pelos espaçamentos a 4,26 e 3,33 Å (de maior intensidade) são picos estreitos, agudos, intensos e bem definidos, o que indica a boa cristalinidade deste mineral, destacando-se nos gráficos de DRX, não significando abundância e sim boa resposta analítica devido a suas características estruturais.

O plagioclásio identificado foi predominantemente albitico, nos difratogramas do Neossolo Flúvico (ALU) e do Planossolo Solódico (DEP). Os minerais de feldspato potássico e de plagioclásio calcosódico apresentam aparentemente a mesma concentração no Neossolo Flúvico. O mineral albita foi identificado como o plagioclásio mais abundante no Planossolo Solódico. O microclínio foi o mineral identificado como feldspato potássico, que se apresentou com maior intensidade no Neossolo Litólico (Figura 44).

Além destes minerais outros ocorrem em menor quantidade, mesmo que não estejam bem definidos, no Neossolo Flúvico e Planossolo Solódico a caulinita foi identificada pela reflexão 7,0Å e a illita no pico 10,0Å, é possível também, observar traços de minerais interstratificados de illita/esmectita possivelmente na região 14,8-12,5 Å. Dado que corrobora com a mineralogia identificada pela MEP (massa específica da partícula ou densidade da partícula).

Para obter uma melhor identificação dos argilominerais as amostras passaram por tratamentos. No Neossolo Flúvico e Planossolo Solódico o quartzo manteve suas reflexões de maior intensidade (4,2 e a 3,3Å) em todas as situações: estado natural (azul), tratamento com etilenoglicol (verde) e aquecida (vermelho) (Figura 45).

Dos argilominerais identificados no Neossolo Flúvico e Planossolo Solódico, a caulinita não apresenta picos bem definidos, porém, no tratamento de aquecimento as reflexões basais ($d=7$ e $3,5\text{Å}$) desaparecem, confirmando a presença do mineral (Figura 44 DEP). A illita foi identificada pelos picos na região de 10,0Å e não se alterou nos diversos tratamentos.

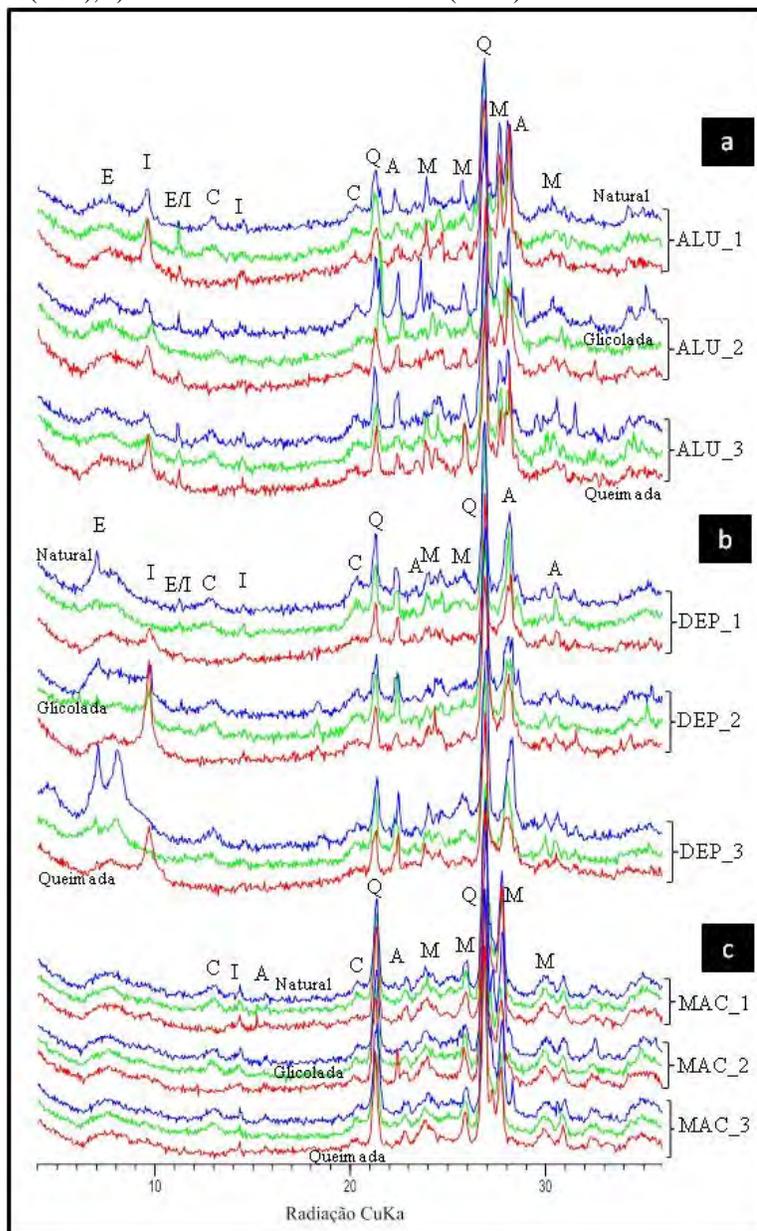
Os difratogramas revelam a existência de interstratificado de espaços interplanares a 12,5Å e um segundo posicionamento na distância interplanar 14,8Å, com o tratamento de aquecimento observa-se um colapsamento deste mineral para o pico 10,0 Å, característica de minerais que se expandem, sugere-se tratar de um mineral do tipo 2:1 (esmectitas).

Nos difratogramas do Neossolo Litólico (Figura 44 MAC) foi possível confirmar a presença da caulinita na reflexão $d=7,1\text{Å}$ e em $3,5\text{Å}$, quando ocorreu o tratamento de aquecimento a reflexão do mineral desaparece e manteve-se nos outros tratamentos.

Observa-se compatibilidade deste resultado com o encontrado para massa específica da partícula e também da capacidade de troca catiônica, que indica a presença da caulinita nos

três solos, bem como, a presença de argilominerais do tipo 2:1 na constituição do Neossolo Flúvico e do Planossolo Solódico e que as associações mineralógicas variaram segundo o clima de cada área e do relevo local, além da influência dos litotipos.

Figura 45: Difratogramas dos solos com tratamento . a) ALU Amostras do Neossolo Flúvico, b) Amostras do Planossolo Solódico (DEP), c) Amostras do Neossolo Litólico (MAC).



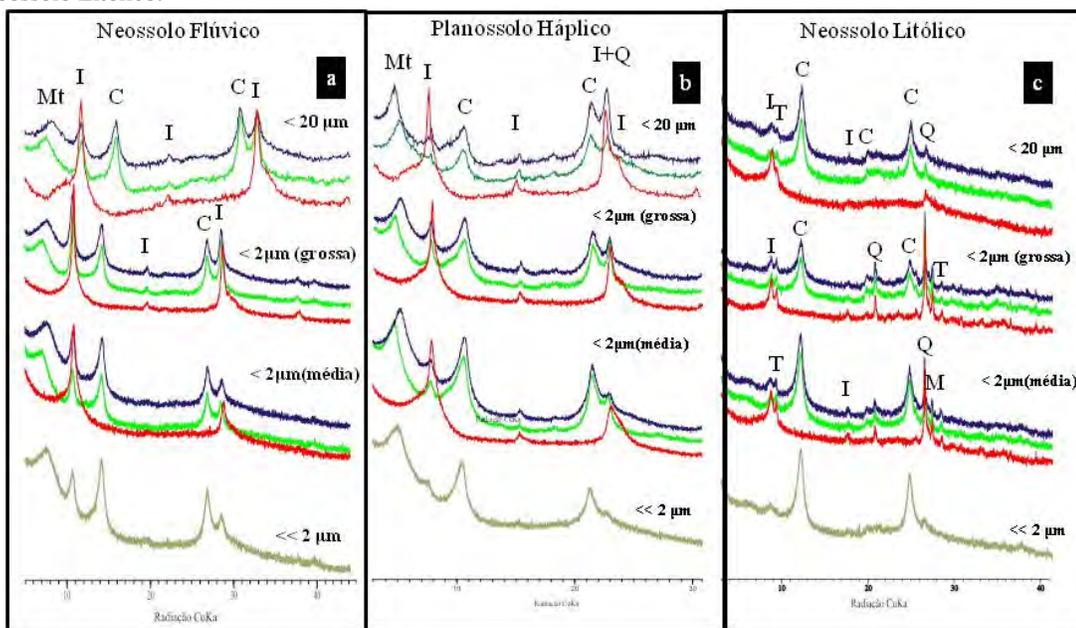
Legenda: Os minerais identificados nos tratamento natural (azul), glicolado (verde), aquecido (vermelho), foram o Quartzo (Q), Microclínio (M), Albita (A), Ilita (I), Caulinita (C) e a Esmectita (E).

Fonte: Elaboração da autora.

Nas frações $< 20 \mu\text{m}$, $< 2 \mu\text{m}$, e $\ll 2 \mu\text{m}$ no Neossolo Flúvico e do Planossolo Solódico foram identificados os picos característicos do quartzo associado aos da ilita (Figura 46). Observa-se que a caulinita apresenta-se com picos relativamente bem definidos, assimétricos e agudos na distância interplanar $d=7,0$ e $3,5 \text{ \AA}$, e que desaparecem quando são submetidos ao aquecimento, ressaltando a presença do mineral. Os picos $10,0 \text{ \AA}$ e $5,0 \text{ \AA}$ apontam a ocorrência da ilita, que se mantém inalterável com os diversos tratamentos.

Nessas frações foi possível identificar que o mineral do tipo 2:1 é a montmorilonita, no difratograma a amostra natural (azul) o mineral é encontrado na distância interplanar $d=14 \text{ \AA}$, quando solvatada com etileno-glicol (verde) observa-se uma expansão da camada para o espaçamento 17 \AA e, com o aquecimento há o colapso da estrutura com um deslocamento do pico para $10,0 \text{ \AA}$, portanto, constata-se ser um argilomineral expansivo (Figura 46).

Figura 46: Difratogramas dos solos estudados da fração $< 20 \mu\text{m}$, $< 2 \mu\text{m}$ e a fração $\ll 2 \mu\text{m}$, representa o solo com composto orgânico. a) Amostras do Neossolo Flúvico, b) Amostras do Planossolo Solódico, c) Amostras do Neossolo Litólico.



Lenda: Os minerais identificados nos tratamentos natural (azul), glicolado (verde), aquecido (vermelho), foram o Quartzo (Q), Microclínio (Mi), Albita (A), Ilita (I), Caulinita (C), Montmorilonita (Mt) e o Talco (T).

Fonte: Elaboração da autora.

Nos difratogramas da (Figura 46c) do Neossolo Litólico foi possível confirmar o mineral na distância interplanar $10,0\text{\AA}$ e $5,0\text{\AA}$, a illita, os quais se mantiveram presentes em todos os tratamentos empregados. Outro mineral do tipo 2:1 foi identificado, o talco, na sua reflexão de maior intensidade $d= 9,4\text{\AA}$, bem como, no segundo pico de $d=3,1\text{\AA}$, são picos estreitos. A reflexão deste mineral se mantém em todos os tratamentos.

A formação do talco como mineral secundário no Neossolo Litólico, se deve ao fato de ocorrer em uma área afetada por grandes falhamentos e, ser formado pela alteração de silicatos de magnésio associado ao mineral ilmenita (FeO.TiO_2). Esta hipótese é análoga às afirmações sugeridas por Pontes & Almeida (2005) que afirmam que o talco ocorre associado a muitas impurezas tanto na forma de minerais de ganga como através de substituições isomórficas na rede cristalina (magnésio sendo substituído por ferro, titânio, manganês etc.).

Os argilominerais do grupo 1:1 encontrados são representados pelo padrão da caulinita, os picos são simétricos, agudos e intensos, indicando boa cristalinidade, no espaçamento de $d= 7,2\text{\AA}$ e $3,5\text{\AA}$. Observa-se um terceiro pico deste mineral no espaçamento $4,4\text{\AA}$. O quartzo ($4,2\text{\AA}$) e feldspato potássico ($d= 3,2\text{\AA}$) se mantiveram presente nesta fração (Figura 46c).

Os resultados das análises de DRX indicam que o Neossolo Flúvico e Planossolo Solódico são constituídos predominantemente por caulinita, seguido pela montmorilonita e illita. O estágio de evolução do Neossolo Flúvico e Planossolo Solódico permite classificar os solos como intemperizados, onde os argilominerais do tipo 2:1 estão associados ao material de origem e à restrição de drenagem e ao clima mais seco, na fase de mais umidade (chuva) condiciona maiores taxa de lixiviação e intemperismo favorecendo a formação da caulinita.

O Neossolo Litólico encontra-se num estado incipiente de evolução, com uma considerável reserva mineral potencial de fácil intemperização, evidenciado pela presença, nas frações finas do feldspato potássico.

5.10. Umidade do Solo

A variação da umidade adquirida em campo para comparação entre as parcelas solo exposto (SE) e solo como composto (SC) após a aplicação do composto, baseou-se em leituras obtidas às 8:00 horas da manhã e às 14:00 horas da tarde no meses de março e abril na estação da chuva e nos meses de agosto e setembro na estação seca ano de 2011, através de medidas de superfície e subsuperfície. A escala de leitura direciona se os solos estão secos quando adquirem 1-3%, úmidos 4-7% e molhados quando atingem 8-10%.

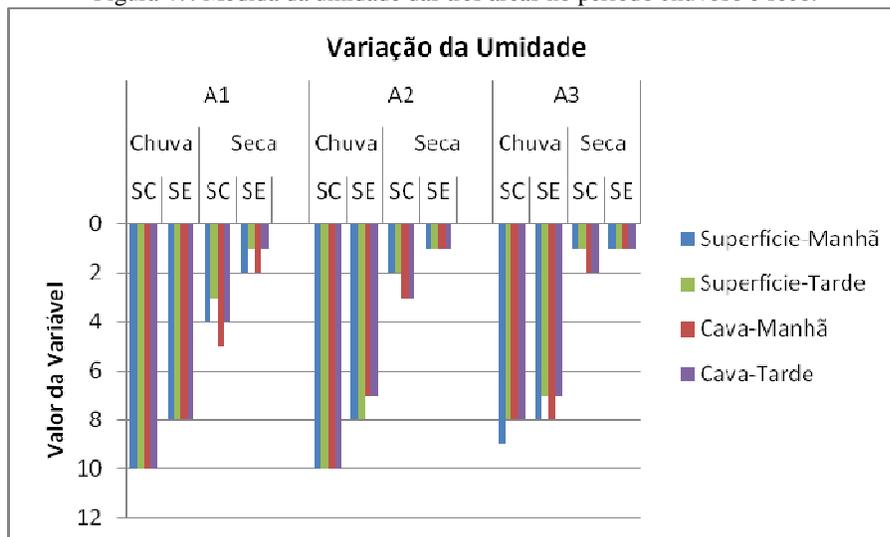
Devido ao tipo de material de cada área, a profundidade foi relativa: na área teste A1 (Neossolo Flúvico) na superfície a profundidade foi de 18 cm, em subsuperfície (cava) 24cm; na área teste A2 (Planossolo Háplico Solódico) a profundidade na superfície foi de 7 cm e na cava 15 cm; na área teste A3 (Neossolo Litólico) a medida foi de 12 cm de profundidade a partir da superfície e na cava 24 cm. Os resultados dos valores das variações de umidade estão expostos na (Tabela 08) e na (Figura 47).

Tabela 08: Valores das medidas de umidade tirada em campo nas três áreas.

Período	A1				A2				A3			
	Chuva		Seca		Chuva		Seca		Chuva		Seca	
Profundidade	SC	SE	SC	SE	SC	SE	SC	SE	SC	SE	SC	SE
Manhã/Superfície	10	8	4	2	10	8	2	1	9	8	1	1
Cava	10	8	5	2	10	7	3	1	9	8	2	1
Tarde/Superfície	10	8	3	1	10	8	2	1	9	7	1	1
Cava	10	8	4	1	10	7	3	1	8	7	2	1

Onde: Solo com Composto (SC), Solo Exposto (SE). Escala de intervalos: seco 1-3%, úmido 4-7% e molhado 8-10%.
Fonte: Elaboração da autora.

Figura 47: Medida da umidade das três áreas no período chuvoso e seco.



Legenda: Solo Com Composto (SC) e Solo Exposto (SE).

Fonte: Elaboração da Autora.

Como no ano de 2011 as chuvas foram até o final do mês de maio, proporcionando um aumento na umidade, os valores obtidos se mantiveram na faixa de solo molhando (8-10%), porém, na parcela solo com composto (SC) o marcador indicava 10% (valor máximo) para o Neossolo Flúvico e Planossolo Solódico e 8-9% para o Neossolo Litólico, corroborando com

os valores encontrados para umidade (Tabela 04), e provavelmente, devido a o posicionamento topográfico de cada solo. Na parcela SE de cada estação experimental o solo, também, encontrava-se molhado, diferenciando-se pelo microclima de cada área.

Durante a estação seca pode-se perceber que com o uso do composto a umidade se manteve. Variou significativamente com a profundidade e o horário de medição, sendo encontrados valores mais baixos na superfície principalmente durante à tarde. Nas cavas a umidade foi mantida mesmo no horário de insolação mais intensa.

Vale salientar que a precisão do aparelho é mínima, porém, foi possível identificar pequenas variações na umidade na parcela solo com composto (SC) nos períodos chuvoso e principalmente na estação seca. O composto orgânico incorporado aos solos é considerado como um meio eficiente de conservação da umidade dos solos na superfície e em subsuperfície.

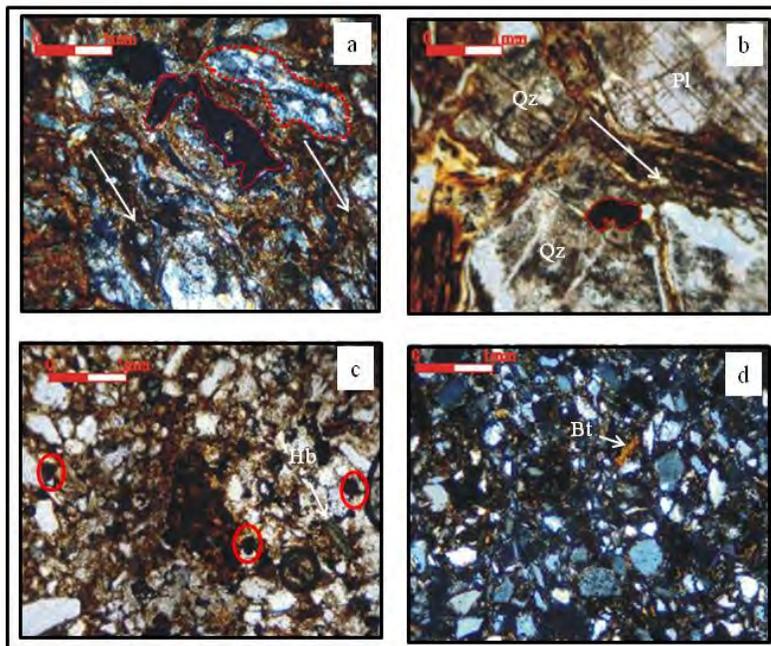
5.11. Análise Micromorfológica

A análise micromorfológica foi empregada para um confronto entre os solos das parcelas solo exposta (SE) e solo com composto (SC) durante dois anos de pesquisa, levando em consideração o aspecto da estrutura e das cavidades (poros).

A (Figura 48) revela as fotomicrografias do Neossolo Flúvico com luz natural e luz polarizada, as primeiras duas primeiras fotomicrografias pertencem à amostra indeformada da parcela solo exposto (SE) e as duas últimas da parcela solo com composto (SC).

Na (Figura 48a) a matéria orgânica do solo na parcela SE se encontra no seu estado “natural”, encobre os grandes grãos poliminerálicos revelando uma estruturação incipiente e que os poros apresentam-se grandes cavidades, com nicóis cruzados (luz polarizada). A (Figura 48b) sob a luz natura (nicóis paralelos) revela o detalhe dos grandes grãos de quartzo e do plagioclásio com fraturas e pouco vazios ao seu redor sem muita comunicação uns com os outros. A (Figura 48c) revela a fotomicrografia em nicóis paralelos, do solo na parcela SC. Observa-se o aspecto da estrutura granular e formação de microagregados possibilitando a intercomunicação entre as cavidades porosas. A (Figura 48d) revela que sob a luz polarizada é possível visualizar a reorganização dos grãos que provavelmente foram fragmentados (rompidos) favorecendo o aumento da estrutura granular, formada na sua maioria por grãos de quartzo arredondados juntamente com fragmentos poliminerálicos angulosos, evidenciando os microagregados.

Figura 48: Fotomicrografias do Neossolo Flúvico. a) Solo da parcela solo exposto (SE) com nicóis cruzado. Grandes cavidades (circundada com linha vermelha pontilhada) com filamentos de matéria orgânica, solo sem muita estruturação, a seta em branco indica a direção do plasma. b) Solo da parcela solo exposto (SE) com nicóis paralelos. Detalhe dos grandes grãos de quartzo e plagioclásio com fraturas (em alteração) e pouco vazios ao seu redor (circulo vermelho). c) Solo da parcela solo com composto (SC) com nicóis paralelos. Aspecto da estrutura granular e formação de microagregados. d) Solo da parcela solo com composto (SC) com nicóis cruzados. Aspecto da estrutura granular formada na sua maioria por grãos de quartzo arredondados com fragmentos poliminerálicos angulosos, evidenciando os microagregados.

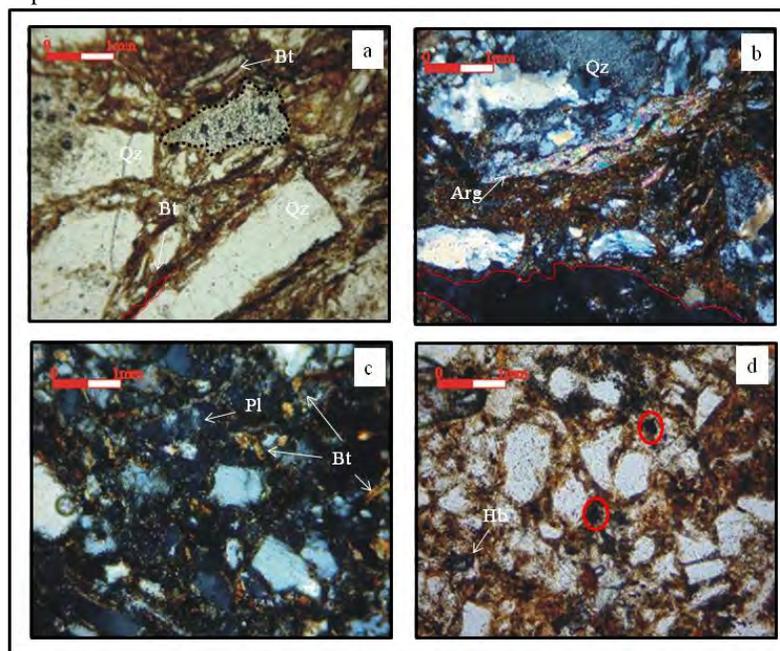


Legenda: Seta branca-direção do plasma; círculo grande vermelho-cavidades grandes; círculo vermelho pontilhado-poliminerálicos; círculo pequenos vermelho-poros pequenos; Qz (Quartzo); Pl (Plagioclásio); Hb (Hornblenda); Bt (Biotita). Fonte: Elaboração da autora.

As fotomicrografias da (Figura 49) revelam as feições encontradas no solo da estação experimental A2, o Planossolo Háplico Solódico, as fotomicrografias “a” e “b” representam a parcelas solo exposto (SE) e as fotomicrografias “c” e “d” a parcela solo com composto (SC), tanto sob a luz natural quanto sob a luz polarizada.

A (Figura 49) revela. a) Fotomicrografia sob a luz polarizada pode-se observar que a matéria orgânica não foi totalmente “decomposta” e que envolve os grãos angulosos de feldspatos e quartzo, solo sem estruturação e com ausência de poros. b) Sob a luz polarizada é possível visualizar que há ausência de poros e que os grãos são grandes e são angulosos, impossibilitando uma melhor organização dos grãos. c) Após a incorporação do composto orgânico os grãos ainda angulosos foram fragmentados em tamanhos menores favorecendo o aumento de poros e a formação de microagregados (luz polarizada). d) Sob a luz natural é possível observar uma organização dos grãos minerais, encontram-se mais estruturados permitindo a intercomunicação entre as cavidades porosas.

Figura 49: Fotomicrografias do Planossolo Háplico Solódico: a) Solo da parcela solo exposto (SE) com nicóis paralelos. A lâmina mostra grandes grãos ângulos poliminerálicos com filamentos de matéria orgânica e grãos muito modificados de biotita (lamelares), solo sem estruturação e ausência de poros. A linha preta pontilhada circundada indica desgaste incorreto. b) Solo da parcela solo exposto (SE) com nicóis paralelos. Detalhe dos grandes grãos de quartzo revestido matéria orgânica (plasma), junto com argilominerais. A linha vermelha indica desgaste incorreto. c) Solo da parcela solo com composto (SC) com nicóis cruzados. Aspecto da estrutura grãos subangulosos de plagioclásio com aspecto de alteração e a formação de microagregados. d) Solo da parcela solo com composto (SC) com nicóis paralelos. Aspecto da estrutura granular formada na sua maioria por grãos de quartzo e feldspatos subanguloso a subarredondados evidenciando a formação dos microagregados. O círculo em vermelho marca os poros.



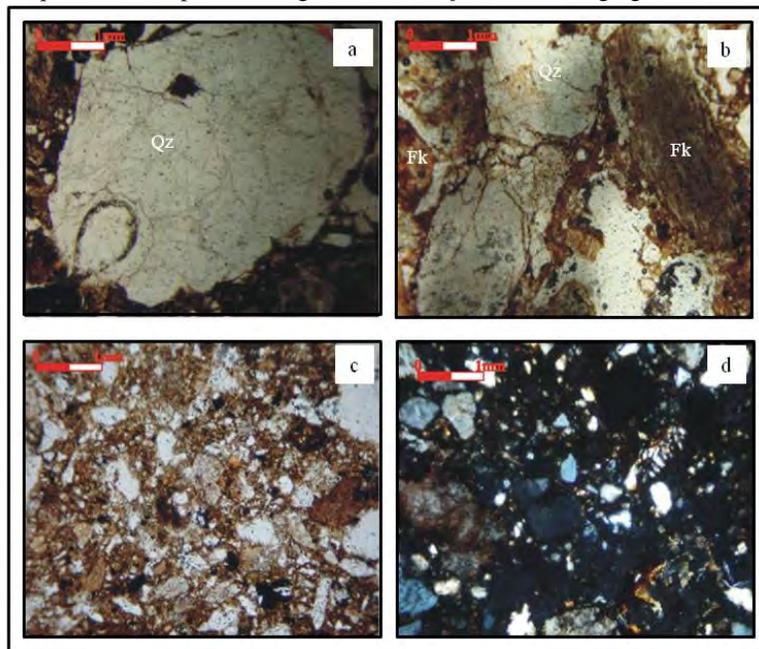
Legenda: Seta branca-posição de um mineral; círculo preto pontilhado (desgaste na lâmina); círculo pequeno vermelho-pequenas cavidades; Qz (Quartzo); Pl (Plagioclásio); Bt (Biotita); Arg (Argilominerais).

Fonte: Elaboração da autora.

As fotomicrografias expostas na (Figura 50) mostram as mudanças que o solo arenoso (Neossolo Litólico) da estação experimental de A3 passou após a incorporação do composto orgânico durante dois anos de aplicação. As fotomicrografias “a e b” da esquerda são da parcela solo exposto (SE) e “c e d” da parcela solo com composto (SC).

A (Figura 50 a) do solo da parcela solo exposto (SE) sob a luz natural releva grande grão de quartzo extremamente fraturado junto com a matéria orgânica. b) Com nicóis cruzados é possível visualizar o aspecto da alteração nos grandes grãos de quartzo e feldspato potássico, solo sem estruturação e ausência de poros. c) Na lâmina da parcela sob luz natural SC é possível observar o aspecto da estrutura granular com fragmentos poliminerálicos subarredondados com evidências da formação de microagregados. d) Sob a luz polarizada é possível observar um aumento do número de poros possibilitando uma organização dos grãos minerais.

Figura 50: Fotomicrografias do Neossolo Litólico. a) Fotomicrografia do solo na parcela SE exibindo grande grão de quartzo extremamente fraturado, sob a luz natural. b) Fotomicrografia do solo na parcela SE revelando o aspecto da alteração nos grandes grãos de quartzo e feldspato potássico, solo sem estruturação e ausência de poros, com nicóis paralelos. c) Fotomicrografia do solo na parcela SC sob a luz natural. Aspecto da estrutura granular com fragmentos poliminerálicos subarredondados com evidências da formação de microagregados. d) Solo da parcela solo com composto (SC) com nicóis paralelos. Aspecto da estrutura granular formada na sua maioria por grãos de quartzo e feldspatos subanguloso a formação dos microagregados.



Legenda: Seta branca-posição de um mineral; círculo preto pontilhado (desgaste na lâmina); círculo pequeno vermelho-pequenas cavidades; Qz (Quartzo); Pl (Plagioclásio); Bt (Biotita); Arg (Argilominerais).

Fonte: Elaboração da autora.

A análise descritiva micromorfológica revelou os níveis de organização dos solos degradados nas parcelas solo com composto (SC) com a formação da manta orgânica, pode-se deduzir que a pedogênese se instalou, a microporosidade aumentou fruto da incorporação do composto orgânico e da redistribuição de material através da organização estrutural que passou a dominar.

5.12. Prognóstico Comparativo

O reconhecimento de algumas características dos três solos estudados ajudou na avaliação da sua qualidade, bem como, na averiguação regeneração dos mesmos após a aplicação do composto orgânico.

Alguns parâmetros foram utilizados como pedoindicadores para o prognóstico comparativo entre os solos, a porcentagem de espaços porosos, umidade (média das medidas em laboratório e em campo), fósforo, sódio (o sinal negativo indica lixiviação), capacidade de troca catiônica, os argilominerais e as microestruturas (Tabela 09). Os valores atribuídos foram baseados nos resultados obtidos nesta pesquisa, portanto, constitui-se uma tentativa, sujeita a correções.

Tabela 09: Prognóstico comparativo entre os três solos em relação alguns pedoindicadores.

Pedoindicadores	Solos/Pedoindicadores		
	Neossolo Flúvico	Planossolo Solódico	Neossolo Litólico
Massa Específica do Solo	****	**	*
Espaços Porosos	****	****	*
Umidade	****	****	**
Carbono	***	****	**
Fósforo	****	***	**
Sódio	(-)***	(-)****	(-)***
CTC	****	****	**
Argilominerais	****	****	**
Microestruturas	****	****	****

Onde: **** = muito bom; *** = bom; ** = relativamente bom; * = baixo; Sinal negativo (-) indica perda. Fonte: Elaboração da autora.

O solo que apresentou o melhor desempenho na atuação do composto orgânico foi o Planossolo Háptico Solódico, seguido do Neossolo Flúvico. O Neossolo Litólico não apresentou os melhores resultados, por ser o solo mais compactado, mais jovem e devido as condições da infraestrutura da estação experimental. De uma maneira geral os resultados obtidos são indicativos de uma recuperação relativamente boa e inesperada.

5.13. Degradação e Planejamento da Recuperação

A intensa degradação no Município de Sobral teve início a partir de 1700 com a derrubada da vegetação nativa para a fundação das fazendas de criação de gado, posteriormente, da sede municipal, para o cultivo café e beneficiamento de matérias primas locais, como algodão, oiticica, palha de carnaúba, rapadura, açúcar, farinha, etc..

Nos séculos 20 e 21 os impactos foram potencializados através da especulação imobiliária, do urbanismo e da extração de bens minerais para uso na engenharia civil (brita, rocha ornamental, saibro, argila e areia), ocasionando um crescimento desordenado e ambientes degradados.

Pode-se perceber ao longo da pesquisa que a degradação em Sobral acha-se intimamente ligada à fragilidade natural (geologia, configuração topográfica, pluviosidade local, cobertura vegetal), aliada às atividades antrópicas. O recurso natural mais atingido pelo o desenvolvimento do município, desmatamento indiscriminado foi o solo que vêm perdendo sua fertilidade.

Atualmente o emprego de composto orgânico vem ganhando cada vez mais ares de tecnologia obsoleta, perdendo espaço para as mais variadas biotecnologias. Porém, é possível “inovar” usando tecnologia antiga. Portanto, o uso da manta orgânica torna-se uma técnica extremamente interessante já que é possível recuperar solos degradados.

A operação da aplicação do composto orgânico é projetada para ciclos repetitivos durante a estação da chuva infiltração/percolação e da estação da estiagem adsorção das partículas. Esta técnica de aplicação “intermitente” de composto no solo durante no máximo dois anos, pode ser empregada em áreas onde exista ou não exista resiliência.

A escolha dessa estratégia de recuperação de solos, também, teve um enfoque econômico (custo/benefício), tempo (medidas de curto prazo) e o uso pretendido para as áreas teste (agricultura natural). O composto orgânico produzido com materiais de origem vegetal e animal disponível nas áreas teste leva uma enorme vantagem financeira, além do ganho ambiental.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho foram analisados três solos degradados no município de Sobral com intuito de averiguar sua recuperação empregando composto orgânico e analisando-os através de estudos pedogeoquímicos. O maior objetivo do composto orgânico foi manter a microvida e a ciclagem de nutrientes, condicionando os solos a agregar-se e permitir o crescimento das espécies vegetais sozinhas.

Sobral está localizado em uma região onde as condições climáticas aliadas aos outros fatores de formação do solo indicam uma baixa pedogênese, que somado com a degradação histórica ocasiona um decréscimo da matéria orgânica e leva a um aumento da massa do solo e alterações de outras propriedades físicas.

O município reúne em um pequeno espaço geográfico uma variedade de rochas tanto ígneas, sedimentares quanto metamórficas. As áreas experimentais geologicamente estão representadas pelos gnaisses migmatitos na Unidade Canindé (A2), núcleo granitóide Meruoca (A3) e sedimentos cenozoicos (A1), geomorfologicamente pela Depressão Sertaneja, Maciço Residual e Planície Fluvial, respectivamente. Estes litotipos facilitaram a ação dos agentes intempéries formando os três solos estudados, o Neossolo Flúvico, o Planossolo Háplico Solódico e o Neossolo Litólico.

Devido às características geológica e geomorfológica os solos apresentam delgada cobertura de material pedimentar, horizontes e gradientes texturais ligados diretamente com a sua herança litológica e ao ambiente de formação variando em relação às características geotécnicas e geoquímicas.

Os resultados das análises geotécnicas demonstram que os parâmetros físicos utilizados foram adequados para revelar a qualidade dos solos estudados e indicaram que os solos encontravam-se degradados. Isso provavelmente ocorreu devido aos terrenos terem ficado descobertos, e assim, expostos ao impacto direto das gotas de chuva, bem como, o uso incorreto favorecendo o processo de compactação.

Os dados apresentados sobre a química de fertilidade dos solos indicaram problemas de qualidade. Os macronutrientes interpretados isoladamente não se mostraram como bons indicadores. O material orgânico empregado proporcionou uma ligação entre os agregados e permitiu que os solos em condições semiáridas mantivessem a umidade aumentando a disponibilidade dos macro e micronutrientes.

É relevante referir que estudo dos elementos maiores constitui-se como uma importante técnica de análise da qualidade. Pode-se constatar que mesmo degradados os solos possuem constituintes mineralógicos que garantem sua sustentabilidade e estruturação com o aumento da biomassa após a aplicação do composto orgânico.

A difração de raios X permitiu de forma satisfatória a distinção entre os três solos. Tais diferenças mineralógicas resultam principalmente da diferença de drenagem interna entre os solos proporcionando reserva de minerais devido à presença de argila de atividade alta, possibilitando a estes solos condições de estabilização através do aporte de matéria orgânica.

Através da lâmina delgada produzida das amostras indeformadas dos três solos foi possível observar que após a incorporação do composto orgânico ocorreu uma agregação dos solos. O solo caracterizado nas parcelas solo exposto possuía pouca ou nenhuma condição para formar agregados, após a aplicação do composto orgânico percebe-se uma estabilidade melhoria na estrutura, que se deu pela atração química entre as partículas finas dos argilominerais.

Os sistemas experimentais apresentaram comportamento semelhante entre si no que se refere à interação solo x manta orgânica. A pequena inclinação facilitou o movimento da água e do material lixiviado sendo possível verificar a distribuição dos elementos químicos numa escala de detalhamento. Em condições reais numa área restrita pode-se compreender que o composto orgânico produzido e aplicado se integra aos solos degradados. Isso significa que os resultados alcançados através das estações experimentais possivelmente podem ser extrapolados para áreas maiores.

Em termos de comparação entre os três solos o Planossolo Háplico Solódico foi o solo que apresentou o melhor desempenho na atuação do composto orgânico, seguido do Neossolo Flúvico. O Neossolo Litólico devido às condições do solo e da infraestrutura da estação experimental não apresentou bons resultados.

De um modo geral, os resultados obtidos foram satisfatórios, em prática se demonstrou que o efeito da adição do composto orgânico nos solos degradados é positivo em todos os aspectos. A constatação mais surpreendente foi à relação tempo x composto orgânico, em dois anos de pesquisa foi possível observar um enriquecimento dos solos em bases trocáveis conduzindo a regeneração dos solos. Os solos degradados foram nutridos, estabilizados e aguentaram o sol e a falta de chuva.

Portanto, com base na pesquisa realizada recomenda-se o uso da manta orgânica como técnica de recuperação de áreas degradadas para a revitalização dos solos e somente após dois anos de cuidados se utilizarem o plantio de mudas nativas, pois os solos estão em condições

que permitem a vegetação consiga seguir seu caminho. O uso de composto orgânico recupera os solos, porém, são necessários também, estudos de sucessão ecológica os quais possibilitam a recuperação das matas nativas.

Para a produção do composto orgânico deve sempre se utilizar o material encontrado na área, caso não haja material que contribua com o incremento de nitrogênio, buscar leguminosas nativas na região para ciclagem desse nutriente.

O bom uso de uma área recuperada é procurar maximizar os benefícios da proteção, recomenda-se que, concomitantemente, ao uso da manta orgânica empregar outras técnicas de recuperação, por exemplo, os puleiros artificiais, além de servirem de barreiras que impedem o vento de levar a umidade, possibilita o aumento na decomposição do material orgânico pela visita da fauna.

Toda infraestrutura tem custos associados. Os custos variam consideravelmente, em virtudes das condições da área. Sugere-se fazer estimativas preliminares de custos durante a fase de projeto (planejamento) e aprimorá-los durante os trabalhos de campo. Os custos preliminares podem ser determinados por áreas grandes (quilômetros quadrado), a partir de experiências prévias ou da obtenção de orçamentos de outros trabalhos.

Certamente este trabalho será aperfeiçoado e corrigido, contudo, espera-se que este estudo possa abrir caminho para novas pesquisas, sobre recuperação de áreas degradadas com o emprego da biotecnologia no Estado do Ceará.

FIM.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SÁBER, A. N. . Escritos ecológicos/ Aziz Ab'Sáber. 2.ed. rev. e ampl. – São Paulo: Lazuli Editora, Coleção idéias à mão, 2006.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas – Norma: Degradação do Solo: Terminologia (NBR 10.703). 1989.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1984. Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. (NBR - 6457).
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1984. Grãos de solos que passam na peneira de 4,8mm – Determinação da Massa Específica. (NBR - 6508).
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1984. Solo – Análise granulométrica. (NBR - 7118).
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1984. Solo – Limite de Liquidez. (NBR - 6549).
- AGUIAR JÚNIOR, P. R.. A Cidade e Rio: produção do espaço urbano em Sobral-Ce. Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em desenvolvimento e Meio Ambiente, do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005, 180p.
- AGUIAR, O. T de. Comparação entre os métodos de quadrante e parcelas na caracterização da composição florística e fitossociológica de um trecho de floresta ombrofila densa no Parque Estadual – São Miguel de Arcanjo, São Paulo. Dissertação (Mestrado)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/ESALQ, Piracicaba, 2003.
- ALHO D. R.; MARQUES JÚNIOR, J. e CAMPOS, M. C. C.. Caracterização física, química e mineralógica de Neossolos Litólicos de diferentes materiais de origem. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.2, n.2, p.117-122, abr.-jun., 2007.
- ALMEIDA, F. F. M., CARNEIRO, C. D. R.; MACHADO, Jr, D.L.; DEHIRA, L.K. Magmatismo pospaleozóico no Nordeste Oriental do Brasil. Revista Brasileira de Geociências 18(4):451-462, 1987.
- ALMEIDA, F. F. M.; BRITO NEVES, B.B; CARNEIRO, C. D. R. The origin and evolution of the South American Platform. *Earth Science Reviews* 50:77-111, 2000.
- ALMEIDA, F. F. M; HASUI, Y; BRITO NEVES, B. B. & FODA, R. A. 1981. Brasileiras províncias estruturais: uma introdução. Ciências da Terra avaliações, 17: 1-29.
- ALMEIDA, F.F.M, HASUI Y, BRITO NEVES, B.B & FUCHS, R. A.. Províncias estruturais brasileiras. Atas VIII Simpósio de Geologia do Nordeste, 363–391, Campina Grande, PB. 1977.
- ALMEIDA, J. R., TERTULIANO, M. F. Diagnose dos sistemas ambientais: métodos e indicadores. Capítulo 3, In: Cunha, S. B e Guerra, A. J. T. . Avaliação e perícia ambiental. 3ª Edição – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002.
- ALTIERI, M.A. (1992). Agroecología y manejo de plagas. División de control biológico. Universidad de California, Berkeley.
- ALVAREZ V., V.H. & RIBEIRO, A.C. Calagem. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H., eds. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. Viçosa, MG, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.43-60.
- ALVES, M. C., SUZUKI, L. G. A. S. & SUZUKI, L. E. A. S..Densidade Do Solo E Infiltração De Água Como Indicadores Da Qualidade Física De Um Latossolo Vermelho Distrófico Em Recuperação. Revista Brasileira de Ciências do Solo, 31:617-625, 2007.

- AMARAL, F. C. S. do. Alterações físico-químicas em um argissolo sob irrigação no perímetro Nilo Coelho, Município de Petrolina – PE Fernando César Saraiva do Amaral, Sílvio Roberto de Lucena Tavares – Dados eletrônicos. — Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.
- AMARAL, W. S.; SANTOS, T. J. S. 2008. Airborne geophysical and tectonics of the Ceará central domain, eastern region of the Santa Quitéria magmatic ARC, Borborema Province, NE Brazil. *Revista Brasileira de Geofísica*. São Paulo, vol. 26, nº4: 527-542.
- AMORIM, J. R. A.. Espacialização da porcentagem de sódio trocável do solo no Perímetro Irrigado Califórnia, em Canindé de São Francisco, Sergipe / Julio Roberto Araujo Amorim ... [et al.] – Aracaju : Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2010. 17 p. (Boletim de Pesquisa / Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN 1678-1953; 61).
- ANDRADE, E. M. de; BATISTA, T. M., TEIXEIRA, A. S.; MEIRELES, M.; SOUSA, B. F. S.. Mapa de vulnerabilidade da bacia do Acaraú, Ceará, à qualidade das águas de irrigação, pelo emprego do GIS. *Revista Ciência Agronômica*, v.37, n.3, p.279-286, 2006.
- ARAÚJO FILHO, J.A. Histórico do uso dos solos da caatinga. In: Araújo, Q.R.(Org.), 500 Anos de Uso do Solo no Brasil. Reunião Bras. Manejo e Conservação de solo, 13, Ilheus-BA, UESC, 2002, p. 329-338.
- ARAÚJO FILHO, J.A. Sistemas agrícolas sustentáveis para regiões semi-áridas. *Essentia*, Sobral, Ceará, 2000, v.1, n.3, p.53-55.
- ARAÚJO, A. F.. Avaliação de Misturas de Solos Estabilizados com Cal, em Pó e em Pasta, para Aplicação em Rodovias do Estado do Ceará, 2009. 175 fl., Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.
- ARAUJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R. R.; GUERRA, A. J. T. Gestão ambiental de áreas degradadas. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.
- ARAUJO, GUSTAVO H. de SOUSA; ALMEIDA, J. R. RIBEIRO de; GUERRA, A. J. TEIXEIRA. Gestão ambiental de áreas degradadas. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.
- ARTHAUD, M. A. *et al* As Sequências metassedimentares do Ceará-Central. *Anais XL Congresso Brasileiro De Geologia*, Belo horizonte, 1998.
- ARTHAUD, M. H. 2007. Evolução neoproterozóica do Grupo Ceará (Domínio Ceará Central, NE Brasil): da sedimentação à colisão continental brasileira. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, Tese de Doutorado. 132 p.
- ARTHAUD, M. H.; VASCONCELOS, A. M.; NOGUEIRA NETO, J. A.; OLIVEIRA, F. V. C.; PARENTE, C. V.; MONIÉ, P.; LIEGEOIS, J. T.; CABY, R.; FETTER, A.. Main structural features of Precambrian domains from Ceará (NE Brazil). In: International conference on Basement Tectonics, 14, 1998, Ouro Preto. Abstracts... Ouro Preto: UFOP, 1998, p. 84-85.
- ASSINE, M.L.; SOARES, P.C. Quaternary of the Pantanal, west-central Brazil. *Quaternary International*. n. 114, p. 23–34, 2004.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A qualidade da água na agricultura. Trad. GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F., DAMASCENO, F. A. V. Campina Grande: UFPB, 1991, 218 p.
- AZEVEDO, P. V.; SILVA, V. P. R. Índice de seca para a microrregião do agreste da Borborema no estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 9, n.1, p. 66- 72, 1994.
- BAPTISTA, G. M. M.; NETTO, J. S. M.; MENESES, M. R. (1998) Determinação da Relação Sílica - Alumina a partir dos Dados do Sensor AVIRIS (JPL/NASA), para Discretização Espacial do Grau de Intemperismo de Solos Tropicais. *Anais IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Santos, SP. p. 1345-1355.
- BERNARDI, A. C. C; TAVARES, S. R. L.; MACHADO, P. L. O. A.; MADARI, B. E.; CRISÓSTOMO, L. A.; CAMPOS, D. VB..Fertilidade dos solos e estoques de carbono e

nitrogênio de um Neossolo Quartzarênico sob cultivo de fruteiras irrigadas na região Nordeste do Brasil/Alberto Carlos de Campos Bernardi... [et al]. - Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2004.

- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. Conservação do Solo. 4ed, São Paulo, Ícone, 1999.
- BERTONI, J.. Conservação do solo. Joaquim Bertoni, Francisco Lombardi Neto.– São Paulo: Ícone, 2005 – 5ª edição.
- BITAR, O. Y. - Recuperação de Áreas Mineradas: considerações sobre técnicas aplicáveis a regiões urbanas. "Workshop Internacional" Tecnologia e Desenvolvimento Sustentável. São Paulo: 1992.
- BITTENCOURT, A.C.S.P.; MARTIN, L.; VILAS BOAS, G.S. & Flexor, G.M. Quaternary marine formations of the coast of the State of Bahia (Brazil). Simpósio Internacional sobre a Evolução Costeira no Quaternário, São Paulo (SP). Atas, 1979, p. 232-253.
- BRANDY, NYLE C.. Natureza e Propriedades do Solos/ Nyle C. Brandy "The nature and properties of soils". Trad. Antônio B. Neiva Figueiredo Fº. 7ª ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1989.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Levantamento exploratório de reconhecimento de solos do Estado do Ceará. Recife, Divisão de Pesquisa Pedológica, 1 1973. 310p (*Série Pedologia*, 16).
- BRITO NEVES, B. B., SANTOS, E. J., VAN SCHMUS, W. R.. Tectonic history of the Borborema Province, northeastern Brazil. In: Cordani, U. G, Milani, E. J., Thomaz-Filho, A., Campos, D. A. (Ed.), Tectonic Evolution of South America, p.151-182. , 2000a.
- BRITO NEVES, B. B., VAN SCHUMS, W.R.; SANTOS, E.S.; CAMPOS NETO, M.C; KOZUCH, M. O evento Cariris Velhos na província Borborema: integração de dados, implicações e perspectivas. Revista Brasileira de Geociências 25(4):279-296, 1995.
- BRITO NEVES, B. B; SCHMUS, W. R. V; FETTER, A. H. Noroeste da África- nordeste do Brasil (Província Borborema) ensaio comparativo o problemas de correlação. Revista Geo. USP ser. Cient., São Paulo, v.1, novembro 2000b.
- BRITO NEVES, B.B. América do Sul: quatro fusões, quatro fissões e o processo acrecionário andino. Bahia. VII Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, SBG, 11-13, 1999.
- BUNGE, Mário. Ciência e Desenvolvimento.- São Paulo: Itatiaia. p. 136, 1980 (Coleção o homem e a ciência, v. 11).
- CABY, R.; ARTHAUD, M.H.; ARCHANJO, C.J. Lithostratigraphy and petrostructural characterization of supracrustals units in the Brasiliano Belt of Northeast Brazil: geodynamics implications. IN: - SILVA FILHO, A.F.; LIMA, E.S. (eds.). Geology of The Borborema Province. *Journal of South America Earth Science* 235-246, 1995.
- CASTRO, S. S.. Micromorfologia de Solos Aplicada ao Diagnóstico de Erosão, 127 – 163 p. In: Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações/Antonio José Teixeira Guerra, Antonio Soares da Silva, Rosângela Garrido Machado Botelho (organizadores) – 2ª Ed. – Rio de Janeiro: Bretrand Brasil, 2005.
- CAVALCANTE, J. C, VASCONCELOS, A. M; MEDEIROS M. F; PAIVA, I.P; GOMES, F. E. M; CAVALCANTE, S. N; CAVALCANTE, J. E; MELO, A. C. R; DUARTE NETO, V. C. & BENEVIDES, H. C. 2003. Mapa Geológico do Estado do Ceará - Escala 1:500.000. Fortaleza, Ministério das Minas e Energia/Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. CD-ROM.
- CAVALLI, A.C.; LOMBARDI Neto, F.. Impacto ambiental da cultura da cana-de-açúcar avaliado através do risco de erosão na região de Piracicaba (SP). In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 12, 1998. Fortaleza (Brazil). Expanded Abstracts. Viçosa: SBCS,1998. p. 167-168.

- CEARÁ, Governo do Estado do. 1992. Programa de gerenciamento hídrico. Secretaria de Recursos hídricos. Fortaleza.
- CEARÁ, Governo do Estado do. 2011. Diagnóstico e Macrozoneamento Ambiental do Estado do Ceará: Diagnóstico Geoambiental. v.1. Fortaleza: Convênio FCPC/SEMACE.
- CEARÁ. Fundação Instituto de Pesquisa e Informação do Ceará – IPLANCE. Perfil Básico 2000.
- CHANG, H.K.; KOWSMANN, R.O.; FIGUEIREDO, A.M.F. New concepts on the on the developpment of East Brazilian marginal basins. *Episodes* 2:194-202, 1988.
- CLAUDINO-SALES, PEULVAST, J.P.. Evolução morfoestrutural do relevo da margem continental do estado do Ceará, Nordeste do Brasil. *Caminhos de Geografia*. Uberlândia, v.7. nº 20, 1-21, 2007.
- CLAUDINO-SALES, V. Evolução morfoestrutural do relevo da margem continental do estado do Ceará, Nordeste do Brasil. *Revista Caminhos de Geografia*. Uberlândia. V. 7, n. 20. Fev/2007, p.1-21.
- COGERH-Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará/SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS, disponível em www.cogerh.com.br em 19/04/2011.
- COOPER, M.. Degradação e Recuperação de Solos. Apostila, Departamento de Ciência do Solo, ESALQ/USP, LSN-360 Recuperação de Áreas Degradadas. 2008.
- CPRM (COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS). Atlas digital de recursos hídricos subterrâneos do Ceará. 2. ed. Fortaleza: ABAS, 1999. 1 CD-ROM.
- CPRM. 1998. Programa de Recenseamento de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea no Estado do Ceará. Diagnóstico do município de Sobral.
- CPRM. Atlas Digital de Geologia e Recursos Minerais do Estado do Ceará, 2003.
- CUNHA, F.S.S.. Condicionamento estrutural das zonas de cisalhamento da região de Forquilha, Domínio Ceará Central: uma abordagem integrada de sensoriamento remoto e geologia estrutural. Tese de doutorado.programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica da UFRN, 140p. 2007.
- DA SILVA, J.B. & CAVALCANTE, T. C. Atlas escolar: espaço geo-histórico e cultural. João Pessoa: Grafset, 2002. 176p.
- DESTRO, N.; SZATMARI, P.; LADEIRA, E.A.. Post-Devonian transpressional reactivation of Proterozoic ductile shear zone in Ceará, NE Brazil. *Journal of Structural Geology*. Vol 16: 35-45.1994.
- DIAS L.E.; GRIFFITH, J.J. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. In: DIAS, L.E.; MELLO, J.W.V. Recuperação de áreas degradadas. Viçosa: UFV, p.1-7. 1998.
- DINIZ, S. F. & RUEDA, J. R. J.. ANÁLISE FISOGRÁFICA DO VALE DO RIO ACARAUÍ-CE. VI Seminário Latino Americano de Geografia Física II Seminário Ibero Americano de Geografia Física Universidade de Coimbra, Maio de 2010.
- DINIZ, S. F.. Caracterização fisiográfica e pedológica da região norte do estado do Ceará. Tese (doutorado), Apresentada na Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. 132 f, 2010.
- DNPM (Departamento Nacional da Produção Mineral) Mapa geológico do Ceará. Echelle1:500.000, Ceará. DNPM, 1983.
- DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. *Soil Sci. Soc. Am.*, 35:3-21, 1994.
- DORAN, J.W.; VARVEL, G.E. & CULLEY, J.B.L. Tillage and residue management effects on soil quality and sustainable land management. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON SUSTAINABLE LAND MANAGEMENT. Lethbridge, 1993. p.15-24.
- DUQUE, J. G. Solo e Água no polígono das secas. Fortaleza: DNOCS. 5ª edição. 1980. 221p.

- EMBRAPA Manual de Métodos de Análise de Solo. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 212p. 1997.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema Brasileiro de classificação de solos. Brasília: SPI, 1999. 412p.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do solo. Manual e métodos de análise de conservação de solo. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1979.
- ESPINDOLA, Carlos Roberto. Retrospectiva Crítica Sobre a Pedologia: um repasse bibliográfico/Carlos Roberto Espindola.- Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 2008.
- EVANGELISTA, F. S. M.; LIMA, E. C.. Análise geoambiental do Vale do Riacho Boqueirão – Sobral-CE. Revista Homem, Tempo e Espaço. Sobral (CE), Centro de Ciências Humanas da Universidade Vale do Acaraú-UFA. P 1-18, 2007.
- FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS/UNESCO. Irrigation, drainage and salinity: an international source book. London, Hutchinson/FAO/UNESCO, 1973. 510p
- FAO- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS/UNESCO. Development and management of water resources, Jamaica. Rio Minho. Annex III Water Quality. FAO Report No. FAO, Rome. 1974.
- FASSBENDER, H.M. (1996). Química del suelo. Ed turrialba. Costa Rica, pp. 66 – 109.
- FAUTH G., LAVINA E.L. 2010. Evolução geológica da América do Sul nos últimos 250 milhões de anos. In: Carvalho C. & Almeida E. (eds.) Biogeografia da América do Sul: padrões e processos. Editora Roca.
- FERNANDES, V. L. B. (Coordenadora) Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado do Ceará, Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Ciências do Solo, Fortaleza-Ceará, 248p 1993.
- FERREIRA, J. C. (1999) Manual de Agricultura Biológica - Fertilização e protecção das plantas para uma agricultura sustentável. AGROBIO. Lisboa.
- FETTER, A.; VAN SCHMUS, W. R.; SANTOS, T. J. S.; ARTHAUD, M. ; NOGUEIRA NETO, J. A. Geocronologia e estruturação do Estado do Ceará: NW da Província da Borborema, NE Brasil. *XVII Simpósio de Geologia do Nordeste*, Fortaleza, 15: 32-33, 1997.
- FETTER, A.H. et al. U-Pb and Sm/Nd geochronological constraints on the crustal evolution and basement architecture of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the existence of the paleoproterozoic supercontinent “Atlantica”. *Revista Brasileira de Geociências*. São Paulo, v. 30, n.1, p. 102-106, 2000.
- FIGUEIREDO, M. A. Vegetação. In: Atlas do Ceara. IPLANCE, Fortaleza. p. 24-25. 1989.
- FONTES, H. R.; FERREIRA, J. M. S.; SIQUEIRA, L. A.. Sistema de produção para a cultura do coqueiro. Editores: Humberto Rollemberg Fontes/Joana Maria Santos Ferreira/Luiz Alberto de Siqueira. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2002. 63p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Sistemas de Produção). Disponível em <http://www.cpatc.embrapa.br>. Página visitada em maio de 2011.
- FUCK JÚNIOR, S.C.F.. Subsídio à gestão ambiental: descrição fisiográfica e análise funcional das bacias hidrográficas do Ceará. *Revista Eletrônica do Curso de Geografia do Campus Jataí – UFG. Jataí – GO. Nº 10, 41-71, 2008.*
- FUNCEME. Relatório de pluviometria por faixas de anos do Estado do Ceará. Fortaleza, 2003.
- GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo: Atlas, 1999.
- GIRÃO, G. M. & SOARES, M. N. M. Sobral: História e Vida. Sobral: Edições UVA, 1997.
- GOMES, J. J. A.; TEIXEIRA, A. P. R.; DIAS, V. S.; COSTA, C. V. A.. Composição química de composto orgânico preparado com esterco de equino e leucena (*Leucoena leucocephala Lam de W.t.*). *Revista Brasileira de Agroecologia*, 3 (1): 71-77, 2008.

- GOMES, M. A. & FILIZOLA, H. F.. Indicadores Físicos E Químicos De Qualidade De Solo De Interesse Agrícola. Jaguariúna, 2006.
- GORAYEB, P. S. S. & NASCIMENTO, R. S.. Rochas vulcânicas da suíte Parapuí . Bacia de Jaibaras-Ce. Considerações geológicas e petrográficas. Atas do XVII Simpósio de Geologia do Nordeste, Fortaleza, 273-275. 1997.
- GORAYEB, P.S.S., ABREU, F.A.M., CORREA, J.A.M., MOURA, C.A.V..Relações estratigráficas entre o granito Meruoca e a sequência Ubajara-Jaibaras. Anais do 35º Congresso Brasileiro de Geologia, Belém, 6, 2678-2688., 1988.
- GROSS, A. (1986). Abonos. Guía practica de la fertilización. Ed Mundi – prensa. Pp. 141 – 169.
- GUIMARÃES, F. V. A.;CARVALHO, M. S.B.S.; COSTA, R. I..Levantamento da fertilidade do solo no Estado do Ceará. Anais do XII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água. Vol.1, P. 53-54, 1998.
- HAVLIN, J. L.; BEATON, J. D. ; TISDALE. S. L.; NELSON. W. L. Soil Fertility and Fertilizers, 499p, New Jersey, 1999.
- HENIN, S; Grass, R y Monnier, G. (1972). El perfil cultural. El estado físico del suelo y sus consecuencias agronómicas. Ed. Mundi – prensa, pp. 279 – 312.
- HOLANDA, J.S. de; AMORIM, J.R.A. de. Qualidade da água de irrigação. In: Gheyi, H.R.; Queiroz, J.E.; Medeiros, J.F. de (ed). Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB, 1997, p.137-169.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Manual técnico de pedologia/IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. - 2. ed. - Rio de Janeiro : IBGE, 2005.
- INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ – IPECE. Modelo Digital de Elevação. Ceará em Mapas, 2007.
- INSTITUTO DE PESQUISA E INFORMAÇÃO DO CEARÁ – IPECE. Perfil Básico 2000.
- IPLANCE - Atlas do Ceará - IPLANCE, Fortaleza, 1997.
- JACOMINE, P.K.T. Caracterização do estágio atual dos solos sob caatinga. In: Araújo, Q.R.(Org.), 500 Anos de Uso do Solo no Brasil. Reunião Bras. Manejo e Conservação de solo, 13, Ilheus-BA, UESC, 2002, p. 365-397.
- JACOMINE, P.K.T. Solos sob caatingas – características e uso agrícola. In ALVAREZ V., FONTES, M.P.F. eds. O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e desenvolvimento sustentado. Viçosa, SBCS/UFV-DS, 1996.p.95-111.
- JENKINSON, D.S. (1992). La materia orgánica del suelo: Evolución. En : condiciones del suelo y desarrollo de las plantas, según Russell. Ed. Alan Wild. Mundi prensa.
- JESUS FILHO, M.F.; FABRIS, J.D.; GOULART, A.T.; COEY, J.M.D.; FERREIRA, B.A. & PINTO, M.C.F. Ilmenite and maghemite in a tholeiitic basalt. Clays Clay Miner., 43:641-642, 1995.
- KAGEYAMA, P; GANDARA, FB. 2001. Recuperação de áreas ciliares. In: RODRIGUES, RR; LEITÃO FILHO, HF. (Ed.). Matas ciliares: conservação e recuperação. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo; FAPESP, p. 249-269.
- KÉZDI, A. Stabilized Earth Roads – Developments in Geotechnical Engineering. Elsevier Company. Apud MICELI JR, G. (2006) Comportamento de Solos do Estado do Rio de Janeiro Estabilizados com Emulsão Asfáltica. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes. Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ. 1979.
- KIEHL, E. J. Fertilizantes orgânicos. São Paulo: Agronômica Ceres. 492 p. 1985.
- KIEHL, E. J. Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto. Piracicaba: Kiehl, 1998. 171p.
- KIEHL, E. J. Manual de Edafologia. Relações Solo-Planta, São Paulo, 1979.

- KJEMSTAD, J. O; Janik, L; Tylor A. (1998). Non living soil organic matter; What do we know about it?. Australian journal of experimental agriculture, pp. 667 – 680.
- LABRADOR, J. (1996). La materia orgánica en los Agrosistemas. 2 da edición. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Pp. 11 – 135. España.
- LACERDA, M. P. C., ANDRADE, H. & QUÉMÉNEUR, J. J. G.. Pedogeoquímica Em Perfis de Alteração Na Região De Lavras (Mg). I – Elementos Maiores - Óxidos Constituintes. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 26:75-85, 2002.
- LARSON, W. E. & PIERCE, F. J. Conservation and enhancement of soil quality. In: EVALUATION for sustainable land management in the developing world. Bangkok: International Board of Soil Research Management, 1991. v. 2, p. 175- 203. (IBSRAM Proceedings, 12 -2).
- LARSON, W.E. & PIERCE, F.J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A. Defining soil quality for the sustainable environment. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.37-51.
- LEPSCH, F. I. Formação e Conservação dos solos. São Paulo: Oficina de textos, 2002.
- LIMA, F. J. L. ; AMANAJÁS. J. C.;GUEDES., R. V. S.; SILVA, E. M.. Análises de Componente Principal e de Agrupamentos para estudo de ventos para a geração de energia eólica na região do Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte, Brsil. Ambi-Água, Taubaté, v.5,n.2., p188-201.2010.
- LIMA, H. V., OLIVEIRA, T. S., OLIVEIRA, M. M., & LIMA, P. J. B. F.. Indicadores de Qualidade Do Solo Em Sistemas De Cultivo Orgânico E Convencional No Semiárido Cearense. Revista Brasileira de Ciências dos. Solos, Volume 31:1085-1098, 2007.
- LIMA, H. V.; SILVA, A.P.; JACOMINE, P. T. K.; ROMERO, R. E. & LIBARDI, P. L. Identificação e caracterização de solos coesos no estado do Ceará. Revista Brasileira de Ciências do Solo, 28:467-476, 2004.
- LIMA, H. V.; SILVA, A.P.; ROMERO, R. E. & JACOMINE, P. T. K.. Comportamento Físico de um Argissolo acinzentado coeso no Estado do Ceará. Revista Brasileira de Ciências do Solo, 29:33-40, 2005.
- LIMA, L. C.. Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará./Luiz Cruz Lima, Marcos José Nogueira de Souza, Jáder Onofre de Moraes. Fortaleza: FUNDECE, 2000.
- LIMA, M. R.; SIRTOLI, A. E [et al.]. Diagnóstico e recomendações de manejo do solo: aspectos teóricos e metodológicos. Curitiba: UFPR/Setor de ciências Agrárias, 2006.
- LUCHESE, E. B.; BORTOTTI, L. O.; LENZI, F. E. Fundamentos da Química do Solo, Rio Janeiro, 2001.
- LUSTOSA, J. P. G. 2004. Caracterização Morfológica, Micromorfológica e Mineralógica de três Topossequências no Município de Irauçuba e suas Relações com os Processos de Desertificação. Tese de doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual de São Paulo, Rio Claro, pp.
- MAIA, L.P. Procesos costeros y balance sedimentario a lo largo de Fortaleza NE-Brasil – implicaciones para una gestión costera ordenada. Tesis de doctorado, Universidad de Barcelona, 1998, 268p.
- MALAVOLTA, E. 1980. Elementos de nutrição mineral de plantas. Edição Ceres, São Paulo. 251p.
- MALAVOLTA, E. ABC da Adubação. 4a edição. São Paulo SP, Editora Agronomia Ceres, 1979. 255 p.
- MALAVOLTA, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, S.A. 1989. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Piracicaba. 201p.

- MALEY, J. Middle to Late Holecene changes in tropical Africa and other continents: paleomonsoon and sea surface temperature variations. In: Third Millenium BC Climate Change and Old World Collapse, Ed. by H. Nüzhet Dalfes, George Kukla & Harvey Weiss. Nato Series, Springer 1997, p.611-640.
- MAMEDE, M. A. . Efeito agrícola tradicional sobre o banco de sementes do solo em uma área de caatinga, município de Sobral, CE. Dissertação de Mestrado do Programa em Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal do Ceará, 68 p. 2003.
- MATTOS, I. C.. Geologia, petrografia, geoquímica, comportamento físicomecânico e alterabilidade das rochas ornamentais do stock granítico Serra da Barriga, Sobral (CE). Rio Claro, 2005.
- MEDEIROS, R. M.; FRANCISCO, P. R. M.; TAVARES, A. L. 2011. Classificação e Análises das Indicações de Mudanças Climáticas no Município de Sobral – Ceará. Revista Brasileira de Geografia Física, vol 05 (2011), 1056-1067.
- MEIRELES, A. J. A. As unidades morfoestruturais do Estado do Ceará. In: SILVA, J. B; Cavalcante, T. (org). Ceará: um novo olhar geográfico. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2005.
- MEIRELES, A. J. A.; ARRUDA, M.G. C.; GORAYEB, A.; THIERS, P. R. Integração Dos Indicadores Geoambientais De Flutuações Do Nível Relativo Do Mar E De Mudanças Climáticas No Litoral Cearense. Mercator - Revista de Geografia da UFC, ano 04, número 08, 2005 , 109-134.
- MONNIER, G. (1989). Le statut organique des sols: Indicateur et facteur de fertilité. Cultivar, 254: 20-21.
- MOREIRA, F. L. M.; MOTA F. O. B.; CLEMENTE, A. C.; AZEVEDO, B. M. & BONFIM, G. V.. Adsorção de fósforo em solos do Estado do Ceará. Revista Ciência Agrônômica, v.37, n.1, p.7-12, 2006, Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.
- MOTTA, C.V.;SERRAT, B.M.;REISMANN, C.B.;DIONÍSIO,A..Micronutrientes na rocha, no solo e na planta. Curitiba/; Edição do Autor, 2007.
- NASCIMENTO R.S.; GORAYEB P.S.S. 2004. Basaltos da Suíte Parapuú, Gráben Jaibaras, noroeste do Ceará: caracterização, petrografia, geoquímica e química mineral. *Revista Brasileira de Geociências*, **34**:459-468.
- NASCIMENTO, F. R. do.. Recursos Naturais e Desenvolvimento Sustentável: Subsídios ao gerenciamento geoambiental na sub-bacia do Baixo Pacoti – CE. (Dissertação de Mestrado), 154p. UECE: Fortaleza, 2003.
- NASCIMENTO, F. R.; SOUZA, M. J. N.; CRUZ, M. L. B..Enfoque geoambiental para tratamento da degradação/desertificação no município de Sobral-Nordeste do Brasil-Ceará. Revista eletrônica Ateliê UFC-IESA. Vol. 1, P. 80-101, 2007.
- NEJA, R. A., AYERS, R. S., KASIMATIS, A. N. Salinity appraisad of and water for sucessful production of grapes. Berkeley, University of California, 1978.
- NOGUEIRA NETO, J. A. – 2000 – Evolução geodinâmica das faixas granulíticas de Granja e Cariré, extremo noroeste da província Borborema. Tese de doutoramento IGCE-UNESP inédito 171pp.
- NOGUEIRA NETO, J. A. 1996. Evolução Metamórfica das Faixas Granulíticas de Granja e Cariré (NW do Ceará). In: Seminário de Pós-Graduação em Geociências, Rio Claro. IGCE/UNESP. Res. Exp. p. 328-333.
- NOGUEIRA, J. B. – Mecânica dos Solos – Ensaios de Laboratório/João Baptista Nogueira, São Carlos, EESE-USP, 1995. Reimpressão 2005.
- NOLÊTO, T. M. S. de J.. Suscetibilidade Geoambiental das Terras Secas da Microrregião de Sobral/Ce à desertificação. Dissertação (Mestrado) Apresentada a Universidade Federal do Ceará. Fortaleza: 2005 145 p.

- OLIVEIRA, D. C..Reavaliação da evolução tectono-magmática do Graben de Jaibaras (nordeste do Brasil). ACTA Geologica Hispanica, v. 36, nº 1-2, p. 53-95. 2001.
- OLIVEIRA, J. B. Efeitos do manejo do solo na erosão de Podzólico Vermelho-Amarelo equivalente Eutrófico e Planossolo Solódico de microrregião homogênea 68 do Ceará. Fortaleza: UFC/CCA. Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. 1981. 97p. (Dissertação de Mestrado).
- OLIVEIRA, J.B.; JACOMINE, P.K.T.; CAMARGO, M.N. Classes gerais de solos do Brasil. Jaboticabal: FUNEP/ FCAV, 1992. 201p.
- ONETO, M. A.; BERNARDES, G. P.. Levantamento de um Perfil de Intemperismo Através da Determinação do Índice de Perda ao Fogo. In: Jornadas'2009, 2009, Guaratinguetá, SP. Jornadas de Iniciação Científica e Pós-Graduação, 2009.
- PATELLA, J. F. Arroz em solo inundado, São Paulo, 1976.
- PEREIRA, R. C. M., CAJATY, A. A., NOGUEIRA NETO, J. de A.. Contribuição à Caracterização de Argilo-minerais em Solos da Porção Sudeste da Folha Fortaleza (SA.24-Z-C-IV)-CE. Revista de Geologia. Vol. 4: 21 a 27. 1991.
- PEREIRA, R. C. M.; SILVA, E. V. Solos e vegetação do estado do Ceará: Características gerais. In: SILVA, J. B; Cavalcante, T (org.). Ceará: um novo olhar geográfico. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2006.
- PEULVAST, J.P.; SALES, V.C. Mapa morfoestrutural do Estado do Ceará e Regiões adjacentes do Rio Grande do norte e Paraíba. Nota Explicativa, Atlas Digital de Geologia e Recursos Minerais do Estado do Ceará, 1-73 p. 2003.
- PIZARRO, D. Drenaje agrícola y recuperacion de suelos salinos. Madrid: Agrícola Española, 1978. 520 p.
- PONTES, I. F.; ALMEIDA, S. L. M. Talco - Capítulo 29. Comunicação Técnica elaborada para Edição do Livro Rochas & Minerais Industriais: Usos e Especificações Pág. 607 a 628. Dezembro/2005.
- POPPER, Karl. Conocimiento Objetivo: un enfoque evolucionista. Madrid: Editorial Tecnos, 1974.
- POPPOFF, M. Du Gondwana à l'Atlantique sud: les connexions du fossé de la Bénoué avec les bassins du Nord-est brésilien jusqu'à l'ouverture du Golfe de Guiné au Crétacé Inférieur. Journal Africain of Earth Sciences, Special Publication 7(2):409-431, 1988.
- PORTA, J; López Acevedo, M; Roquero C.(1994). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ed. Mundi prensa, pp. 167 – 202.
- PRIMAVERSI, A.. Cartilha do Solo. Fundação Mokiti Okada. 1ª Edição, 2006.
- PRIMAVERSI, A.. Manejo ecológico do solo: agricultura em regiões tropicais/ Ana Primavesi. – São Paulo: Nobel, 2002.
- PROGRAMA DE AÇÃO NACIONAL DE COMBATE À DESERTIFICAÇÃO – PAN BRASIL. Programa de ação nacional de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. p.242, 2005.
- RADAMBRASIL. Levantamento integrado dos recursos naturais do Brasil. Folha Fortaleza. Ministério das Minas e Energia-MME, Brasília. 1981.
- RAIJ, B. V. & BATAGLIA, O..C. Análise química do solo in micronutrientes na agricultura, Piracicaba. São Paulo, 1991.pg.333-352.
- REICHARDT, K.. Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. Campinas: Fundação Cargill. 466 p. 1985.
- RICHARDS, L. A. Diagnostico y rehabilitacion de suelos salino y sodicos. México: Limusa, 1954. 172 p.
- RODRIGUEZ, José Manuel Mateo, SILVA, Edson Vicente & CAVALCANTI, Agostinho Paula Brito (Orgs.), Geocologia das Paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental. Fortaleza: Editora UFC, 2004.

- SÁ, Illona M. de Brito. - Agricultura e Biodiversidade. IN: Modernização Excludente. Fortaleza: Ed. Demócrito Rocha, 2002.
- SAADI, A. Neotectônica da Plataforma Brasileira: esboço e interpretação preliminares. Gnomos Revista de Geociências (1): 1-15, 1993.
- SAMPAIO, E. V. S. B. et al. (eds.): Vegetação e Flora da Caatinga - Contribuição ao Workshop Avaliação e Identificação de Ações Prioritárias para a Conservação, Utilização Sustentável e Repartição dos Benefícios da Biodiversidade do Bioma Caatinga, em Petrolina, 5/2000. Recife: Associação Plantas do Nordeste - APNE; Centro Nordestino de Informações sobre Plantas - CNIP, 2002.
- SAMPAIO, E. V. S. B.; OLIVEIRA, N. M. B.; NASCIMENTO, P. R. F.. Eficiência da adubação orgânica com esterco bovino com *Egenia densa*. Revista Brasileira de Ciências do Solo, 31:995-1002, 2007.
- SAMPAIO, E.. Mineralogia Do Solo (Apostila). Departamento de Geociências, Universidade de Évora-Portugal. 21 p.,2006.
- SAÑA, J; Moré J. C; Cols, A. (1996). La gestión de la fertilidad de los suelos. Pp 277. MAPA. Madrid.
- SANTOS, C. N.. Propriedades físicas do solo: características influenciadas pelas propriedades físicas do solo. Apostila da Disciplina: Morfologia, Gênese e Física do Solo. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia-IFET/Farroupilha, 2009.
- SANTOS, E. J.; BRITO NEVES, B. B. Província Borborema. In: ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.. O Pré-cambriano no Brasil. São Paulo: Edgard Blücher, 1984.
- SANTOS, R. F.. Planejamento Ambiental: teoria e prática/Rosely Ferreira dos Santos. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.
- SANTOS, T. J. S; NOGUEIRA NETO, J. A.;FETTER, A. H.; HACKSPACHER, P. C..Litogeoquímica das rochas do embasamento cristalino da região de Granja-CE. Revista de Geologia, vol.14: 33-48, 2001.
- SAWYER, CN; McCARTY, PL; PARKIN, GF Química para engenharia ambiental. 4. ed. New York: McGraw-Hill Book Company.1994. 658p.
- SHOBHENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; DERZE, G. R.; ASMUS, H. E. *Geologia do Brasil*. Texto Explicativo do Mapa Geológico do Brasil e da área Oceânica Adjacente incluindo depósitos minerais. Escala 1:2.500.000. DNPM,Brasília, 1984, 501p.
- SILVA FILHO, W. F.. Domínios morfoestruturais da plataforma continental do Estado do Ceará. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 288 pp. 2004.t
- SILVA FILHO, W. F.; GARCIA, M. G. M.; VAZ, C. P.. As Morfoestruturas do Lineamento Transbrasiliano no Nordeste do Ceará: Controle Geotectônico, Depósitos Minerais e Atividade Sísmica. Relatório Final do Projeto FUNCAP/CNPq/Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2009.
- SILVA, F. C. da (Organizador) Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes. Brasília: EMBRAPA-Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.
- SILVA, J. R. C.. Erosão e produtividade do solo no semi-árido. Em Agricultura, Sustentabilidade e o Semi-Árido. Universidade Federal do Ceará, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000.
- SILVA, J.M.C. et al: A Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação. Ministério do Meio Ambiente, 2003
- SOARES, F. M.. Evolução das paisagens naturais do Estado do Ceará – Brasil. Boletim Goiano de Geografia Goiânia - Goiás - Brasil v. 28 n. 1 p. 63-80 jan. / jun. 2008.

- SOBRINHO, J. F.. A compartimentação geomorfológica do Vale do Acaraú: Distribuição das águas e pequeno agricultor. MERCATOR-Revista de Geografia da UFC. Nº10, p 91-110, 2006.
- SOBRINHO, J. F.. O relevo, elemento âncora, na dinâmica da paisagem do vale, verde e cinza do Acaraú, no Estado do Ceará. Tese de Doutorado da Universidade de São Paulo. 300p., 2006.
- SOUSA, S. M. S. DAS CHAGAS. Relações entre vegetação, relevo, fertilidade do solo e matéria orgânica em Bacia Hidrográfica de região semiárida. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) pelo Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba. PPGMSA/CCA/UFPB, 64f, 2006.
- SOUZA, J. L. R. de. Estudo de algumas características físicas e mineralógicas de interesse para a Engenharia em cinco classes de solos derivados de rochas básicas / João Luiz Rodrigues de Souza, Raphael David dos Santos. – Rio de Janeiro : EMBRAPA-CNPS, 1997.
- SOUZA, M. J. N. Análise geoambiental e ecodinâmica das paisagens do estado do Ceará. 1998. Monografia. Departamento de Geociências, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 1998.
- SOUZA, M. J. N.. Contribuição ao estudo das unidades morfoestruturais do Estado do Ceará. Revista de Geologia, n1, Fortaleza. V 9. p. 73-91, 1988.
- SOUZA, M. J. N.. M. R. F. F. Analise geoambiental com aplicação de geotecnologias nas nascentes do riacho dos Macacos: bacia do rio Acaraú-Ce. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril INPE, p. 2161-2168, 2005.
- SOUZA, Marcos J. N. de. Geomorfologia e condições ambientais dos vales do Acaraú/Coreaú – Ceará. (Tese). São Paulo: USP, 305p., 1981.
- STEVENSON, F. J,(1982). Humus chemistry: génesis, composition, reactions. Wiley interscience, New York.
- SUCUPIRA, P. A. P.; PINHEIRO, L. de S.; ROSA, M. de F.. Caracterização morfométrica, do Médio e Baixo Curso do Rio Acaraú-Ceará-Brasil. VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/Regional Conference on Geomorphology. p 4-10, 2006.
- SUGUIO, K.; SALLUN, A. E. M.; SOARES, E. A. A. (2005). Período Quaternário: “Quo Vadis”?. Revista Brasileira de Geociências, v. 35, n. 3, p. 425-432.
- SZABO, G. A. J. ; ANDRADE, F. R. D. ; GUIMARAES, G. B. ; CARVALHO, F. M. S. ; MOYA, F. A. . As jazidas de talco no contexto da história metamórfica dos metadolomitos do Grupo Itaiacoca, PR. Geologia USP. Série Científica, São Paulo, v. 05, n. 02, p. 13-31, 2006.
- TAVARES, S. R. de L.. Curso de Recuperação de Áreas Degradadas: A Visão da Ciência do Solo no Contexto do Diagnóstico, Manejo, Indicadores de Monitoramento e Estratégias de Recuperação/Sílvio Roberto de Lucena Tavares ... [et al.]. - Dados eletrônicos. - Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008.
- TEIXEIRA, A. L.; GAUCHER, C.; PAIM, P.S.G.; FONSENCA ,M.M.; PARENTE C.V.; SILVA FILHO, W.F.; ALMEIDA,A.R.2004. Bacias do Estágio de Transição da Plataforma Sul-Americana. In: MANTESSO-NETO, V; BATTORELLI, A; CARNEIRO C.D.R.; BRITO-NEVES, B.B. (Eds) Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marque de Almeida. Ed. Beca, São Paulo, PP.487-490.
- TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. MOTTA de; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI f.. Decifrando a Terra/ Organizadores....[et al. – São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 2ª Reimpressão, 2003. 568pp.
- TORQUATO, J.R.; NOGUIERA NETO, J. A.. Historiografia da região de dobramento do médio Coreaú. Revista Brasileira de Geociências. 26(4): 303-314. 1996.
- TROEH, F. R., THOMPSON, L.M.. Solos e Fertilidade do Solo. Andrei Editora Ltda. 6ª Edição, 2007.

- URSULINO, D. M. A.. Plano de Recuperação de Áreas Degradadas Para Linha de Transmissão de Energia Elétrica de 230 KV Milagres – Tauá/Ceará, Trecho C. Julho de 2006.
- URSULINO, D. M. A.; ANGELIM, J. W., LOPES, F. L. S.; ALVES, M. C.; ROCHA, H. V.. Construindo a Agenda 21 de Sobral. Sobral: Fundo Nacional do Meio Ambiente, 2006. 152p.
- URSULINO, D. M. A.; AZEVEDO, L. R. P.; Amaral, P. G. Q.. Aspectos Didáticos e Metodológicos de Dois Estudos De Caso: Uma Discussão Acerca da Elaboração De Um Plano De Recuperação De Áreas Degradadas. In: VIII Simpósio Nacional Sobre Recuperação de Áreas Degradadas, 2010, Guarapari-ES. VIII Simpósio Nacional Sobre Recuperação de Áreas Degradadas, 2010.
- URSULINO, D. M. A.; LIMA, R. H. C.. Controle de impactos na operação de jazidas, empréstimos, areias e pedreiras, utilizadas em obras rodoviárias. Anais do 10º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ambiental. 25 a 28 de agosto de 2002, Ouro Preto, MG.
- VAN DER WEIJDEN C.H. & VAN DER WEIJDEN R.. Mobility of major, minor and some redox-sensitive trace elements and rare-earth elements during weathering of four granitoids in central Portugal. *Chemical Geology* 125, 149-167.. (1995).
- VAUCHEZ, A.; NEVES, S.; CABY, R.; CORSINI, M.; EDYDIO-SILVA, M.; ARTHAUD, M.; AMARO, V. (1995). The Borborema shear zone system, NE Brazil. *Journal of South American Earth Science* 8(3/4):247-266.
- VELLOSO, H.P.; RANGEL FILHO, A.L.; LIMA, J.C.A. Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal. São Paulo, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1992. 123p.
- VILAS BOAS, G.S., MARTIN, L., BITTENCOURT, A.C.S.P. e FLEXOR, J.M. - 1979 - Paleogeographic and paleoclimatic evolution du-ring the Quaternary in the Northern half of the coast of the State of Bahia, Brazil. In: Suguio el a/. (eds.), Proceedings, “1978 International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary”, São Paulo:254-263.
- WINDLEY, B. Proterozoic collisional and accretionary orogens. IN: CONDIE, K.C (Ed.). Proterozoic crustal evolution. Elsevier, Amsterdam, 419-445, 1995.
- ZANELLA, F. C. V.; SANTOS, M. S. S. Uma nova espécie de Xylocopa (Monoxylocopa) acrescionário andino. *Revista Brasileira de Geociências* , 29(3) 379-392, setembro de 1999.
- ZANELLA. M. E.. As características climáticas e os recursos hídricos do Estado do Ceará. Ceará: um novo olhar geográfico. Edições Demócrito Rocha. Fortaleza, p. 127-140, 2005.
- Hurd & Moure e novos registros de X. abbreviata Hurd & Moure (Hymenoptera, Apidae). *Neotropical Entomology*, Londrina. v. 39, p. 61-66, 2010.

APÊNDICES

ÍNDICES	Análises de AI											
	2010					2011						
	Chuva					Seca						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12
C (g/kg)	7,92	9,42	4,62	8,46	8,34	5,28	12,54	10,50	9,54	24,12	22,92	13,92
MO (g/kg)	13,65	16,24	7,96	14,59	14,38	9,10	21,62	18,10	16,45	41,58	39,51	24,00
pH (água)	8,0	8,1	7,2	7,5	8,0	7,2	7,5	7,8	7,5	7,5	7,6	8,0
P (mg/kg)	964	833	207	742	1099	507	514	574	438	1430	1421	887
K (cmol/kg)	1,56	1,73	0,8	2,06	2,22	2,55	0,96	0,81	0,83	1,29	1,21	0,63
Ca (cmol/kg)	16,90	2,5	2,5	14,70	14,70	9,80	12,00	11,40	9,30	10,00	10,00	13,50
Mg (cmol/kg)	2,6	0,7	0,8	0,1	0,8	3,10	1,80	5,30	3,90	8,80	9,60	4,50
Na (cmol/kg)	0,21	0,23	0,12	0,38	0,58	0,58	0,16	0,20	0,14	0,06	0,05	0,06
Al (cmol/kg)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,10	0,05	0,20	0,0	0,0	0,0
H+Al (cmol/kg)	1,15	0,99	2,14	0,74	0,33	2,31	0,66	0,17	0,66	0,83	0,66	0,50
SB (cmol/kg)	21,28	5,17	4,23	17,24	18,31	16,04	14,9	17,7	14,2	20,2	20,90	18,7
CTC (cmol/kg)	22,43	6,16	6,38	17,99	18,64	18,35	15,6	17,9	14,8	21,0	21,50	19,20
V (%)	95	84	66	96	98	87	96	99	96	96	97	97
PST (%)	1	4	2	2	3	3	1	1	1	1	1	1
m (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1	1	1	0,0	0,0	0,0
CE (dS/m)	0,49	0,63	0,61	-	-	-	0,63	0,57	0,49	1,18	0,98	0,53
N (g/kg)	-	-	-	-	-	-	1,19	1,15	0,93	2,27	2,42	1,43
C/N	-	-	-	-	-	-	11	9	10	11	9	10
Fe (mg/kg)	-	-	-	-	-	-	8,39	8,20	11,65	3,65	3,72	4,71
Cu (mg/kg)	-	-	-	-	-	-	0,01	0,01	0,01	0,44	0,41	0,38
Zn (mg/kg)	-	-	-	-	-	-	7,94	9,72	8,58	21,19	20,33	14,85
Mn (mg/kg)	-	-	-	-	-	-	25,85	18,21	16,35	33,30	29,92	25,64

Análises de A2

ÍNDICES	2010						2011					
	Chuva			Seca			Chuva			Seca		
	Fa	Fb	Fc	Fd	Fe	Ff	Fg	Fh	Fi	Fj	Fi	Fm
C (g/kg)	4,02	4,68	4,38	15,66	6,96	8,82	19,92	13,98	16,68	25,80	31,56	23,52
MO (g/kg)	6,93	8,07	7,55	27,0	12,0	15,21	34,34	24,10	28,76	44,48	54,41	40,56
pH (água)	6,6	6,8	7,4	7,6	7,6	8,0	7,2	7,7	7,5	7,6	7,8	7,6
P (mg/kg)	69	47	9,0	100	214	182	182	101	100	453	2017	451
K (cmol/g)	0,14	0,18	0,12	0,58	0,91	0,91	0,22	0,25	0,18	0,27	0,48	0,30
Ca (cmol/g)	10,8	8,1	11,5	17,0	13,3	14,2	15,60	11,00	12,50	19	17,80	11,00
Mg (cmol/kg)	9,4	9,9	10,5	9,5	7,5	5,4	5,10	4,00	5,70	4,50	15,20	11,10
Na (cmol/kg)	1,82	2,44	4,30	2,06	1,40	2,71	1,19	1,31	1,67	0,58	0,27	0,58
Al (cmol/kg)	0,05	0,05	0,1	0,0	0,0	0,0	0,45	0,15	0,25	0,0	0,0	0,0
H+Al (cmol/kg)	3,46	4,04	4,20	0,90	1,73	1,81	1,32	0,50	0,83	0,99	0,99	0,99
SB (cmol/kg)	22,16	20,62	26,42	29,14	23,12	23,23	22,1	16,6	20,0	24,40	33,80	23,0
CTC (cmol/kg)	25,63	24,67	30,63	30,05	24,85	25,04	23,4	17,1	20,9	25,30	34,70	24,0
V (%)	86	84	86	97	93	93	94	97	96	96	97	96
PST (%)	7,0	10	14	7,0	6,0	11	5,0	8,0	8,0	2,0	1,0	2
m (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0
CE (dS/m)	0,45	0,77	0,45	-	-	-	0,95	0,64	0,77	1,13	1,20	1,16
N (g/kg)	-	-	-	-	-	-	2,05	1,20	1,78	2,15	3,10	2,42
C/N	-	-	-	-	-	-	10	12	9	12	10	10
Fe (mg/kg)	-	-	-	-	-	-	18,71	51,00	17,70	16,22	2,80	6,35
Cu (mg/kg)	-	-	-	-	-	-	0,77	3,37	2,91	2,81	3,05	20,23
Zn (mg/kg)	-	-	-	-	-	-	6,41	2,89	4,20	16,69	24,35	19,57
Mn (mg/kg)	-	-	-	-	-	-	34,65	17,67	29,19	38,65	38,65	40,95

Análises A3

ÍNDICES	2010										2011								
	Chuva					Seca					Chuva						Seca		
	Fa	Fb	Fc	Fd	Fe	Ff	Fg	Fh	Fi	Fj	Fk	Fl	Fm	Fn	FO	FP	FQ		
C (g/kg)	5,16	7,14	5,76	7,26	6,66	5,46	13,32	16,98	13,56	25,44	19,26	6,48							
MO (g/kg)	8,90	12,31	9,93	12,52	11,48	9,41	22,96	29,27	23,38	43,86	33,20	11,17							
pH (água)	7,0	7,0	7,1	7,3	7,3	7,3	7,1	7,3	7,3	7,8	7,8	7,8							
P (mg/kg)	3	5	7	65	52	14	67	162	94	1097	257	278							
K (cmol/kg)	0,38	0,55	0,38	1,31	2,05	1,31	0,45	0,96	0,62	0,52	0,50	0,28							
Ca (cmol/kg)	1,2	1,0	1,0	6,1	4,9	5,3	7,00	9,00	5,50	14,80	7,50	7,80							
Mg (cmol/kg)	0,5	0,4	0,4	2,8	2,5	2,2	1,00	1,40	3,20	6,20	3,90	4,20							
Na (cmol/kg)	0,07	0,09	0,09	0,27	0,38	0,17	0,07	0,10	0,06	0,07	0,04	0,03							
Al (cmol/kg)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,20	0,15	0,15	0,0	0,0	0,0							
H+Al (cmol/kg)	2,14	4,12	2,80	1,32	1,73	2,22	0,66	0,50	0,50	0,83	0,66	0,50							
SB (cmol/kg)	2,15	2,05	1,88	10,48	9,83	8,98	8,5	11,5	9,4	21,60	12,00	12,30							
CTC (cmol/kg)	4,30	6,17	4,68	11,80	11,57	11,21	9,2	12,0	9,9	22,40	12,60	12,80							
V (%)	50	33	40	89	85	80	92	96	95	96	95	96							
PST (%)	2	2	2	2	3	2	1	1	1	1	1	1							
m (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2	1	2	0,0	0,0	0,0							
CE (dS/m)	0,35	0,35	0,35	-	-	-	0,62	1,00	0,66	0,84	0,77	0,63							
N (g/kg)	-	-	-	-	-	-	1,31	1,79	1,26	2,06	1,98	0,60							
C/N	-	-	-	-	-	-	10	9	11	12	10	11							
Fe (mg/kg)	-	-	-	-	-	-	3,68	4,42	3,69	2,34	0,96	3,87							
Cu (mg/kg)	-	-	-	-	-	-	0,01	0,01	0,02	1,20	0,56	0,50							
Zn (mg/kg)	-	-	-	-	-	-	3,80	7,21	4,15	21,55	7,99	12,26							
Mn (mg/kg)	-	-	-	-	-	-	22,50	43,80	28,62	37,96	25,72	37,04							

ANEXOS

Sieve ASTM E11 61 (M)
Result Analysis (M)
Result Statistics (M)
Fit (M)
Parameter report (M)
Trend (M)

Sieve B5 410 1986 - ISO565 1990 (M)
Result Difference (M)

Sample Name:
A1 - Average

Sample Source & type:
Works = Denise

Sample bulk lot ref:
1

Particle Name:
Bite avg

Particle RI:
1.575

Dispersant Name:
Water

Concentration:
0.0153 %Vol

Specific Surface Area:
0.877 m²/g

SOP Name:
quarta-feira, 20 de junho de 2012 16:22:03

Measured by:
Profa. Margarita

Result Source:
Averaged

Accessory Name:
Hydro 2000MU (A)

Absorption:
0.1

Dispersant RI:
1.330

Span:
3.623

Surface Weighted Mean D(3.2):
8.864 um

Analysis model:
General purpose

Size range:
0.020 to 2000.000 um

Weighted Residual:
0.577 %

Uniformity:
1.19

Result units:
Volume

Sensitivity:
Normal

Obscuration:
12.25 %

Result Emulation:
Off

Vol. Weighted Mean D(4.3):
62.889 um

d(0.1): 3.239 um

d(0.5): 41.514 um

d(0.9): 153.651 um

Particle Size Distribution

— A1F1 - Average, quarta-feira, 20 de junho de 2012 13:44:41

— A1F2b - Average, quarta-feira, 20 de junho de 2012 13:35:41

— A1F3 - Average, quarta-feira, 20 de junho de 2012 13:51:20

— A1 - Average, quarta-feira, 20 de junho de 2012 16:22:03

TEST SIZE	VOLUME %	TEST SIZE	VOLUME %												
0.010	0.00	0.100	0.00	1.000	0.96	10.000	2.10	100.000	4.13	1000.000	0.00	10000.000	0.00	100000.000	0.00
0.015	0.00	0.150	0.00	1.250	0.66	12.500	2.14	125.000	3.55	1250.000	0.00	12500.000	0.00	125000.000	0.00
0.020	0.00	0.200	0.00	1.444	0.30	15.156	2.74	151.556	2.90	1515.556	0.00	15155.556	0.00	151555.556	0.00
0.025	0.00	0.250	0.00	1.666	0.00	17.576	2.74	175.757	2.20	1757.576	0.00	17575.757	0.00	175757.576	0.00
0.030	0.00	0.300	0.00	1.905	0.00	19.853	3.55	198.530	1.64	1985.300	0.00	19853.000	0.00	198530.000	0.00
0.035	0.00	0.350	0.00	2.188	1.27	22.609	2.35	226.090	1.12	2260.900	0.00	22609.000	0.00	226090.000	0.00
0.040	0.00	0.400	0.00	2.500	1.43	25.350	2.50	253.500	0.72	2535.000	0.00	25350.000	0.00	253500.000	0.00
0.045	0.00	0.450	0.00	2.812	1.58	28.074	2.68	280.738	0.37	2807.375	0.00	28073.750	0.00	280737.500	0.00
0.050	0.00	0.500	0.00	3.119	1.58	30.811	2.91	308.111	0.18	3081.111	0.00	30811.111	0.00	308111.111	0.00
0.055	0.00	0.550	0.00	3.422	1.71	33.529	3.22	335.286	0.00	3352.857	0.00	33528.571	0.00	335285.714	0.00
0.060	0.00	0.600	0.00	3.722	1.91	36.229	3.22	362.286	0.00	3622.857	0.00	36228.571	0.00	362285.714	0.00
0.065	0.00	0.650	0.00	4.019	1.91	38.911	3.98	389.111	0.00	3891.111	0.00	38911.111	0.00	389111.111	0.00
0.070	0.00	0.700	0.00	4.313	1.96	41.574	4.37	415.744	0.00	4157.444	0.00	41574.444	0.00	415744.444	0.00
0.075	0.00	0.750	0.00	4.604	1.96	44.229	4.67	442.286	0.00	4422.857	0.00	44228.571	0.00	442285.714	0.00
0.080	0.00	0.800	0.00	4.892	2.00	46.875	4.83	468.750	0.00	4687.500	0.00	46875.000	0.00	468750.000	0.00
0.085	0.00	0.850	0.00	5.177	2.00	49.511	4.80	495.111	0.00	4951.111	0.00	49511.111	0.00	495111.111	0.00
0.090	0.00	0.900	0.00	5.460	2.06	52.143	4.36	521.429	0.00	5214.286	0.00	52142.857	0.00	521428.571	0.00
0.095	0.00	0.950	0.00	5.741	2.06	54.770	4.36	547.700	0.00	5477.000	0.00	54770.000	0.00	547700.000	0.00
0.100	0.00	1.000	0.00	6.020	2.06	57.393	4.36	573.929	0.00	5739.286	0.00	57392.857	0.00	573928.571	0.00
0.105	0.00	1.050	0.00	6.297	2.06	60.011	4.36	600.111	0.00	6001.111	0.00	60011.111	0.00	600111.111	0.00

Operator notes: Pump 2400; Ultra disp. 12.5; Time Ultra 15s; 3 gotas hexa

Sieve ASTM E1161 (M) | Result Analysis (M) | Result Statistics (M) | Fit (F) | Parameter report (M) | Trend (M) | Sieve BS 410 1986 - ISO 565 1990 (M)

Records | Result Analysis (M) | Data (M) | Fit (F) | Parameter report (M) | Trend (M) | Sieve BS 410 1986 - ISO 565 1990 (M)

Result Difference (M) | Result Difference (M)

Sample Name: A2 - Average
 Measured by: Profa. Margarita
 Works = Denise
 Sample bulk lot ref: 1

SOP Name: Measured: quarta-feira, 20 de junho de 2012 16:28:48
 Analyzed: quarta-feira, 20 de junho de 2012 16:28:49

Particle Name: Accessory Name: Hydro 2000MU (A)
 Size avg: 1.575
 Particle Rt: 0.1
 Absorption: 1.330
 Dispersant Rt: 5.812
 Water: 10.643

Analysis mode: Normal
 General purpose: Normal
 Size range: 0.020 to 2000.000 um
 Weighted Residual: 13.65 %
 Rosul Emulation: OFF

Span: 1.75
 Surface Weighted Mean D[4,3]: 42.457 um
 Surface Weighted Mean D[3,2]: 4.174 um
 Surface Area: 0.553 m²/g
 Vol. Weighted Mean D[4,3]: 250.911 um

d(0.1): 4.174 um | d(0.5): 42.457 um | d(0.9): 250.911 um

Operator notes: Pump 2400; Ultra disp 12.5; Time Ultra 15s; 3 gotes Nexa

Sample	0.075	0.150	0.300	0.600	1.200	2.500	5.000	10.000	20.000	50.000	100.000	200.000	500.000	1000.000	2000.000
A2F1D - Average, quarta-feira, 20 de junho de 2012 15:08:11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
A2F2D - Average, quarta-feira, 20 de junho de 2012 15:21:57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
A2 - Average, quarta-feira, 20 de junho de 2012 16:28:48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Records
Result Analysis (M)
Result Statistics (M)
Fit (M)
Parameter report (M)
Sieve BS 410 1986 - ISO 565 1990 (M)
Trend (M)

Sample Name:
A3 - Average

Sample Source & type:
Works = Denise

Sample bulk lot ref:
1

Particle Name:
like avg

Particle RT:
1.575

Dispersant Name:
Water

Concentration:
0.0124 %Vol

Specific Surface Area:
0.844 m²/g

SOP Name:
quarta-feira, 20 de junho de 2012 16:34:28

Measured by:
Profa. Margarita

Result Source:
Averaged

Accessory Name:
Hydro 2000MU (A)

Absorption:
0.1

Dispersant RT:
1.330

Span:
6.381

Surface Weighted Mean D(3,2):
7.111 μ m

Analysis model:
General Purpose

Size range:
10 - 2000.000 μ m

Weighted Residual:
0.660 %

Uniformity:
1.93

Vol. Weighted Mean D(4,3):
86.733 μ m

Sensitivity:
Normal

Obscuration:
12.15 %

Result Emulation:
Off

Result units:
Volume

Particle Size Distribution

— A3F1D - Average, quarta-feira, 20 de junho de 2012 15:39:20

— A3F2D - Average, quarta-feira, 20 de junho de 2012 15:50:01

— A3F3DR - Average, quarta-feira, 20 de junho de 2012 15:55:15

— A3 - Average, quarta-feira, 20 de junho de 2012 16:34:28

Size (μm)	Volume (%)	Size (μm)	Volume (%)								
0.010	0.00	0.106	0.05	1.096	0.87	11.462	1.86	130.026	3.00	1259.625	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.299	0.95	13.163	1.91	130.026	2.92	1445.442	0.00
0.012	0.00	0.136	0.00	1.445	1.03	15.139	1.96	158.498	2.75	1658.337	0.00
0.013	0.00	0.152	0.00	1.600	1.13	16.823	2.02	181.920	2.64	1825.761	0.00
0.014	0.00	0.170	0.00	1.769	1.23	18.653	2.07	200.000	2.52	1955.761	0.00
0.015	0.00	0.189	0.00	1.956	1.37	20.699	2.11	229.883	2.38	2111.886	0.00
0.016	0.00	0.210	0.00	2.163	1.50	23.000	2.21	263.000	2.26	2284.032	0.00
0.017	0.00	0.233	0.00	2.394	1.62	25.551	2.27	291.228	2.16	2474.311	0.00
0.018	0.00	0.259	0.00	2.659	1.72	28.300	2.47	323.000	1.96	2681.311	0.00
0.019	0.00	0.287	0.00	2.959	1.82	31.211	2.62	359.000	1.66	2901.384	0.00
0.020	0.00	0.317	0.00	3.294	1.90	34.374	2.78	398.000	1.30	3131.311	0.00
0.022	0.00	0.371	0.00	3.664	2.06	38.811	2.96	446.000	0.90	3381.311	0.00
0.024	0.00	0.429	0.00	4.079	2.20	43.551	3.15	498.000	0.50	3651.311	0.00
0.026	0.00	0.491	0.00	4.549	2.32	48.651	3.32	554.000	0.10	3951.311	0.00
0.028	0.00	0.559	0.00	5.074	2.43	54.151	3.48	614.000	0.00	4281.311	0.00
0.030	0.00	0.633	0.00	5.664	2.52	60.151	3.62	678.000	0.00	4641.311	0.00
0.032	0.00	0.714	0.00	6.329	2.60	66.651	3.75	746.000	0.00	5031.311	0.00
0.034	0.00	0.803	0.00	7.079	2.67	73.651	3.87	818.000	0.00	5451.311	0.00
0.036	0.00	0.900	0.00	7.914	2.73	81.151	3.98	894.000	0.00	5911.311	0.00
0.038	0.00	1.006	0.00	8.844	2.78	89.151	4.08	974.000	0.00	6411.311	0.00
0.040	0.00	1.131	0.00	9.879	2.82	97.651	4.17	1058.000	0.00	6951.311	0.00
0.042	0.00	1.275	0.00	11.029	2.85	106.651	4.25	1146.000	0.00	7531.311	0.00
0.044	0.00	1.439	0.00	12.304	2.87	116.151	4.32	1238.000	0.00	8151.311	0.00
0.046	0.00	1.624	0.00	13.714	2.88	126.151	4.38	1334.000	0.00	8811.311	0.00
0.048	0.00	1.830	0.00	15.269	2.89	136.651	4.43	1434.000	0.00	9511.311	0.00
0.050	0.00	2.058	0.00	16.979	2.89	147.651	4.47	1538.000	0.00	10251.311	0.00
0.052	0.00	2.310	0.00	18.854	2.89	159.151	4.50	1646.000	0.00	11031.311	0.00
0.054	0.00	2.587	0.00	20.894	2.89	171.151	4.52	1758.000	0.00	11851.311	0.00
0.056	0.00	2.890	0.00	23.209	2.89	183.651	4.53	1874.000	0.00	12711.311	0.00
0.058	0.00	3.220	0.00	25.809	2.89	196.651	4.54	1994.000	0.00	13611.311	0.00
0.060	0.00	3.577	0.00	28.704	2.89	210.151	4.54	2128.000	0.00	14551.311	0.00
0.062	0.00	3.962	0.00	31.904	2.89	224.151	4.54	2276.000	0.00	15531.311	0.00
0.064	0.00	4.375	0.00	35.419	2.89	238.651	4.54	2428.000	0.00	16551.311	0.00
0.066	0.00	4.817	0.00	39.254	2.89	253.651	4.54	2584.000	0.00	17611.311	0.00
0.068	0.00	5.289	0.00	43.419	2.89	269.151	4.54	2744.000	0.00	18711.311	0.00
0.070	0.00	5.792	0.00	47.924	2.89	285.151	4.54	2908.000	0.00	19851.311	0.00
0.072	0.00	6.327	0.00	52.779	2.89	301.651	4.54	3076.000	0.00	21031.311	0.00
0.074	0.00	6.894	0.00	57.984	2.89	318.651	4.54	3248.000	0.00	22251.311	0.00
0.076	0.00	7.493	0.00	63.549	2.89	336.151	4.54	3424.000	0.00	23511.311	0.00
0.078	0.00	8.124	0.00	69.474	2.89	354.151	4.54	3604.000	0.00	24811.311	0.00
0.080	0.00	8.787	0.00	75.759	2.89	372.651	4.54	3788.000	0.00	26151.311	0.00
0.082	0.00	9.482	0.00	82.404	2.89	391.651	4.54	3976.000	0.00	27531.311	0.00
0.084	0.00	10.209	0.00	89.419	2.89	411.151	4.54	4168.000	0.00	28951.311	0.00
0.086	0.00	10.969	0.00	96.804	2.89	431.151	4.54	4364.000	0.00	30411.311	0.00
0.088	0.00	11.762	0.00	104.569	2.89	451.651	4.54	4564.000	0.00	31911.311	0.00
0.090	0.00	12.589	0.00	112.714	2.89	472.651	4.54	4768.000	0.00	33451.311	0.00
0.092	0.00	13.452	0.00	121.239	2.89	494.151	4.54	4976.000	0.00	35031.311	0.00
0.094	0.00	14.351	0.00	130.144	2.89	516.151	4.54	5188.000	0.00	36651.311	0.00
0.096	0.00	15.286	0.00	139.429	2.89	538.651	4.54	5404.000	0.00	38311.311	0.00
0.098	0.00	16.257	0.00	149.094	2.89	561.651	4.54	5624.000	0.00	40011.311	0.00
0.100	0.00	17.264	0.00	159.139	2.89	585.151	4.54	5848.000	0.00	41751.311	0.00
0.102	0.00	18.307	0.00	169.564	2.89	609.151	4.54	6076.000	0.00	43531.311	0.00
0.104	0.00	19.386	0.00	180.369	2.89	633.651	4.54	6308.000	0.00	45351.311	0.00
0.106	0.00	20.501	0.00	191.554	2.89	658.651	4.54	6544.000	0.00	47211.311	0.00
0.108	0.00	21.652	0.00	203.119	2.89	684.151	4.54	6784.000	0.00	49111.311	0.00
0.110	0.00	22.839	0.00	215.064	2.89	710.151	4.54	7028.000	0.00	51051.311	0.00
0.112	0.00	24.062	0.00	227.389	2.89	736.651	4.54	7276.000	0.00	53031.311	0.00
0.114	0.00	25.321	0.00	240.104	2.89	763.651	4.54	7528.000	0.00	55051.311	0.00
0.116	0.00	26.616	0.00	253.209	2.89	791.151	4.54	7784.000	0.00	57111.311	0.00
0.118	0.00	27.947	0.00	266.704	2.89	819.151	4.54	8044.000	0.00	59211.311	0.00
0.120	0.00	29.314	0.00	280.589	2.89	847.651	4.54	8308.000	0.00	61351.311	0.00
0.122	0.00	30.717	0.00	294.864	2.89	876.651	4.54	8576.000	0.00	63531.311	0.00
0.124	0.00	32.156	0.00	309.529	2.89	906.151	4.54	8848.000	0.00	65751.311	0.00
0.126	0.00	33.631	0.00	324.584	2.89	936.151	4.54	9124.000	0.00	68011.311	0.00
0.128	0.00	35.142	0.00	339.929	2.89	966.651	4.54	9404.000	0.00	70311.311	0.00
0.130	0.00	36.689	0.00	355.564	2.89	997.651	4.54	9688.000	0.00	72651.311	0.00
0.132	0.00	38.272	0.00	371.489	2.89	1029.151	4.54	9976.000	0.00	75031.311	0.00
0.134	0.00	39.891	0.00	387.704	2.89	1061.151	4.54	10268.000	0.00	77451.311	0.00
0.136	0.00	41.546	0.00	404.209	2.89	1093.651	4.54	10564.000	0.00	79911.311	0.00
0.138	0.00	43.237	0.00	421.004	2.89	1126.651	4.54	10864.000	0.00	82411.311	0.00
0.140	0.00	44.964	0.00	438.089	2.89	1160.151	4.54	11168.000	0.00	84951.311	0.00
0.142	0.00	46.727	0.00	455.464	2.89	1194.151	4.54	11476.000	0.00	87531.311	0.00
0.144	0.00	48.526	0.00	473.129	2.89	1228.651	4.54	11788.000	0.00	90151.311	0.00
0.146	0.00	50.361	0.00	491.084	2.89	1263.651	4.54	12104.000	0.00	92811.311	0.00
0.148	0.00	52.232	0.00	509.329	2.89	1299.151	4.54	12424.000	0.00	95511.311	0.00
0.150	0.00	54.139	0.00	527.864	2.89	1335.151	4.54	12748.000	0.00	98251.311	0.00
0.152	0.00	56.082	0.00	546.689	2.89	1371.651	4.54	13076.000	0.00	101031.311	0.00
0.154	0.00	58.061	0.00	565.804	2.89	1408.651	4.54	13408.000	0.00	103851.311	0.00
0.156	0.00	60.076	0.00	585.209	2.89	1446.151	4.54	13744.000	0.00	106711.311	0.00
0.158	0.00	62.127	0.00	604.904	2.89	1484.151	4.54	14084.000	0.00	109611.311	0.00
0.160	0.00	64.214	0.00	624.889	2.89	1522.651	4.54	14428.000	0.00	112551.311	0.00
0.162	0.00	66.337	0.00	645.164	2.89	1561.651	4.54	14776.000	0.00	115531.311	0.00
0.164	0.00	68.496	0.00	665.729	2.89	1601.151	4.54	15128.000	0.00	118551.311	0.00
0.166	0.00	70.691	0.00	686.584	2.89	1641.151	4.54	15484.000	0.00	121611.311	0.00
0.168	0.00	72.922	0.00	707.729	2.89	1681.651	4.54	15844.000	0.00	124711.311	0.00
0.170	0.00	75.189	0.00	729.164	2.89	1722.651	4.54	16208.000	0.00	127851.311	0.00
0.172</											