

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO



Jociléia Alves Buback

**Caracterização Físico-Química-Mineralógica e
Micromorfológica de um Perfil de Alteração de Rocha
Alcalina do Rio de Janeiro**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio.

Orientador: Tácio Mauro Pereira de Campos
Co-orientadores: Franklin dos Santos Antunes
Claudio Palmeiro do Amaral

Rio de Janeiro,
Fevereiro de 2008.



Jociléia Alves Buback

**Caracterização Físico-Química-Mineralógica e
Micromorfológica de um Perfil de Alteração de Rocha
Alcalina do Rio de Janeiro**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Tácio Mauro Pereira de Campos

Orientador

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC- Rio

Franklin dos Santos Antunes

Co-orientador

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-Rio

Claudio Palmeiro do Amaral

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-Rio

Co-orientador

José Tavares Araruna Júnior

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-Rio

Luiz Carlos Bertolino

Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ

José Eugênio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 15 de fevereiro de 2008.

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Jociléia Alves Buback

Formou-se no curso Técnico de Edificações pela Escola Técnica Federal do Espírito Santo – ETFES em 1998. Graduou-se em Engenharia Civil na Universidade Federal do Espírito Santo - UFES em 2005.

Buback, Jociléia Alves

Caracterização Físico-Química-Mineralógica e Micromorfológica de um Perfil de Alteração de Rocha Alcalina do Rio de Janeiro / Jociléia Alves Buback; orientador: Tácio Mauro Pereira de Campos; co-orientadores: Franklin dos Santos Antunes, Cláudio Palmeira do Amaral. – 2008

122 f. : il. (col.) ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

Inclui bibliografia

1. Engenharia civil – Teses. 2. Solo residual. 3. Rocha alcalina. 4 Intemperismo. 5. Mineralogia. 6. Micromorfologia. I. Campos, Tácio Mauro Pereira de. II. Antunes, Franklin dos Santos. III. Amaral, Cláudio Palmeira. IV. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. V. Título.

CDD: 624

Dedico esta dissertação a meus pais, Antônio e Irene, e as minhas irmãs,
Fernanda e Eliane, por acreditarem em mim

Agradecimentos

Agradeço a minha família, por estar sempre, sempre ao meu lado. Principalmente a minha grandiosa mãe, muito obrigada mãe pelas infinitas palavras de conforto e incentivo, você “não existe”, Te Amo. Ao meu pai por sempre se preocupar comigo e por ter feito de seu simples conhecimento a base e o incentivo para que eu seguisse essa profissão. As minhas irmãs pelo companheirismo constante e por sempre torcerem por mim, obrigada meninas. Sei que o Pai Celestial me ama muito, por isso colocou-me em uma família de pessoas tão especiais como vocês, que sempre me motivam e me ajudam a trilhar esse caminho.

Aos meus amigos Elvidio e Eduardo, que se empolgaram e me contagiaram, incentivando-me para que eu viesse para o Rio. Meninos, apesar de todos os previstos e imprevistos que ocorreram no decorrer desse tempo, valeu a pena. Muito obrigada por toda a força e incentivo.

A minha amiga Juliane que mesmo de longe sempre me proporcionou apoio e atenção. Jujuba, muito obrigada pela força, foi muito importante pra mim.

A minha amiga Vivian, por me ouvir sempre que precisei, pelo carinho, dedicação, prestatividade e preocupação, obrigada por tudo menina.

Agradeço aos meus amigos “cariocas”, mesmo distantes jamais me esquecerei de vocês: Roberto, pelo saudoso som do violão e do R que só ele sabe falar; Guilherme, pelas infinitas ajudas nos ensaios e paciência constante, valeu por tudo Guilhermitcho; Elvidio, pela forte e constante presença nesta etapa final, muito obrigada; Viví, pela boa comida (até aprendi a gostar de torta capixaba); Hyllttonn, pelas músicas enviadas para me tranquilizar nos momentos de sufoco e também pelas boas gargalhadas, idas a praia, a festas, obrigada garoto; Loren pela prestatividade constante; Bê, por todo auxílio nas dúvidas; Amandita pelas palavras de incentivo que me ajudaram a seguir em frente e não desanimar. Enfim, fico grata a todos por fazerem parte da minha vida nesta época do mestrado. Valeu por todos os finais de semana e madrugadas de estudo, jantares, churrascos, festas de aniversários, etc. Vou sentir muita saudade de todos vocês.

Aos amigos do Espírito Santo em especial a Pitty, Jaque, Rosana, Beth, Amélio e Miriam. A galera da UFES, especialmente a Náthia, Valéria, Rodrigo César, Vitor Schwartz e Rodrigo Dalvi. A professora Kátia por toda colaboração e incentivo. Aos amigos do Rio, Ala Jardim Botânico, principalmente a Roberta, Joana e Mary Pessoa. A minha amiga Adriana Siqueira, muito obrigada por todo o carinho e companheirismo nessa época no Rio de Janeiro.

A empresa PCE – Projetos e Consultoria de Engenharia Ltda, em especial ao José Eduardo Moreira e a Ana Lúcia Gonçalves Maiolino.

Ao professor Tácio. Ao professor Amaral por toda a colaboração. Em especial ao professor Franklin por todo o carinho e toda disposição em ajudar, exemplo de competência e profissionalismo, jamais me esquecerei de tudo que fez por mim, muito obrigada.

Aos funcionários do DEC, Departamento de Engenharia Civil, principalmente à Rita, obrigada por toda colaboração e disponibilidade. Ao pessoal do Laboratório de Geotecnia e Meio Ambiente da PUC-Rio: “Seu José”, William, Josué, Amauri (muito obrigada por toda ajuda) e a Mônica (agradeço pelo auxílio nas dúvidas).

A Dona Antônia por ter me acolhido em sua casa, a Alê que contribuiu muito para que eu permanecesse naquele local e a Amanda que chegou mais tarde, mas que influenciou significativamente.

A Empresa de Mineração de Tanguá – Emitang, especialmente ao Sr. José Maria, Guilherme, Pedro e Rafael pela constante disponibilidade.

Aos professores Ana Valéria Freire Allemão Bertolino e Luiz Carlos Bertolino, pela colaboração na análise micromorfológica. Ao Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, por ceder o Laboratório de Microscopia Óptica para as análises micromordológicas.

Ao Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, em especial ao Ronaldo pela realização dos ensaios de difração de raios-X e ao Mauricio e Márcia que contribuíram para a realização da Microscopia Eletrônica de

Varredura. Ao Laboratório de Fundação de Apoio à Física e à Química da Universidade de São Carlos, principalmente ao Geraldo, responsável pela realização do ensaio de porosimetria de mercúrio. Ao Ciclo Básico, CTC, PUC-Rio.

Ao “Seu” Tarcisio, que confeccionou as lâminas micromorfológicas, pela simplicidade e boa vontade em sempre colaborar. Ao Professor Júlio Cezar Mendes – UFRJ pela prestatividade na realização das análises químicas. A Embrapa também pela realização das análises químicas. Ao Departamento de Recursos Minerais do Rio de Janeiro, principalmente ao Paulo (geólogo) e a Ana Paula.

Ao Geólogo Thiago Moreira Roza, fico muito grata por toda a disposição e colaboração.

A CAPES, pelo apoio financeiro.

Ao Pai Eterno, por me dar força constante em todo o mestrado. Agradeço por me conduzir até aqui, me guiando em todos os momentos e me ajudando no que parecia impossível. Muito obrigada.

Resumo

Buback, Jociléia Alves; De Campos, Tácio Mauro Pereira; Antunes, Franklin dos Santos; Amaral, Claudio Palmeiro do. **Caracterização físico-química-mineralógica e micromorfológica de um perfil de alteração de rocha alcalina do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2007. 122p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Vários estudos sobre o comportamento de produtos oriundos da alteração de rochas devido à ação intempérica já foram desenvolvidos no país. Esses estudos são de grande importância para a engenharia geotécnica, principalmente em locais de clima tropical, quente e úmido, como o Brasil, já que as condições climáticas possuem uma influência significativa na formação resultante da rocha. Logo, o conhecimento detalhado da origem do solo contribui para uma melhor compreensão do seu comportamento geomecânico. Este trabalho compreende principalmente um estudo físico-químico-mineralógico e micromorfológico de amostras de solo, com o propósito de analisar o comportamento das mesmas devido à ação do intemperismo. Esse material está localizado no Complexo Alcalino de Tanguá, município de Tanguá, onde as amostras foram retiradas aleatoriamente, mas com base em suas características morfológico-tátil-visuais. Ressalta-se aqui que estudos com esse enfoque desenvolvidos nesse tipo de solo e/ou rochas de origem alcalina são raramente encontrados na literatura. Portanto, a elaboração desse trabalho colabora agregando um conhecimento prévio, sobre a rocha, a materiais originários da mesma que apresentam diferentes graus de intemperização, contribuindo para uma ampliação do conhecimento geral de solos residuais como um todo. Esse estudo foi realizado dentro do contexto do projeto PRONEX-Rio, denominado “Geotecnia Aplicada à Avaliação, Prevenção e Remediação de Problemas Ambientais”, em desenvolvimento junto ao Núcleo de Geotecnia Ambiental do DEC/PUC-Rio na linha de pesquisa Geotecnia Ambiental do Setor de Geotecnia do DEC/PUC-Rio.

Palavras-chave

solo residual, rocha alcalina, intemperismo, mineralogia e micromorfologia

Abstract

Buback, Jociléia Alves; De Campos, Tácio Mauro Pereira; Antunes, Franklin dos Santos; Amaral, Claudio Palmeiro do. **Residual soil alkaline origin characterization at the Tanguá city, Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro, 2007. 122p. MSc. Dissertation - Department of Civil Engineering, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The behavior of rock decomposition products has been studied by many authors throughout the country. These works have great importance for the geotechnical engineering, mainly in tropical regions, with hot and rainy climates, like it is found in Brazil, since atmospheric conditions have a great influence in the soil formation originated from the mother rock. Therefore the detailed knowledge of the soil origin provides a better understanding of its geomechanical behavior. This work deals with a physical-chemical-mineralogical and micromorphological study of arbitrary soil points on the Tanguá alkaline complex, at the Tanguá Municipality (Rio de Janeiro State, Brazil). The main subject of the present work is to analyze effects of weathering on the physical-chemical-mineralogical and structural characteristics of the residual soil derived from the alkaline rock found in Tanguá, as well as on some simple hydro-mechanical characteristics of the material. It's important to note here that works on this type of rock and/or soil are rarely found in the literature. Thus, this work contributes towards a better understanding on the behaviour of residual soils as a whole. This study has been done within the context of the PRONEX-Rio project named "Geotechnics Applied to the Evaluation, Prevention and Remediation of Environmental Problems", under development within the Environmental Geotechnics Group of DEC/PUC-Rio.

Palavras-chave

Residual soil, alkaline rock, weathering, mineralogy and micromorphology

Sumário

1	Introdução	22
2	Intemperismo e Rocha Alcalina	24
3	Descrição da Área de Estudo e Amostragem	28
3.1.	Meio físico	28
3.1.1.	Localização	28
3.1.2.	Vegetação e condições climáticas do local	30
3.1.3.	Geologia e geomorfologia	31
3.2.	Amostragem	33
3.2.1.	Coleta de amostras	33
3.2.2.	Características morfológicas do solo	37
4	Ensaio de Laboratório	40
4.1.	Caracterização física	41
4.1.1.	Análise granulométrica	42
4.1.2.	Limites de Atterberg	42
4.1.3.	Massa específica dos grãos	43
4.2.	Porosimetria de mercúrio	43
4.3.	Caracterização química	46
4.3.1.	Análise química total	46
4.3.2.	Análise química parcial	46
4.3.3.	pH, matéria orgânica e condutividade elétrica	47
4.4.	Caracterização mineralógica	48
4.4.1.	Observação em lupa binocular	48
4.4.2.	Difração de raios-X	49
4.4.3.	MEV – Microscópio eletrônico de varredura	51
4.4.4.	Micromorfologia dos solos	52
4.5.	Ensaio de curva característica de sucção	53
4.6.	Ensaio de tração – Método Brasileiro	55
4.7.	Ensaio de desagregabilidade	57
5	Apresentação e Discussão dos Resultados	58

5.1. Caracterização física	58
5.1.1. Análise granulométrica	58
5.2. Porosimetria de mercúrio	64
5.3. Caracterização química	67
5.3.1. Análise química total	67
5.3.2. Análise química parcial	69
5.3.3. Matéria orgânica, pH e condutividade elétrica	71
5.4. Caracterização mineralógica	74
5.4.1. Observação em lupa binocular	74
5.4.2. Difração de raios-X	76
5.4.3. MEV – Microscópio eletrônico de varredura	80
5.4.4. Micromorfologia	84
5.4.5. Curva característica de sucção	92
5.4.6. Compressão diametral	101
5.4.7. Desagregabilidade	106
6 Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros	112
6.1. Conclusões	112
6.2. Sugestões para trabalhos futuros	114
Referências Bibliográficas	116
ANEXO I Mapa Geológico da Área de Estudo	124

Lista de Figuras

Figura 3-1 – Localização – BR 101. (Fonte: www.tangua.rj.gov.br).	28
Figura 3-2 – Localização dos pontos de coleta das amostras 01 e 02, próximo ao <i>shaft</i> 01 (desativado) da empresa de mineração de Tanguá. (Fonte: Google Earth).	29
Figura 3-3 – Localização dos pontos de coleta das amostras 03, 04, 05 e 06, próximo ao <i>shaft</i> 02 (em atividade) da empresa de mineração de Tanguá. (Fonte: Google Earth).	29
Figura 3-4 – Estação base do GPS, <i>shaft</i> 01.	30
Figura 3-5 – GPS no local de coleta da amostra 03.	30
Figura 3-6 – Mapa geológico regional (Becker <i>et al.</i> , 1997).	32
Figura 3-7 – Local de retirada da amostra 02.	34
Figura 3-8 – Local de retirada da amostra 03.	35
Figura 3-9 – Local de retirada da amostra 04.	35
Figura 3-10 – Preparação dos blocos em campo, amostra 02.	36
Figura 3-11 – Preparação dos blocos em campo, amostra 02.	36
Figura 3-12 – Afloramento de rocha alcalina.	37
Figura 3-13 – Detalhe de um lajão do afloramento de rocha alcalina.	37
Figura 3-14 – Amostra 02 evidenciando a presença de veios.	38
Figura 3-15 – Amostra 03 indicando as características reliquias da rocha mãe.	38
Figura 3-16 – Amostra 04 evidenciando características reliquias da rocha mãe.	39
Figura 3-17 – Concreções brancas - presença de feldspato alterado (caulinita).	39
Figura 4-1 – Micromeritics Pore Sizer 9320 - Laboratório de Fundação de Apoio à Física e à Química da Universidade de São Carlos.	45
Figura 4-2 – Difratorômetro de raios-X.	51
Figura 4-3 – Microscópio Eletrônico de Varredura.	52
Figura 5-1 – Curvas granulométricas com defloculante (Hexametáfosfato de sódio).	59
Figura 5-2 – Curvas granulométricas sem defloculante (Água destilada).	59
Figura 5-3 – Fração fina das amostras de solo.	60
Figura 5-4 – Atividade das três amostras de solo.	61
Figura 5-5 – Índice de vazios e porosidade de cada amostra de solo.	63

Figura 5-6 – Peso específico natural e peso específico aparente seco de cada amostra de solo.	63
Figura 5-7 – Grau de saturação de cada amostra de solo.	64
Figura 5-8 – Curvas obtidas pelo ensaio de porosimetria de mercúrio.	65
Figura 5-9 – Curvas obtidas através do ensaio de porosimetria de mercúrio – classificação por Brewer (1976).	66
Figura 5-10 – Variação de K_i e K_r .	70
Figura 5-11 – Variação do teor de matéria orgânica.	72
Figura 5-12 – Variação de pH.	73
Figura 5-13 – Amostra 02 – Pedregulho e areias grossa, média e fina.	74
Figura 5-14 – Amostra 03 – Pedregulho e areias grossa, média e fina.	75
Figura 5-15 – Amostra 04 – Pedregulho e areias grossa, média e fina.	75
Figura 5-16 – Difrátograma da amostra 02 (método do pó) – areia fina, silte e argila, sem tratamento. Ensaio realizado no Difrátômetro de marca Siemens, Modelo D-5000.	76
Figura 5-17 – Difrátograma da amostra 02 – fração argila, apresentada na forma natural, aquecida e glicolada. Ensaio realizado no Difrátômetro de marca Siemens, Modelo D-5000. I – illita; C – Caulinita; Fk – Feldspato potássico; Fd – Feldspatóide.	77
Figura 5-18 – Difrátograma da amostra 03 (método do pó) – areia fina, silte e argila, sem tratamento. Ensaio realizado no Difrátômetro de marca Siemens, Modelo D-5000.	77
Figura 5-19 – Difrátograma da amostra 03 fração argila. Apresentada na forma natural, aquecida e glicolada. Ensaio realizado no Difrátômetro de marca Siemens, Modelo D-5000. Cl – Clorita; I – Illita; C – Caulinita; Fd – Feldspatóide.	78
Figura 5-20 – Difrátograma da amostra 04 (método do pó) – areia fina, silte e argila, sem tratamento. Ensaio realizado no Difrátômetro de marca Siemens, Modelo D-5000 C – Caulinita; Fk – Feldspato potássico.	78
Figura 5-21 – Difrátograma da amostra 04 – fração argila. Apresentada na forma natural, aquecida e glicolada. Ensaio realizado no Difrátômetro de marca Siemens, Modelo D-5000. I – illita; C – Caulinita; Fk – Feldspato potássico.	79
Figura 5-22 – Imagem da amostra 02 e EDS dos pontos analisados.	81
Figura 5-23 – Imagem da amostra 03 e EDS dos pontos analisados.	82
Figura 5-24 – Imagem da amostra 04 e EDS dos pontos analisados.	83

Figura 5-25 – Fotomicrografia da amostra 02 - Grãos parcialmente preservados. Aumento de 5 vezes. Nicóis cruzados. Fp – Feldspato.	85
Figura 5-26 – Fotomicrografia da amostra 02 - Impregnação de hidróxido de ferro. Aumento de 5 vezes. Luz plana. Fe – Hidróxido de Ferro.	85
Figura 5-27 – Fotomicrografia da amostra 02 - Grão de feldspatóide parcialmente alterado. Aumento de 5 vezes. Nicóis cruzados. Fd – Feldspatóide.	86
Figura 5-28 – Fotomicrografia da amostra 02 - Grão caulinitizado. Aumento de 5 vezes. Nicóis cruzados. Fp – Feldspato.	86
Figura 5-29 – Fotomicrografia da amostra 03 – Plasma com hidróxido de ferro e alta quantidade de poros. Aumento de 5 vezes. Nicóis cruzados. Fe – Hidróxido de ferro.	87
Figura 5-30 – Fotomicrografia da amostra 03 – Grão de pirita alterado. Aumento de 10 vezes. Luz plana. Pi – Pirita.	88
Figura 5-31 – Fotomicrografia da amostra 03 – Feldspatóides alterados. Aumento de 5 vezes. Nicóis cruzados. Fd – Feldspatóide.	88
Figura 5-32 – Fotomicrografia da amostra 04 – Microporos presentes no plasma. Aumento de 10 vezes. Nicóis cruzados.	89
Figura 5-33 – Fotomicrografia da amostra 04 – Mineral secundário, possivelmente illita. Aumento de 10 vezes. Nicóis cruzados. I – Illita.	90
Figura 5-34 – Fotomicrografia da amostra 04 – Presença de minerais opacos. Aumento de 10 vezes. Luz plana.	90
Figura 5-35 – Fotomicrografia da amostra 04 – Mica parcialmente alterada. Aumento de 10 vezes. Nicóis cruzados. Mi – Mica.	91
Figura 5-36 – Amostra 02 - Curva característica de sucção em função da umidade volumétrica.	93
Figura 5-37 – Amostra 03 - Curva característica de sucção em função da umidade volumétrica.	93
Figura 5-38 – Amostra 04 - Curva característica de sucção em função da umidade volumétrica.	94
Figura 5-39 – Amostra 02 - Comparação entre a curva característica de sucção e a curva característica obtida pelo ensaio de porosimetria de mercúrio em função da umidade volumétrica.	96
Figura 5-40 – Amostra 03 - Comparação entre a curva característica de sucção e a curva característica obtida pelo ensaio de porosimetria de mercúrio em função da umidade volumétrica.	97

Figura 5-41 – Amostra 04 - Comparação entre a curva característica de sucção e a curva característica obtida pelo ensaio de porosimetria de mercúrio em função da umidade volumétrica.	97
Figura 5-42 – Amostra 02 - Curva característica de sucção em função do grau de saturação.	98
Figura 5-43 – Amostra 03 - Curva característica de sucção em função do grau de saturação.	99
Figura 5-44 – Amostra 04 - Curva característica de sucção em função do grau de saturação.	99
Figura 5-45 – Amostra 02 - Curva característica de sucção em função da umidade gravimétrica.	100
Figura 5-46 – Amostra 03 - Curva característica de sucção em função da umidade gravimétrica.	100
Figura 5-47 – Amostra 04 - Curva característica de sucção em função da umidade gravimétrica.	101
Figura 5-48 – Ensaio de compressão diametral em solo com menor teor de umidade. Amostra 02.	102
Figura 5-49 – Ensaio de compressão diametral em solo com maior teor de umidade. Amostra 03.	102
Figura 5-50 – Início do ensaio. Amostra 02.	103
Figura 5-51 – Início da formação da trinca de tração. Amostra 02.	103
Figura 5-52 – Aumento da formação da trinca com o avanço das deformações. Amostra 02.	103
Figura 5-53 – Ruptura total da amostra de solo. Amostra 02.	103
Figura 5-54 – Início da formação da trinca. Amostra 04.	104
Figura 5-55 – Abertura da trinca com a aplicação da força. Amostra 04.	104
Figura 5-56 – Maior abertura da trinca com o avanço da deformação. Amostra 04.	104
Figura 5-57 – Ruptura parcial do corpo de prova – apresentação da heterogeneidade. Amostra 04.	104
Figura 5-58 – Amostra 02 - Relação da resistência à tração com o teor de umidade gravimétrica.	105
Figura 5-59 – Amostra 03 - Relação da resistência à tração com o teor de umidade gravimétrica.	105
Figura 5-60 – Amostra 04 - Relação da resistência à tração com o teor de umidade gravimétrica.	106
Figura 5-61 – Preparação das amostras para a realização do ensaio.	107

Figura 5-62 – Amostras no início do ensaio de desagregabilidade por imersão progressiva – água na altura da base dos corpos de prova.	107
Figura 5-63 – Amostras no ensaio de imersão progressiva – água a 1/3 da altura dos corpos de prova.	107
Figura 5-64 – Amostras no ensaio de imersão progressiva – água a 2/3 da altura dos corpos de prova.	108
Figura 5-65 – Amostras no ensaio de imersão progressiva – água a 3/3 da altura dos corpos de prova, ou seja, imersão total da amostra, após 24 horas.	108
Figura 5-66 – Amostras no ensaio de imersão total – imediatamente após a inundação.	109
Figura 5-67 – Amostras no ensaio de imersão total – 15 minutos após a inundação.	109
Figura 5-68 – Amostras no ensaio de imersão total – 30 minutos após a inundação.	110
Figura 5-69 - Amostras no ensaio de imersão total – 1 hora após a inundação.	110
Figura 5-70 – Amostras no ensaio de imersão total – 24 horas após a inundação.	110

Lista de Tabelas

Tabela 3-1 – Coordenadas dos locais onde foram coletadas as amostras.....	30
Tabela 3-2 – Resumo de amostragem.....	36
Tabela 5-1 – Resultados dos ensaios de caracterização com defloculante (Hexametáfosfato de sódio).....	61
Tabela 5-2 – Resultados dos ensaios de caracterização sem defloculante (Água destilada).....	61
Tabela 5-3 – Índices físicos obtidos por correlação.....	62
Tabela 5-4 – Densidade relativa dos grãos de alguns minerais (adaptado de Deer <i>et al.</i> , 1981).....	62
Tabela 5-5 – Porosidade obtida pelo ensaio de porosimetria de mercúrio.....	67
Tabela 5-6 – Concentração de índices químicos.....	68
Tabela 5-7 – Análise química parcial – ataque sulfúrico.....	69
Tabela 5-8 – Análise química parcial – complexo sortivo.....	69
Tabela 5-9 – pH, matéria orgânica e condutividade elétrica.....	71
Tabela 5-10 – Minerais identificados na difração de raios-X.....	79
Tabela 5-11 – Frequência - porcentagem da área da lâmina.....	91
Tabela 5-12 – Valores de entrada de ar e umidade residual das três amostras de solo.....	95

Lista de Abreviaturas

ABNT = Associação Brasileira de Normas Técnicas

C.E = Condutividade elétrica

CNPS = Centro Nacional de Pesquisa de Solos

CPS = Contagem por segundo

CTC = Capacidade de troca catiônica

DCMM = Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia

DEC = Departamento de Engenharia Civil

EDS = Analisador de energia dispersiva

EMBRAPA = Empresa Brasileira de Pesquisas Agrárias

MEV = Microscópio eletrônico de varredura

P.F. = Índice de perda ao fogo

Lista de Símbolos

Al = alumínio

Al^{+3} = cátion de Alumínio

Ba = bário

Ca = cálcio

Ca^{+2} = cátion de cálcio

Cr = cromo

cm = centímetro

e = índice de vazios

g = aceleração da gravidade

G_s = densidade relativa dos grãos

H^+ = cátion de hidrogênio

Hg = mercúrio

la = índice de atividade de Skempton

IP = índice de Plasticidade

K = potássio

K^+ = cátion de potássio

kg = quilograma

kPa = quilopascal

L = litro

LL = limite de liquidez

log = logaritmo

LP = limite de plasticidade;

M = metro

meq = miliequivalentes

Mg = magnésio

Mg^{+2} = cátion de magnésio

Mn = manganês

ml = mililitro

mm = milímetro

n = porosidade

Na = sódio

Nb = nióbio

P = fósforo

pH = potencial de hidrogenização

Rb = Rubídio

S = grau de saturação

S = enxofre

s = segundo

Si = silício

Sr = estrôncio

T = capacidade de troca catiônica

w_{nat} = umidade natural

Y = ítrio

Zr = zircônio

= diâmetro da abertura da malha da peneira

% = porcentagem

° = graus

γ = peso específico

γ_d = peso específico seco

γ_n = peso específico natural

γ_w = peso específico da água

θ = teor de umidade volumétrico

ρ_s = massa específica dos grãos de solo

ρ_w = densidade da água

Ψ = sucção

“Um homem demonstra ter verdadeira inteligência quando toma um assunto que é misterioso e grandioso por si mesmo e o desvenda e simplifica, de modo que até uma criança consiga compreendê-lo”

(John Taylor)