

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

THIAGO FRIEDRICH HAUBERT

**GEOSOLUÇÕES A BIOCONSTRUÇÕES: CARACTERIZAÇÃO E ESTUDO
COMPARATIVO DOS SOLOS DOS MUNICÍPIOS DE ROLANTE, SÃO
FRANCISCO DE PAULA E MAQUINÉ PARA USO COMO MATERIAL DE
BIOCONSTRUÇÃO DE TERRA**

Porto Alegre

2017

FOLHA CARTOLOGRAFICA

THIAGO FRIEDRICH HAUBERT

**GEOSOLUÇÕES A BIOCONSTRUÇÕES: CARACTERIZAÇÃO E ESTUDO
COMPARATIVO DOS SOLOS DOS MUNICÍPIOS DE ROLANTE, SÃO
FRANCISCO DE PAULA E MAQUINÉ PARA USO COMO MATERIAL DE
BIOCONSTRUÇÃO DE TERRA**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Lidia Medeiros Vignol-Lelarge¹

Orientadora: Profa. Dra. Márcia Elisa Boscato Gomes¹

Supervisor: Prof. Dr. Márcio Rosa D'Avila²

¹Instituto de Geociências
Universidade Federal do Rio Grande do Sul UFRGS

²Faculdade de Arquitetura e Urbanismo FAU
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul PUCRS

Porto Alegre

2017

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso **“GEOSOLUÇÕES A BIOCONSTRUÇÕES: CARACTERIZAÇÃO E ESTUDO COMPARATIVO DOS SOLOS DOS MUNICÍPIOS DE ROLANTE, SÃO FRANCISCO DE PAULA E MAQUINÉ PARA USO COMO MATERIAL DE BIOCONSTRUÇÃO DE TERRA”**, elaborado por THIAGO FRIEDRICH HAUBERT, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia

Comissão Examinadora:

Profa. Dr^a. Cassiana Roberta Lizzoni Michelin

Prof. Dr. Clovis Gonzatti

Prof. Dr. Noberto Dani

Dedico meu trabalho a toda natureza e a todo Itajah desrespeitado durante estes anos de geologia, na ânsia de dominar as informações contidas em sua matéria.

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi realizado graças a uma infinidade de ligações e interações, a maioria imperceptível e incompreensível aos meus sentidos. Agradeço aqui, em nome de todos que se beneficiam deste, uma parcela que vem à cabeça quando penso no assunto. Primeiramente, agradeço ao prana, ao sol, às árvores e ao ar, a toda energia da mata, ao cheiro de terra e à pulsação negra.

Agradeço às energias sensíveis, complexas e regenerativas da força feminina, presente na Maria, Daiani, Raínha, Neidi, Senir, Mari, Sister, Rosângela, Mariana, Alice, Sasá, Jose, Sofia, Lidia, Marcia, Vivi e Tais.

Agradeço às energias densas, simples e conservadoras da força masculina, presente no Jagube, Paulo, Rafael, Tales, Lucki, Asafe, Bruno, Gui, Felipe, Serginho, Torto, Tcheli, Leandro, Beto, Arabe, Muri, Bofill, Pet, Vitor, Carlinhos, Vini, Marcão, Max, Jeferson, Elimar, Arthur, Roberto, Fernando, Gilberto, Edgar, Márcio, Bressani, Rualdo, Sattler, Jepeto, Porongo, Mate e Rapé.

Agradeço às instituições: UFRGS, Instituto Federal Campus Rolante, Instituto Arca Verde, Pousada Recanto da Mata, Sítio Sol, Lua, Estrela, Sítio da Amizade, Centro Espiritual Pachamama, Centro Acadêmico de Estudantes de Geologia, Grupo Ecológico de Rolante, Gayatri Vida Consciente e Pé de Porongo.

Agradeço também ao filme escolarizando o mundo, ao Baghavat Gita, aos hinos orientadores, ao Bob e a toda população brasileira, que me permitiu ter acesso a informações sobre o funcionamento de nosso mundo e nossa vida, me permitiu interagir com pessoas interessantes e me deu boas condições para seguir meu curso, principalmente durante os seis anos de graduação.

RESUMO

A questão habitacional tem se mostrado de suma importância em todas as sociedades, atuais e antigas, e está relacionada a fatores culturais que definem seus moradores, assim como, a problemas de exclusão social desencadeando em aumento de favelas e da criminalidade e problemas de saúde, pelas precárias condições das populações de baixa renda na área urbana e, principalmente, rural. Apesar da importância, a maior parte das medidas de combate aos problemas habitacionais tem se mostrado ineficientes. Opções de construções mais sustentáveis ou a bioconstrução, como as que utilizam terra, têm ganhado notoriedade pela série de benefícios ambientais e econômicos relacionados ao emprego de materiais não convencionais. Exemplos de emprego do conceito de construção em terra são recorrentes nos países do hemisfério norte, onde materiais e tecnologias já são oferecidos no mercado da construção civil assim como a presença de inúmeras iniciativas concretas de projetos executados por meio da autoconstrução. O estudo sobre estas construções apresenta um histórico significativo e crescente, sendo este o tema principal de grandes eventos acadêmicos dos últimos anos. No entanto, verificam-se muitos trabalhos da área da arquitetura e da engenharia com enfoques para técnicas construtivas, enquanto o estudo e detalhamento de materiais, relacionado a diversos aspectos geológicos, não têm sido muito visado. Este projeto teve o objetivo de verificar os potenciais do(s) solo(s), principalmente do município de Rolante, como matéria prima para a bioconstrução de terra e validar ensaios de campo para análise do solo. A avaliação do potencial foi realizada através da comparação entre os solos de Rolante, referências bibliográficas e os solos de cidades próximas onde se reconhece as aptidões e características do solo para este uso. Foi utilizada: análise mineralógica (por DRX), mostrando predomínio de esmectita em solos provenientes de basalto e caolinita em solos provenientes de rochas ácidas; distribuição granulométrica, mostrando forte relação desta com rocha e relevo; e ensaio de compressão sobre adobes, com resultados entre 0,3 e 0,8 Mpa, mostrando possibilidades construtivas dos solos da região. Os resultados das análises foram comparados aos resultados dos ensaios de campo, verificando sua competência. As conclusões deste trabalho

forneem dados para utilização em instituições públicas e privadas na elaboração de planos de desenvolvimento habitacional e programas com princípios voltados à sustentabilidade, melhorando as possibilidades habitacionais, principalmente para populações em vulnerabilidade social.

Palavras-Chave: Arquitetura em terra. Terra. Pedologia. Bioconstrução. Solo.

RESUMÉ

La question du logement est, et a toujours été, d'extrême importance dans toutes sociétés, actuelles et anciennes et est en relation avec des facteurs culturels, qui définissent leurs habitants, ainsi qu'avec des problèmes d'exclusion sociale déclanchant une augmentation des bidonvilles et de la criminalité et des problèmes de santé dûs aux conditions précaires des populations à faibles revenus dans les zones urbaine et, principalement, rurale. Malgré son importance, la plupart des mesures de combat des problèmes d'habitation sont inefficaces. Des options de constructions plus durables, ou bioconstruction, comme celles en terre, ont acquis notoriété par la série de bénéfices environnementaux et économiques quant à l'emploi de matériaux non conventionnels. Des exemples de l'emploi du concept de construction en terre sont récurrents dans les pays de l'hémisphère nord, où les matériaux et les technologies sont déjà disponibles sur le marché de la construction civile, ainsi que la présence de nombreuses initiatives concrètes de projets exécutés au moyen de l'autoconstruction. L'étude sur ces constructions présente un historique important et croissant, ce domaine étant thème principal de grands événements académiques, ces dernières années. Toutefois, on observe de nombreux travaux en ingénierie civile et en architecture sur les approches des techniques constructives, alors que le détail sur les matériaux, par rapport à divers aspects géologiques, n'est pas très visé. Ce projet a pour objectif de vérifier le potentiel du (des) sol(s), principalement dans la municipalité de Rolante, comme matière première pour la bioconstruction en terre, et de valider des procédures rapides d'analyses des sols. L'évaluation du potentiel a été réalisée par comparaison entre les sols de Rolante, les références bibliographiques et les sols des villes avoisinantes, où les compétences et caractéristiques du sol pour cet emploi ont été reconnues. Ont été utilisés: l'analyse minéralogique (par DRX) indiquant la prédominance de la smectite dans les sols issus du basalte et de la kaolinite dans les sols des roches acides; distribution granulométrique, illustrant une forte corrélation entre la granulométrie et la roche et le relief; et un essai de compression sur les briques en terre, avec des résultats entre 0,3 et 0,8 Mpa, illustrant les possibilités constructives des sols de la région. Les résultats des analyses ont été comparés aux résultats d'essais ou de

procédures rapides, pour vérifier leurs compétences. Les résultats de ce travail produisent des données aux institutions publiques et privées pour l'élaboration des plans de développement de l'habitation et des programmes dont les principes sont durables, améliorant les possibilités d'habitation, principalement pour les populations à vulnérabilité sociale.

Mots-clé: Architecture en terre. Terre. Pédologie. Bioconstruction. Sols.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Construções antigas e atuais que usam a terra como material construtivo. a: Escarpas de Bandiagara, Mali, Africa (A. Wolf); b: Taos Pueblo, Novo Mexico. (Edmondo Gnerre); c: Zona arqueológica Chan Chan, Peru (Wilfredo Carazas-Aedo); d: enxaimel, Nova Petrópolis, RS, Brasil (Angelina Wittmann).	25
Figura 2: Técnicas de construção em terra (SANTOS, 2015 adaptado de HOUBEN e GUILLAUD, 1989).	27
Figura 3: escalas granulométricas ASTM, AASHTO, MIT e ABNT (PIMENTA FILHO, 2013).	28
Figura 4: Mapa geológico da área de estudo, mostrando predomínio da Formação Serra Geral e presença de arenitos da Formação Botucatu principalmente em Rolante. O retângulo branco no mapa do Rio Grande do Sul indica a área de estudo (Modificado de WILNER, 2006).	35
Figura 5: mapa de solos da região de estudo. Modificado de Streck, 2002.	37
Figura 6: paisagem mostrando disposição e relação espacial e morfológica dos solos das Unidades Charrua (a), Ciríaco (b) e Vila (c). (Katia Marcon). Fonte: Streck (2002).	38
Figura 7: Perfil dos solos da área de estudo. Da esquerda para a direita: Unidades Bom Jesus, Ciríaco, Vila, Bom Retiro e Charrua. (Katia Marcon). Modificado de Streck (2002).	40
Figura 8: Mapa geológico da área de estudo mostrando localização dos pontos de amostragem e litologia(s) de cada.	42
Figura 9: etapas de produção de adobe. a: forma de madeira utilizada, molhada e com areia, pronta para receber mistura de terra; b: forma sendo molhada em tonel com água; c e d: lançamento de mistura de terra sobre forma mostrando técnica; e: régua de madeira retirando excesso de material; f: retirada da forma, desgrudando adobes; g: correção de imperfeições; h: adobes finalizados.	46
Figura 10: ferramentas utilizadas na preparação de amostras para análise de solo total.	48
Figura 11: processos de análise granulométrica. a: amostras após desagregação; b: separação da fração fina; c: balança utilizada para medições; d: peneiração de fração grosseira; e: provetas com material fino; f: copos com fração fina após secagem em estufa.	50

Figura 12: Ensaio de campo. a: separação granulométrica do ensaio tátil visual; b: ensaio do cordão; c: ensaio de queda da bola sobre amostra arenosa; d: ensaio de queda da bola sobre amostra com grande quantidade de argila.....	53
Figura 13: Ensaio da fita (MINKE, 2008).....	54
Figura 14: Ensaio de campo. a: ensaio do rolo; b: ensaio de resistência seca após secagem de todas amostras.	55
Figura 15: ensaio de compressão sobre adobes. a: adobe posicionado para ensaio; b e c: adobe após ensaio; d: gráfico mostrando pico de maior resistência alcançada.	57
Figura 16: bioconstrução sendo realizada no Instituto Arca Verde.	60
Figura 17: parede construída com solo cimento e garrafas.	62
Figura 18: biconstrução utilizando técnica de taipa de mão.	64
Figura 19: Croqui esquemático das amostragens realizadas e sua relação com relevo, litologias e unidade pedológica (Brasil, 1973). Círculo branco: Unidade Bom Jesus; cinza claro: Unidade Ciríaco; cinza escuro: Unidade Vila; preto: Unidade Charrua; quadrado amarelo: Unidade Bom Retiro.	66
Figura 20: pedaços de rolos secos, sobras do ensaio do rolo e usados para verificação de fissuras de retração.....	75
Figura 21: paisagem de adobes após secagem. Da esquerda para direita: adobe produzido com mistura de terra G, AV e RM.....	76
Figura 22: Diagrama triangular de classificação de sedimentos de acordo com a granulometria. Círculo cinza: AVS3; branco: AVS2; preto: AVS1; quadrado: AVM (segundo Shepard, 1954).....	79
Figura 23: Diagrama triangular de classificação de sedimentos de acordo com a granulometria. Círculo branco: RMS1; preto: RMS2; quadrado: RMM (segundo Shepard, 1954).....	80
Figura 24: Diagrama triangular de classificação de sedimentos de acordo com a granulometria. Círculo cinza: RS1; preto: FS1; branco: FS2 (segundo Shepard, 1954).	80
Figura 25: Diagrama triangular de classificação de sedimentos de acordo com a granulometria, mostrando relação entre os solos dos diferentes municípios e os solos utilizados nas misturas de terra. Quadrado: RMM, AVM e GS1; círculo branco: RMS1 e RMS2; cinza: AVS1, AVS2 e AVS3; e preto: FS1, FS2, IFS1, IFS2, MGS1, RS1. (Segundo Shepard, 1954).	81

Figura 26: comparação entre resultados do ensaio do cordão e granulometria mostrando que plasticidade acompanha aumento da quantidade de finos. Estrela: plasticidade alta; círculo branco: plasticidade alta/média; círculo cinza claro: plasticidade média; círculo cinza escuro: plasticidade baixa; círculo preto: plasticidade muito baixa, quadrado branco: plasticidade baixa/orgânica; quadrado preto: orgânica.	88
Figura 27: comparação entre resultados do ensaio da fita e granulometria mostrando que aumento no comprimento acompanha aumento da quantidade de finos. Círculo branco: comprimento entre 10 e 20 cm; cinza: comprimento entre 4 e 10 cm; preto: não foi possível realizar ensaio devido à baixa plasticidade.	89
Figura 28: comparação entre resultados do ensaio do rolo e granulometria mostrando que aumento no comprimento acompanha aumento da quantidade de argila. Cinza claro: comprimento entre 8 e 12 cm; cinza escuro: comprimento menor que 8 cm; branco: comprimento maior que 12 cm.	90
Figura 29: comparação entre resultados do ensaio da resistência seca e granulometria mostrando que aumento da resistência acompanha aumento da quantidade de argila. Branco: resistência alta; cinza claro: resistência média; cinza escuro: resistência baixa; Preto: resistência muito baixa.	91
Figura 30: comparação de fissuras em pedaços de rolo pós secagem e granulometria mostrando que aumento das fissuras acompanha aumento da quantidade de argila. Branco: fissuras com mais de 0,5 mm; cinza: fissuras com menos de 0,5 mm; preto: ausência de fissuras.	92
Figura 31: Diagrama triangular de classificação de sedimentos de acordo com a granulometria. Preto: Rolante, branco: Maquiné, cinza: São Francisco de Paula (segundo Shepard, 1954).	93
Gráfico 1: histograma de frequência simples do solo da mistura de terra de São Francisco de Paula.	68
Gráfico 2: histograma de frequência simples do solo da mistura de terra de Maquiné.	68
Gráfico 3: histograma de frequência simples do solo da mistura de terra de Rolante.	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: aditivos e estabilizantes comuns para construções que utilizam terra.	30
Tabela 2: normas técnicas sobre construções que usam solo como matéria prima.	32
Tabela 3: normas técnicas sobre construções com terra compactada não estabilizada.	33
Tabela 4: avaliação dos resultados do teste do cordão.	52
Tabela 5: Avaliação dos resultados do teste da fita.	53
Tabela 6: análise dos resultado do teste da resistência seca.	55
Tabela 7: Resumo de amostragens realizadas e relação destas com relevo, litologias e unidade pedológica.	67
Tabela 8: resultados de pesagem de adobes úmido e seco ao ar livre e grau de umidade.....	76
Tabela 9: mineralogia total e dos argilominerais dos solos. Sublinhado: argilominerais. Verde: amostras de solos utilizados em bioconstruções.....	84
Tabela 10: Comparação da classificação granulométrica laboratorial com a classificação gerada pelo ensaio tátil visual.	85
Tabela 11: resumo de características obtidas com análises, resultados com destaque positivo (verde) e resposta mais vantajosa de cada característica medida.	96
Tabela 12: características dos solos estudados importantes para bioconstrução. Destacada em amarelo características que podem trazer desvantagem no uso do solo ou requerem maior atenção.....	98

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO – *American Association of State Highway and Transportation Officials.*

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ASTM – *American Society for Testing and Materials.*

BTC – Bloco de Terra Comprimido.

CECO – Centro de Estudos Costeiros e Oceânicos.

CEF – Caixa Econômica Federal.

CIB - Conselho Internacional da Construção.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral.

FAU – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.

FB – Formação Botucatu.

FSG – Formação Serra Geral.

GER – Grupo Ecológico de Rolante.

HRB – *Highway Research Bord.*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

IDH – Índice de Desenvolvimento Humano

IFRS – Instituto Federal do Rio Grande do Sul.

IG – Instituto de Geociências.

LEME – Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais.

MCMV - Programa Minha Casa Minha Vida.

MCT - Miniatura Compactada Tropical.

MIT - *Massachusetts Institute of Technology.*

MMA – Ministério do Meio Ambiente.

NBR - Norma Brasileira Regulamentadora.

PIB – Produto Interno Bruto.

PUCRS – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

RS – Rio Grande do Sul.

SC – Santa Catarina.

SIBCS - Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.

SUCS - Sistema Unificado de Classificação de Solos.

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA / HIPÓTESES	17
1.2 JUSTIFICATIVA.....	19
1.3 OBJETIVOS.....	20
1.4 METAS.....	20
2 ESTADO DA ARTE	22
2.1 CONSTRUÇÃO CONVENCIONAL X CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS	22
2.2 TERRA, BIOCONSTRUÇÃO E A GEOLOGIA.....	24
2.3 GEODIVERSIDADES DA ÁREA DE ESTUDO.....	34
2.3.1 <i>Litologias/depósitos</i>	34
2.3.1.1 Formação Serra Geral.....	35
2.3.1.2 Formação Botucatu	36
2.3.2 <i>Solos</i>	36
2.3.2.1 Cambisol húmico aluminico típico, CHa1 (Unidade Bom Jesus) ...	38
2.3.2.2 Chernossolo Argilúvico férrico típico, MTf (Unidade Ciríaco)	39
2.3.2.3 Neossolo Litólico eutrófico chernossólico, RLe1 (Unidade Charrua)	39
2.3.2.4 Chernossolo háplico órtico típico, MXo1 (Unidade Vila).....	39
2.3.2.5 Argissolo Vermelho Distrófico arênico, PVd1 (Unidade Bom Retiro)	40
3 METODOLOGIA E ESTRATÉGIAS DE AÇÃO	41
3.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	41
3.2 PREPARAÇÃO DO CAMPO	42
3.3 ETAPA DE CAMPO.....	43
3.4 FABRICAÇÃO DE ADOBES	44
3.5 ETAPA DE PESQUISA EXPERIMENTAL	47
3.5.1 <i>Análise de solos e misturas de terra</i>	47
3.5.1.1 Mineralogia - Difractometria de Raios X.....	47
3.5.1.2 Análise granulométrica.....	49
3.5.1.3 Ensaio de campo de caracterização do material	50
3.5.2 <i>Análise dos adobes</i>	55
3.5.2.1 Ensaio de compressão.....	55

3.5.2.2	Densidade, conteúdo de água e contração	57
4	RESULTADOS.....	58
4.1	APRENDIZADO DE CAMPO	58
4.1.1	<i>São Francisco de Paula</i>	58
4.1.1.1	Amostragens	60
4.1.2	<i>Maquiné</i>	61
4.1.2.1	Amostragens	63
4.1.3	<i>Rolante</i>	63
4.1.3.1	Casa de bioconstrutor local.....	63
4.1.3.1.1	Amostragens	64
4.1.3.2	Outros locais amostrados em Rolante	64
4.1.3.2.1	Sítios na encosta basáltica.....	64
4.1.3.2.2	Instituto Federal Campus de Rolante	65
4.1.3.2.3	Morro Grande.....	66
4.1.4	<i>Resumo de amostragens</i>	66
4.2	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	67
4.2.1	<i>Misturas de terra</i>	67
4.2.2	<i>Solos de São Francisco de Paula</i>	69
4.2.3	<i>Solos de Maquiné</i>	69
4.2.4	<i>Solos de Rolante</i>	69
4.2.4.1	Encosta basáltica	70
4.2.4.2	Encosta ácidas	70
4.2.4.3	Arenito.....	70
4.3	CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA.....	70
4.3.1	<i>Solos utilizados em misturas de terra</i>	71
4.3.1.1	<i>São Francisco de Paula</i>	71
4.3.1.2	<i>Maquiné</i>	71
4.3.1.3	<i>Rolante</i>	72
4.3.2	<i>Solos potenciais de Rolante</i>	72
4.3.2.1	Arenito.....	72
4.3.2.2	Encosta basáltica	72
4.3.2.3	Encosta ácidas	72
4.4	ENSAIOS DE CAMPO	73

4.4.1	<i>Ensaio táctil-visuais</i>	73
4.4.2	<i>Ensaio da queda da bola</i>	73
4.4.3	<i>Ensaio do cordão ou consistência</i>	74
4.4.4	<i>Ensaio da fita</i>	74
4.4.5	<i>Ensaio do rolo</i>	74
4.4.6	<i>Ensaio de resistência seca</i>	74
4.5	ANÁLISE DOS ADOBES	75
4.5.1	<i>Umidade das misturas de terra utilizadas</i>	75
4.5.2	<i>Retração e densidade</i>	76
4.5.3	<i>Ensaio de compressão</i>	77
5	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	78
5.1	SOLOS	78
5.1.1	<i>Interpretações baseadas na granulometria</i>	78
5.1.1.1	São Francisco de Paula.....	78
5.1.1.2	Maquiné.....	79
5.1.1.3	Rolante.....	80
5.1.1.4	Comparações.....	81
5.1.2	<i>Mineralogia</i>	82
5.1.2.1	Minerais presentes.....	82
5.2	ENSAIOS DE CAMPO	84
5.2.1	<i>Ensaio táctil-visual</i>	84
5.2.2	<i>Queda da bola</i>	86
5.2.3	<i>Ensaio do cordão ou consistência</i>	87
5.2.4	<i>Ensaio da fita</i>	88
5.2.5	<i>Ensaio do Rolo</i>	89
5.2.6	<i>Ensaio da resistência seca</i>	90
5.3	MISTURAS DE TERRA	92
5.3.1	<i>Granulometria</i>	92
5.3.2	<i>Grau de umidade, retração e densidade</i>	93
5.3.3	<i>Compressão sobre adobes</i>	94
5.4	COMPILAÇÃO SOBRE OS SOLOS PARA BIOCONSTRUÇÃO	96
5.5	TÉCNICA CONSTRUTIVA	98
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	100

6.1 PROPÓSITO E MODIFICAÇÕES NO PROJETO DO TRABALHO	100
6.2 CONTRIBUIÇÃO PARA BIOCONSTRUTORES	101
6.3 FECHAMENTO E SUGESTÕES.....	102
APÊNDICES	107
ANEXOS	130

1 INTRODUÇÃO

1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA / HIPÓTESES

O Conselho Internacional da Construção – CIB aponta a indústria da construção civil como o setor que mais consome recursos naturais além de utilizar muita energia, e ser responsável por consideráveis impactos ambientais (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE). Além dos impactos ambientais e à saúde humana, gerados pelo uso e transporte de materiais (parcialmente tóxicos), o alto custo destas matérias primas é um fator problemático principalmente para a população de baixa renda.

Técnicas construtivas que utilizam a terra como material de construção datam de mais de 9000 anos (Minke, 2008) e são observados em diversas partes e climas do mundo. Ainda segundo Minke (2008), a terra tem como vantagens em comparação a outros materiais de construção: regulação da temperatura interior através da armazenagem de calor e estabilização da umidade; maior eficiência econômica e energética; não gera contaminação ambiental; é reutilizável; permite a autoconstrução¹; e tem a capacidade de preservar a madeira e outros materiais orgânicos.

O aparecimento de materiais como o cimento e o aço e a industrialização dos processos construtivos, fez com que o uso de terra na construção fosse relacionado à falta de recursos e de acesso à tecnologia (SANTOS, 2015). Devido à desinformação, as técnicas e os benefícios do uso destes materiais vêm sendo perdidos. O desenvolvimento de novas tecnologias, somado ao resgate de antigas técnicas, têm contribuído para estratégias mais sustentáveis para a produção da habitação, como as construções em terra² ou a bioconstrução³, e tem sido cada vez mais valorizado.

No estado do Rio Grande do Sul (RS), o uso de terra em construções é observado em casas antigas como as de origem alemã (enxaimel) e quilombolas

¹ Podem ser executadas com ferramentas simples e de baixo custo por pessoas não especializadas em construção, sendo suficiente a presença de uma pessoa com experiência orientando o processo construtivo.

² Construções que utilizam matéria prima proveniente de solo, sem queima.

³ Construções de ambientes sustentáveis através do uso de materiais de baixo impacto ambiental, adequação ao clima local e tratamento de resíduos (Brasil, 2008).

(taipa de mão ou pau-a-pique), e em construções atuais, algumas destas⁴ provavelmente utilizam como material, misturas de terra produzidas a partir de solos similares aos encontrados em Rolante (formados a partir da alteração de basaltos⁵ e de arenitos⁶). As características destes, como a proporção entre argila, silte e areia, a composição da argila, a presença de material orgânico como esterco, palha, baba de cactos e outros aditivos são determinantes para a obtenção de um material com bom desempenho. Normalmente é feita a utilização de técnicas simples e de baixo custo para definir a qualidade do material preparado (ensaios de campo). Alguns exemplos de bioconstruções em terra encontradas no RS estão nas cidades de Maquiné, São Francisco de Paula, Guaporé, Viamão, entre outras cidades do estado.

Como a terra não é um material de construção padronizado, é necessário saber sua composição específica para julgar suas características e modificá-las com aditivos se necessário (MINKE, 2008). A maior parte de trabalhos sobre construções em terra ou a bioconstrução no sul do Brasil são da área da arquitetura, com enfoque principal nas técnicas adotadas em estudos de casos. Dentro deste contexto, percebe-se o escasso conhecimento sobre o uso e as características de materiais geológicos alternativos como potenciais matérias primas para construções e a necessidade de encontrá-los em áreas próximas dos locais de demanda onde será executada habitação.

O município de Rolante está assentado sobre rochas basálticas da Formação Serra Geral (FSG) e arenitos da Formação Botucatu (FB), litologias que abrangem um grande espaço geográfico, sendo encontradas em quase 1/3 do território do RS e parte de Santa Catarina (SC). O solo oriundo do intemperismo destas rochas contém sedimentos de diferentes composições e granulometrias, características que podem ser positivas para uso como matéria prima para a bioconstrução, com baixo custo econômico e benefícios ambientais em comparação com materiais convencionais utilizados na indústria da construção civil. A comparação das características deste sedimento com materiais utilizados na bioconstrução em terra existentes em áreas próximas pode validar este potencial. Jazidas sustentáveis são

⁴ Nas cidades de São Francisco de Paula (Arca Verde) e na cidade de Maquiné (Pousada Recanto da Mata).

⁵ Formação Serra Geral.

⁶ Formação Botucatu.

o rejeito gerado por manejos na cidade, proveniente de olaria ou o solo retirado das proximidades do local onde se pretende construir, neste caso, com viabilidade maior para propriedades rurais.

Neste projeto, tem-se como hipótese de trabalho a seguinte formulação: o solo de Rolante tem alto potencial para ser usado como material de bioconstrução.

1.2 JUSTIFICATIVA

O conhecimento científico do solo, das técnicas construtivas e dos benefícios envolvidos no uso de terra em construções rompe preconceitos, facilita iniciativas sustentáveis, resgata aspectos culturais (p. ex: construções quilombolas, indígenas e alemãs) e dá suporte e informação para que órgãos públicos, privados e a população possam usar este recurso em seus empreendimentos. Portanto, auxilia na desalienação da população quanto a uma cultura que favorece elites políticas, econômicas e sociais que correm risco de perder poder e influência, uma cultura com visões consumistas e com ciências reducionistas, impulsionada por medidas econômicas equivocadas de bem-estar e progresso. Como resultado desta, temos a população isolada de conhecimentos ecológicos e holísticos (HOLMGREM, 2007).

Estudos da Fundação João Pinheiro (BRASIL, 2009 apud PROMPT, 2012), no ano de 2007 apontam que o déficit habitacional no meio rural, na região sul do Brasil, era de 85.834 unidades habitacionais, comprovando a existência de demanda por novas unidades.

Segundo o censo de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e o Produto Interno Bruto (PIB) da cidade de Rolante são baixos na comparação com os mesmos para o RS e Brasil. Além disso, 21% dos moradores da cidade residem no meio rural, ou seja, estão próximos a potenciais fontes de matéria prima. Apesar de grande parte da população ser descendente de imigrantes teuto-brasileiros, segundo o IBGE (2010), não há informações de domicílios permanentes da cidade construídos com materiais alternativos (diferentes da alvenaria e madeira) demonstrando uma perda de conhecimentos e exemplos sobre práticas construtivas que outras cidades de colonização alemã demonstram.

1.3 OBJETIVOS

Verificar se é possível e sustentável do ponto de vista geológico, ambiental e econômico, fazer uso do solo de Rolante como matéria prima para construções em terra por meio de pesquisa bibliográfica, experimental e comparação das características mecânicas, texturais e mineralógicas destes com o solo de cidades próximas com exemplos deste tipo de construção. Além disso, validar os ensaios de campo de análise de terra comparando seus resultados com os resultados analíticos de caracterização de materiais.

1.4 METAS

- 1) Caracterizar os solos de Rolante e o utilizado em construções em terra em cidades próximas: composição mineralógica, textural e ensaios de campo;
- 2) Comparar características dos solos de Rolante e solos utilizado em bioconstruções em terra em cidades próximas para verificar adequação para a construção;
- 3) Avaliar e comparar misturas de terra elaboradas a partir destes solos;
- 4) Definir a(s) técnica(s) construtiva(s), incremento orgânico, agregados e aditivos que melhor se adaptam ao solo e à geodiversidade de Rolante;
- 5) Verificar a validade dos ensaios de campo de análise de terra.

A natureza em seus caprichos e mistérios, condensa em pequenas coisas o poder de dirigir as grandes, nas sutis a potência de dominar as mais grosseiras, nas coisas simples a capacidade de eleger as complexas.

Ana Primavesi

2 ESTADO DA ARTE

2.1 CONSTRUÇÃO CONVENCIONAL X CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS

A temática da construção é importante desde os primórdios da humanidade, quando se utilizavam os recursos naturais disponíveis, como vegetação, terra e pedras, em busca de proteção às condições climáticas, animais, inimigos e até mesmo na demarcação de territórios. Com o advento do cimento, aço e da industrialização dos processos construtivos, os recursos naturais entraram em desuso e passaram a ser usados, principalmente, pelas classes mais desfavorecidas da sociedade, fazendo com que o uso de terra na construção fosse relacionado à falta de recursos e de acesso à tecnologia (SANTOS, 2015). A falta de conhecimentos sobre técnicas e benefícios das construções que usam recursos alternativos fez com que estes perdessem credibilidade devido aos problemas resultantes. Estes problemas se somaram à relação entre pobreza e uso de recursos naturais gerando um preconceito sobre o assunto.

A construção civil acompanha uma cultura que, segundo Holmgren (2007) favorece elites políticas, econômicas e sociais que correm risco de perder poder e influência, com visões consumistas e com ciências reducionistas, impulsionada por medidas econômicas equivocadas de bem-estar e progresso. Como resultado, temos a indústria da construção como o setor de atividades humanas que mais consome recursos naturais e utiliza energia de forma intensiva (CIB apud MMA) na produção de materiais, transporte e até pelo estilo de habitação moderna.

No impacto ambiental⁷ desta cadeia também podemos citar: geração de resíduos na produção de materiais e componentes, na atividade do canteiro, durante a manutenção, modernização e demolição; poluição, pela contaminação atmosférica, de solos e aquíferos; destruição de fauna, flora e paisagem; e danos diretos e indiretos à saúde humana. A produção de cimento Portland e cal libera grandes quantidades de CO₂ (JOHN, 2000), assim como a queima de terra para a fabricação de cerâmicas e alvenarias.

⁷ O impacto da construção civil, estimando-se o edificado e as atividades afins, é responsável por cerca de 40% do total de resíduos produzidos. Do total dos resíduos oriundos da construção, em um contexto internacional, cerca de 92% são atribuídos às atividades de demolição e 8% provêm de atividades da produção, manutenção ou reuso do edifício (PINHEIRO, 2006).

A cadeia da construção civil é um dos maiores consumidores de recursos naturais de qualquer economia, no entanto, o déficit habitacional é um problema sem resultados satisfatórios diante das atuais medidas e visões de combate. Ele está ligado tanto a aspectos culturais, quanto políticos e é responsável indiretamente por grandes problemas sociais como o aumento da criminalidade e de problemas de saúde.

Segundo a Caixa Econômica Federal (CEF) (2011), nas últimas décadas, o Brasil vem experimentando grandes transformações no aspecto habitacional, sendo que três fatores se destacam como causas dessas mudanças: a emigração da área rural para as cidades; o envelhecimento da população com modificações nas configurações familiares e o crescimento populacional. As migrações, a necessidade de terra e bens e os recursos naturais e financeiros insuficientes contribuem para que aumente o número de pessoas sem abrigo e de habitações inadequadas (BUDDENHAGEN, 2003). O custo elevado de produção, aliado ao alto preço da terra urbana dificulta a conquista de um domicílio digno e seguro, especialmente para a população de menor renda. (CEF, 2011). (SANTOS, 2015)

Para que a população de baixa renda e/ou do meio rural tenha habitação adequada é necessário o acesso a financiamentos e subsídios compatíveis com sua capacidade de pagamento. O não cumprimento disto gera problemas sociais como assentamentos ilegais, favelas, cortiços, loteamentos clandestinos, coabitações, etc. Outro problema está na estrutura dos programas habitacionais com características rígidas que definem faixas econômicas, materiais, especificações técnicas e forma de organização para construção de habitações baseado em escalas urbanas e padronizadas para todo o país (MAIA, 2010), sem levar em conta variações climáticas, ambientais e culturais. Estudos apontam que o Programa Minha Casa Minha Vida (MCMV), lançado em 2009, vem desencadeando impactos territoriais significativos com um padrão de inserção urbana dos projetos habitacionais que marcam a predominância de um modelo de urbanização excludente e precário na maior parte das cidades brasileiras, especialmente nas principais regiões metropolitanas (ROLNIK et al., 1999).

Atualmente o quadro de déficit habitacional no meio rural vem sendo solucionado com ajuda de programas de subsídio à habitação de interesse social específicos para este público. De acordo com Folz et al (2010) os programas habitacionais para o meio rural são adaptados de programas voltados ao meio urbano, desconsiderando os usos, costumes e culturas locais. Assim, especificidades regionais

como o clima e o contexto sociocultural são ignoradas, e são utilizados os mesmos modelos de casas em todo o território brasileiro. (PROMPT, 2012)

Na medida em que são expostos dados sobre os índices elevados de emissões de poluentes e o agravamento de problemas ambientais, movimentos contra-cultura vêm ganhando força. Na década de 70, surgiu o conceito permacultura, definido pelo australiano Bill Mollison e o estadunidense David Holmgren, visando o uso de tecnologias de uma forma holística para uso sustentável de recursos e energias, para viabilizar a permanência do homem no planeta Terra. Estas visões abrangem praticamente todos os setores da sociedade, inclusive a bioconstrução.

2.2 TERRA, BIOCONSTRUÇÃO E A GEOLOGIA

Na bibliografia encontramos diversos termos usados para designar o material usado para construção oriundo de solo ou solos, com determinadas características granulométricas e químicas, que podem conter aditivos orgânicos e/ou sintéticos, e não passou por processo de queima. Os mais comuns são: terra, terra crua, terra sem cozer e barro. Neste trabalho foi adotado o termo mistura de terra, motivado por observações quanto ao entendimento das pessoas sobre o conceito.

Solo é o material formado pelo intemperismo, por processos físicos, químicos e biológicos, principalmente sobre rochas. É constituído por elementos minerais e/ou orgânicos com características que dependem do clima, geologia, relevo, organismos e tempo.

Segundo Gonçalves e Gomes (2012), o uso de terra como material de construção é tão antigo quanto a própria humanidade e é de interesse não só para a conservação de patrimônios históricos e reabilitações habitacionais mas também em construções modernas. A construção com terra faz parte de uma cultura construtiva universal, com exemplos de construções tradicionais em todos continentes (Figura 1). Nestas, são significativas as variações quanto às técnicas e materiais utilizados, dependentes principalmente dos recursos disponíveis e variações ambientais e

climáticas.

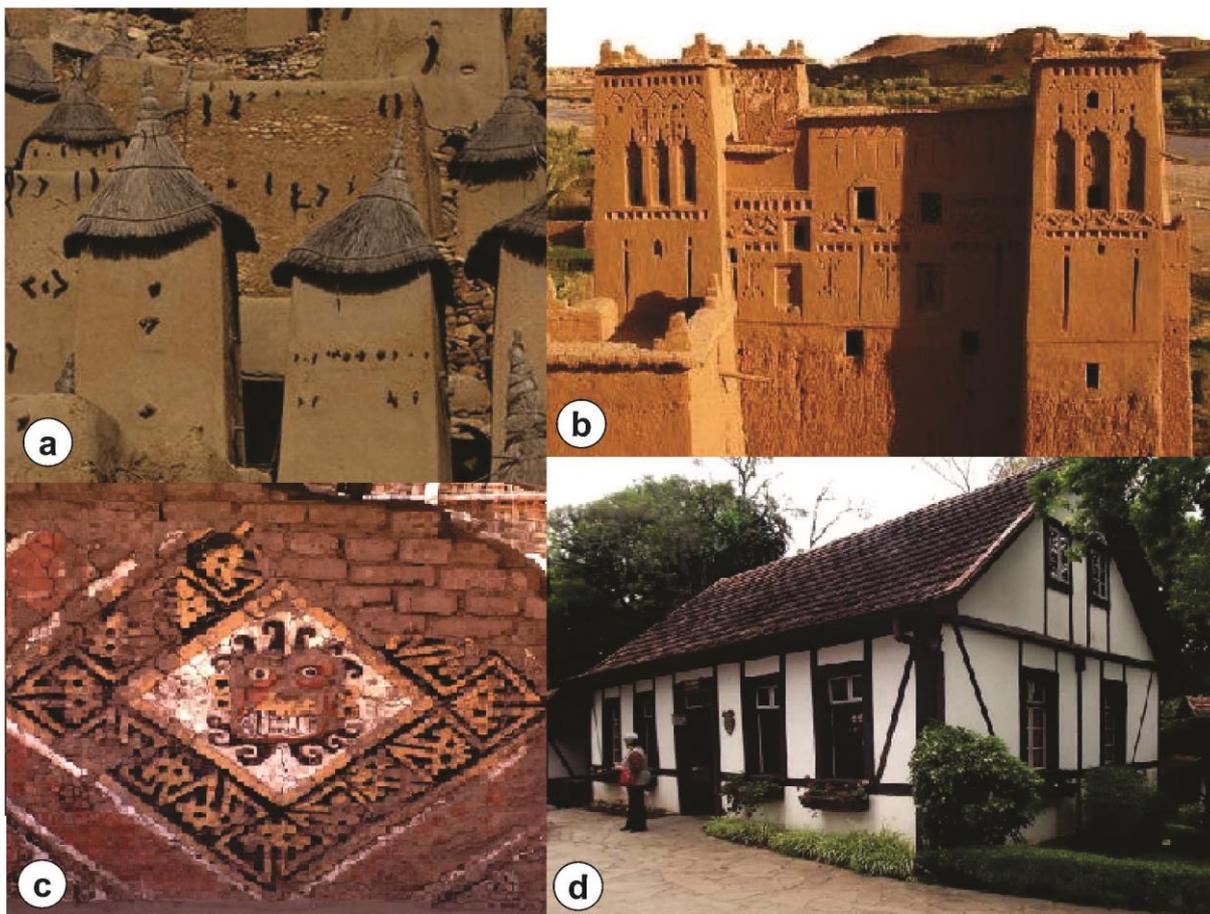


Figura 1: Construções antigas e atuais que usam a terra como material construtivo. a: Escarpas de Bandiagara, Mali, Africa (A. Wolf); b: Taos Pueblo, Novo Mexico. (Edmondo Gnerre); c: Zona arqueológica Chan Chan, Peru (Wilfredo Carazas-Aedo); d: enxaimel, Nova Petrópolis, RS, Brasil (Angelina Wittmann).

Apesar de ser difícil aferir quantas habitações em terra estejam em uso, diversos autores estimam que cerca de um terço da população mundial vive em casas de terra crua (Chiras, 2000; Reeves *et al.*, 2006; Evans, Smiley e Smith, 2002; Hall, Lindsay e Krayenhoff, 2012). Koch, Kunze e Seidl (2005) falam em 1,5 bilhão de pessoas. Minke (2001) corrobora esta informação e afirma ainda que, em países em desenvolvimento, as pessoas vivendo em casas de terra chegavam a representar 50% da população, em 2001. (SANTOS, 2015)

Na região sul do país, alguns trabalhos foram realizados, principalmente na área da arquitetura, analisando e contribuindo com construções em terra, estes dão mais enfoque às técnicas do que aos materiais. Entre estes podemos citar Prompt (2012), que analisa arquitetura em terra do oeste de SC e Penãfiel (2013) que analisa como se deu a inserção de construções em terra e inovação na criação de desenhos ontológicos na mesma região.

As vantagens do uso de terra em construções, segundo Gonçalves e Gomes (2012), são:

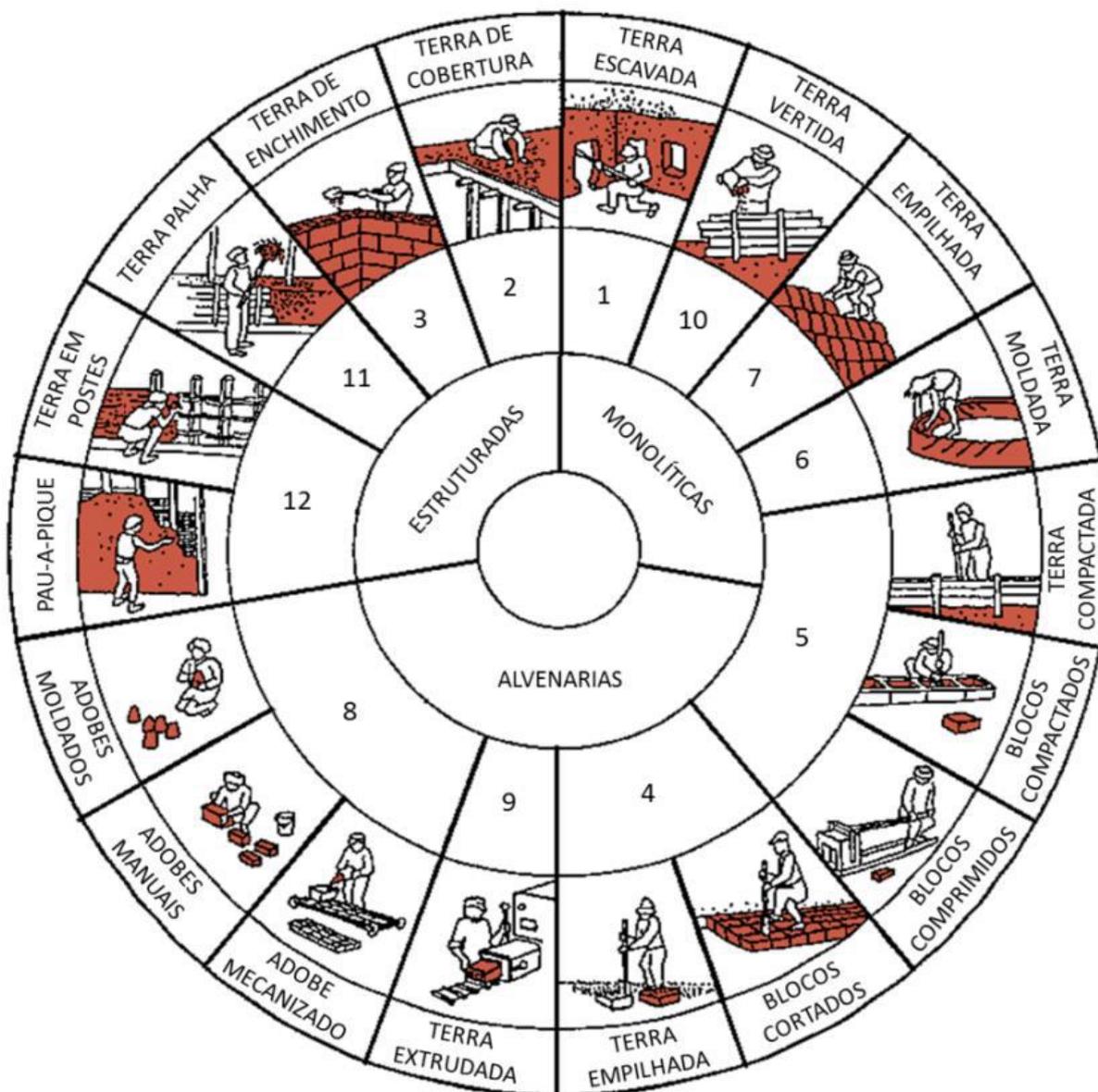
- Vantagens ambientais, com baixo consumo de energia na produção e transporte;
- Grande potencial arquitetônico, com carácter estético ilimitado;
- Conforto térmico, pela baixa condutividade e regulação da umidade;
- Isolamento acústico, pela massa significativa das paredes;
- Custos reduzidos, principalmente em condições de autoconstrução.

Minke (2008) complementa as vantagens:

- Não gera contaminação ambiental;
- É reutilizável, quando o material não é estabilizado;
- Permite a autoconstrução; e
- Tem a capacidade de preservar a madeira e outros materiais orgânicos.

As limitações normalmente apontadas são a baixa resistência sísmica e a sensibilidade à ação da água, problemas que podem ser solucionados com reforços na estrutura e utilização de fundações, embasamentos, coberturas e revestimentos para a proteção aos efeitos da água (GONÇALVES E GOMES, 2012). Minke (2008) também comenta sobre a proliferação de insetos que ocupam cavidades em habitações em terra, afirmando que este problema é resultado da falta de conhecimento sobre as possibilidades deste tipo de material.

Existem inúmeras técnicas construtivas que utilizam terra (Figura 2), cada uma com suas respectivas vantagens e limitações, que vão desde o tipo de material a ser utilizado, até o trabalho necessário para sua utilização. Esta área vem sendo alvo de muitos estudos tanto por parte da arquitetura, quanto pela engenharia. As principais técnicas utilizadas são a taipa e o adobe (LOURENÇO, 2002 apud SANTOS, 2015) mas também são frequentes o uso das técnicas COB e *cordwood* (terra moldada), superadobe (terra compactada), bloco de terra comprimida (BTC) e pau a pique. Na Figura 2 as técnicas são diferenciadas pela forma que a terra é trabalhada.



Legenda:

1 CAVAR	4 CORTAR	7 EMPILHAR	10 VERTER
2 COBRIR	5 COMPRIMIR	8 MOLDAR	11 ENFORMAR
3 PREENCHER	6 ESCULPIR	9 EXTRUDAR	12 GUARNECER

Figura 2: Técnicas de construção em terra (SANTOS, 2015 adaptado de HOUBEN e GUILLAUD, 1989).

Os solos podem ser classificados baseado em diversos fatores, conforme as necessidades da área que o estuda. Algumas dessas classificações são:

- Genética: solo residual, transportado e orgânico;
- Pedológica: dividido em horizontes – horizonte superficial, de subsolo e rochoso;

- Textural: baseado na proporção granulométrica – argiloso, siltoso e arenoso;
- Sistema brasileiro de classificação de solos (SiBCS): usado principalmente para agronomia;
- SUCS, HRB, MCT: usados principalmente na área de geotecnia e;
- Análise visual e tátil;

A classificação pedológica divide o solo em horizontes com diferentes propriedades, como cor, textura e presença de matéria orgânica. Segundo Neves et al. (2009), para uso como material de construção deve-se utilizar os horizontes b e c, horizontes sem presença de matéria orgânica.

A classificação textural se baseia nas porcentagens em massa de cada fração do solo, os limites das respectivas frações depende da escala granulométrica utilizada (Figura 3). A classificação dada a um solo leva o nome da fração com maior percentual precedida pela fração imediatamente abaixo em termos percentuais.

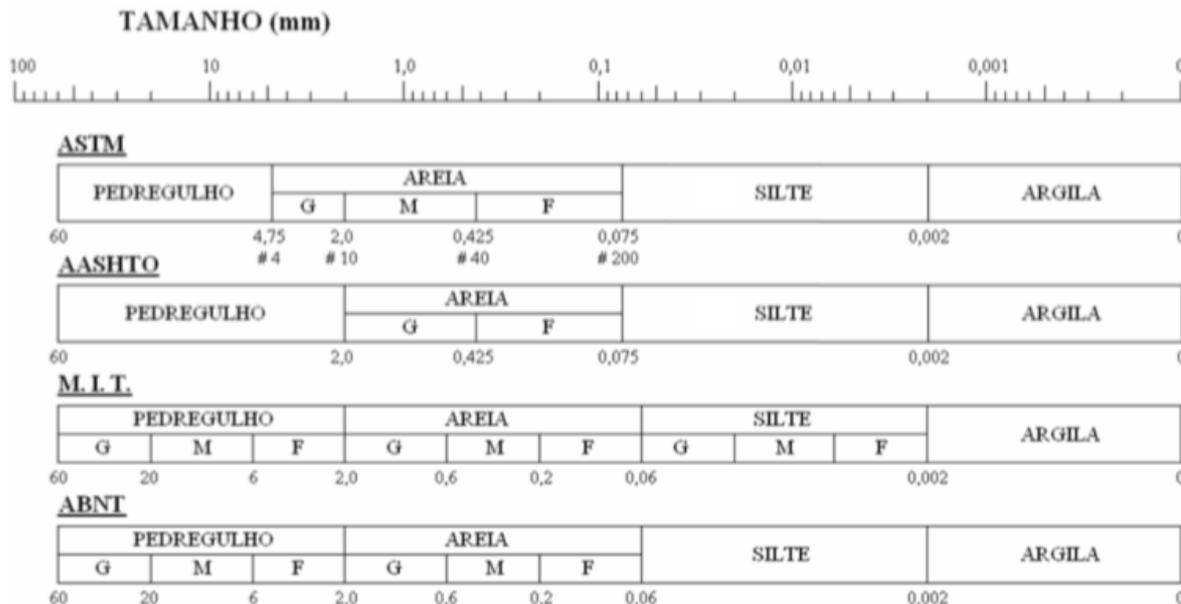


Figura 3: escalas granulométricas ASTM, AASHTO, MIT e ABNT (PIMENTA FILHO, 2013).

Em construções em terra cada partícula exerce uma função, argilas funcionam como ligantes naturais, assim como o cimento no concreto. Cada tipo de argila apresenta suas particularidades, sendo importante a determinação para verificar o tipo e a quantidade de aditivos a serem usados e definir a técnica mais

adequada. Segundo Santos (2015), as argilas mais adequadas para a construção são aquelas formadas por processos lateríticos e de caolinitização e a proporção destas no material varia entre 5 e 30%. As partículas de silte são inertes mas uma quantidade grande desta pode enfraquecer o material. Partículas de areia são responsáveis pela resistência do material quanto à compressibilidade e estabilidade de paredes. Vários tipos de aditivos podem ser utilizados (Tabela 1).

As características mais importantes da terra para construção são: textura ou granulometria; plasticidade, capacidade de compactação e coesão. Estas, dependem das características químicas e mineralógicas, principalmente quanto aos argilominerais presentes, o que torna importante estas informações. A plasticidade é a capacidade do material de se deformar sem que se rompa ou desintegre, dependendo do grau de umidade, o material pode ser líquido, plástico ou sólido (NEVES et al., 2009). A capacidade de compactação representa a pressão que pode ser aplicada sobre o material a certo grau de umidade para alcançar a maior densidade possível. A coesão é dada pela capacidade de ligação entre as partículas e depende principalmente das argilas, pelas cargas iônicas que estas apresentam.

Não se tem conhecimento sobre classificações de solo que reflitam a qualidade deste como material de construção. Como nem todos são adequados para construção e/ou limitam as técnicas, é necessário a caracterização e emprego de testes para sua avaliação e definição da técnica a ser adotada. A caracterização pode ser feita por ensaios de campo (de carácter qualitativo) ou em análises de laboratório (de carácter qualitativo e quantitativo).

Segundo Santos (2015), o Brasil ainda não dispôs normas técnicas para construções que usam terra não estabilizada como matéria prima, apenas para técnicas que utilizam solo-cimento, desta maneira, é necessário o emprego de normas técnicas internacionais (Tabela 2 e 3) para a caracterização e definição de requisitos para materiais e técnicas. A maioria destas, trata das finalidades de especificação, processo de fabricação e métodos de ensaio, e normalmente se referem a uma ou duas técnicas, muitas delas tratando especificamente de materiais estabilizados.

Tabela 1: aditivos e estabilizantes comuns para construções que utilizam terra.

Classificação por origem	Aditivos	Observações	Referências
Vegetais	* Fibras secas	Podem ser de várias espécies: de coco, sical, grama, feno, celulose, casca de arroz, etc.	Minke, 2013.
	Sumo de plantas oleosas	Podem ser de várias espécies: de agaveas, mandacarus, cactos. Deixam-se pedaços das folhas suculentas de molho em água por alguns dias até fermentar, criando um ligante.	Marigoni e Timmermann, 2015.
	* Óleo de linhaça	Existe o puro (comestível) e o sintético, com solvente químico, para tratamento de madeira. Testes de erosão com 4-6% de óleo de linhaça no reboco resultaram muito satisfatórios.	Minke, 2013.
	* Cola de farinha	Liga resultante do cozimento da farinha de trigo com água.	Minke, 2013.
	* Caseína	Proteína extraída do leite. É vendida comercialmente, mas pode ser extraída em casa.	Minke, 2013.
Animais	* Esterco	O esterco é a mistura natural entre as fibras e o sumo de plantas fermentado. Melhora a plasticidade dos rebocos. Pode ser usado fresco, fermentado ou seco e peneirado. O seco não tem odor. O esterco de vaca é melhor do que o de cavalo.	Minke, 2013.
	Urina	Usada misturada com cal. A de cavalo é a mais comum.	Minke, 2013.
Minerais	Silicato de sódio	Bom estabilizante para solos argilosos, mas deve ser diluído em água em proporções de 1.2 até 1.8. Pode ser usado como pintura.	Minke, 2013.
	Silicato de potássio	Tem sido usado para tintas.	Krotten, 2015
	* Cimento	Reage melhor com argilas lateríticas. Deve ser usado de 5-10%, porque menos do que isso na verdade reduz a resistência do reboco, porque o cimento isola as partículas de argila, bloqueando suas propriedades aglutinantes. Assim, quanto mais argila no solo, mais cimento deve ser colocado.	Minke, 2013.
Sintéticos e industrializados	* Cal	Reage melhor com as argilas montmorilonitas. A cal extinta em pasta é a melhor para rebocos, e para pinturas, é melhor se aplicarem várias camadas finas, para melhorar a absorção.	Minke, 2013.
	Cal e cimento	Como muitos solos têm os dois tipos de argila, o melhor é se usar ambos cimento e cal, na proporção de 4-6% de cada.	Minke, 2013.
	Gesso	O gesso é um bom estabilizador de solos arenosos, melhorando a resistência e acelerando a secagem. Por ser produzido a temperaturas inferiores, utiliza cerca de 14% da energia necessária para a produção de cimento e 20% da energia para a cal. Usa r 10% de gesso com 2% de cal.	Geiger, 2011
	Emulsão asfáltica	Promove alta impermeabilização para rebocos de barro: 4% em rebocos de base e 8% em rebocos de acabamento.	Minke, 2013.
	Baba de cupim	É um produto sintético desenvolvido no Brasil e usado para estabilizar leitos de estradas. Teve bom desempenho como estabilizador de adobes.	Corrêa, 2014.
	Resinas sistéticas, soloxane, silicone, etc.	São as opções mais caras entre as citadas e resultam em rebocos e selantes impermeáveis, mais usados nas paredes exteriores.	Minke, 2013.

Fonte: adaptado por Santos (2015) de Minke (2013); Corrêa (2014); (KRÖTEN ECOTINTAS, 2015).

Segundo Cid Falceto, Ruiz Mas Arron e Cañas Guerrero (2011), para a avaliação de solos normalmente se faz uso de ensaios, muitas vezes imprecisos, não quantificáveis e baseados em provas imprecisas. As propriedades mais citadas são as texturais e de plasticidade, embora também existam indicações quanto ao

conteúdo de matéria orgânica e de sais (principalmente quando se faz uso de estabilizantes). Diagramas de plasticidade e liquidez são frequentes em várias normas embora apresentem variações nos valores limítrofes e não se encontra normas quanto a propriedades como composição química e pH do solo. Algumas normas indicam realização de testes sobre os elementos construídos (ou sobre blocos individuais) e os resultados requeridos, dependendo da técnica empregada. Este enfoque é dado levando em consideração que não se tem conhecimento das relações entre o comportamento do produto (construção) e o solo utilizado.

Segundo Santos (2015), na falta de normas técnicas brasileiras, devem-se utilizar normas internacionais, no trecho abaixo exemplifica-se variações que ocorrem entre normas, neste caso abordando as fissuras resultantes da contração do material.

Conforme mencionado, a NBR 15.575:2012 traz que, quando não houver norma brasileira específica, normas internacionais podem ser utilizadas. As normas específicas para construção em terra crua da Nova Zelândia e do Zimbábue abordam a questão das fissuras. A norma do Zimbábue traz que “as fendas (...) não devem ter mais de 3,0 mm de largura e 75 mm de comprimento, e não devem ser mais de vinte por cada metro quadrado. Todas as fendas de contração devem ser reparadas ou a parede rebocada” (SAZ, 2001). Já a norma neozelandesa indica que “rachaduras que não afetem a integridade estrutural podem ser rebocadas” (SNZ, 1998a). A norma NZL 4297:1998 diz também que: “assentamentos de longo prazo não devem prejudicar a manutenção da superestrutura por rachaduras ou movimento” (SNZ, 1998a). Assim, as causas das fissuras podem ser identificadas. (SANTOS, 2015)

Tabela 2: normas técnicas sobre construções que usam solo como matéria prima.

Ano	País	Normas
1979	Peru	NTP 331.201; 331.202; 331.203
1980	Índia	IS 2110
1982	Índia	IS 1725
1985	Turquia	TS 537; 2514; 2515
1986	Brasil	NBR 8491; 8492
1989	Brasil	NBR 10832; 10833
1990	Brasil	NBR 12025
1992	Brasil	NBR 12023; 12024
1993	Índia	IS 13827
1994	Brasil	NBR 10834; 10835; 10836
1996	Brasil	NBR 13554; 13555; 13553
	Regional África	ARS 670-683
	Tunísia	NT 21.33; 21.35
1997	Nigéria	NIS 369
1998	Nova Zelândia	NZS 4297; 4298
1999	Nova Zelândia	NZS 4299
	Quênia	KS 02-1070
2000	Peru	NTE E 0.80
2001	França	XP P13-901
	Zimbábue	SAZS 724
2004	Colômbia	NTC 5324
	EUA	NMAC 14.7.4
	Itália	Ley n° 378, 2004
2006	Itália	L. R. 2/06
2008	Espanha	UNE 41410
2009	Sri Lanka	SLS 1382-1; 1382-2; 1382-3
2010	EUA	ASTM E2392 M-10

Fonte: adaptado por Santos (2015) de Cid, Mazarron e Guerrero (2011).

Tabela 3: normas técnicas sobre construções com terra compactada não estabilizada.

Projeto								
Construção		x		x				x
Fabricação				x				
Ensaio		x		x				x
Requisitos dos produtos		x						x
Seleção de solos		x		x				x
Campo de aplicação		Regulamento de construção	Guia para construção de sistemas com terra	Projeto estrutural e durabilidade das edificações com terra.	Caracterização dos materiais e especificações de construção para o uso da terra crua. Procedimentos de ensaios.	Requisitos de projeto e construção para adobes blocos comprimidos ou taipa que não necessitem de projeto específico.#	Guias para o projeto, construção e ensaios para estruturas de taipa.	
Ref. Técnica		Adobes, blocos de terra comprimida e taipa	Adobe, taipa	Adobes, blocos de terra comprimida, taipa e terra vertida	Adobes, blocos de terra comprimida e taipa	Adobes, blocos de terra comprimida e taipa	Taipa	
Ano		2004	2011	1998	1998	1999	2001	
Norma/regulamento		NIMAC, 14.7.4, 2004	ASTM E2392 M-10	NZS 4297	NZS 4298	NZS 4299	SAZS 724	
País/Grupo		Estados Unidos da América			Nova Zelândia		Zimbábue	

Fonte: 1) Cid (2004) 2) ASTM (2010) 3) SNZ (1998a) 4) SNZ (1998b) 5) SNZ (1999) 6)SAZ (2001). Quadro adaptado por Santos (2015) de Cid, Mazarron e Guerrero (2011).

2.3 GEODIVERSIDADES DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende três municípios vizinhos do estado do RS. Embora o foco seja dado para Rolante, o conhecimento das geodiversidades sobre os outros dois municípios também é necessário, já que foi realizada comparação entre os solos. Segue abaixo descrição da litologia/depósitos, e solo presentes na área de estudo.

2.3.1 *Litologias/depósitos*

De acordo com mapas da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), os municípios estudados apresentam poucas diferenças litológicas, havendo predomínio das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral e maior quantidade de arenitos da Formação Botucatu (ambas formações pertencentes à Bacia do Paraná) em Rolante na comparação com os outros municípios. Maquiné, que faz parte da microrregião do litoral norte gaúcho, apresenta depósitos de barreira holocênicos, de planície de inundação e de turfeiras. Os depósitos inconsolidados presentes nos municípios são de colúvio-aluvionares, aluvionares, alúvios e colúvios, eles quase não aparecem em São Francisco de Paula (Figura 4).

Os títulos de mineração, de acordo com o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), são de pesquisa ou licenciamento de areia, basalto, saibro, argila, cascalho e antracito (os dois últimos somente em Maquiné). Ainda, segundo a CPRM, Rolante apresenta mina de argila aluvionar (Barreira do Bruno Bockmann), e Maquiné, mina de basalto e areia.

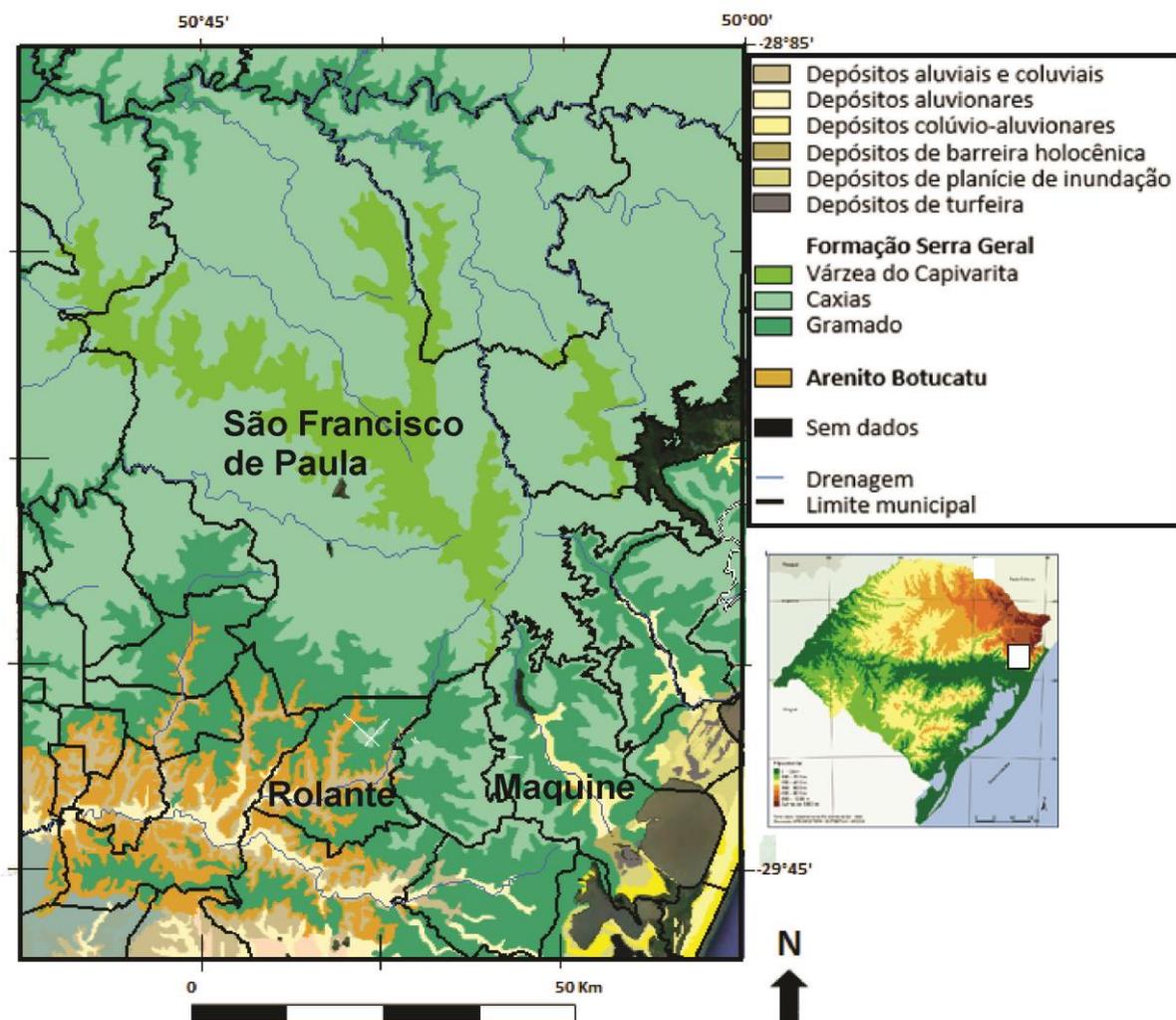


Figura 4: Mapa geológico da área de estudo, mostrando predominância da Formação Serra Geral e presença de arenitos da Formação Botucatu principalmente em Rolante. O retângulo branco no mapa do Rio Grande do Sul indica a área de estudo (Modificado de WILNER, 2006).

2.3.1.1 Formação Serra Geral

Representa as rochas vulcânicas da Bacia do Paraná, recobrendo cerca de 75% desta. Com idade de 133-132 Ma (RENNE et al., 1992; TURNER et al., 1994 e RENE et al., 1996 apud MACHADO et al., 2005), possui caráter toleítico e predominância de rochas básicas, embora ocorram termos ácidos a intermediários. É constituída por derrames de lavas e intrusões como diques e sills. Na área de estudo são identificadas duas fácies: Gramado e Caxias.

A fácies Gramado ocorre nos derrames da base da sequência da Fm Serra Geral, com espessura média de 450 m. É definida como derrames basálticos finos a médios, melanocráticos cinza, horizontes vesiculares preenchidos por zeólitas,

carbonatos, apofilitas e saponita. São comuns estruturas de fluxo e pahoehoe, além de intercalação com arenitos da Formação Botucatu. (MILANI, 1997)

A fácies Caxias ocorre como derrames ácidos posicionados estratigraficamente acima das rochas da Fácies Gramado. É definida como derrames maciços, granulares finos a microfaneríticos, de coloração cinza e com horizontes superiores com disjunção tabular regular (BORSATTO, 2015). Aflora no topo dos morros mais altos de Rolante e em São Francisco de Paula.

2.3.1.2 Formação Botucatu

Arenitos oriundos de ambiente desértico (depositado por ação eólica), com frequentes estruturas de estratificação cruzada tangencial de grande porte. Unidade basal do Grupo São Bento, tem idade referente ao Jurássico e ampla distribuição, ocupando área de 1.300.000 km², compreendendo áreas no Brasil, Uruguai, Paraguai e África. Apresenta granulação fina a média, grãos bem selecionados, bem arredondados, foscos e com alta esfericidade. Com coloração vermelha, rosa ou amarelo-clara é composto por quartzo e localmente feldspatos. Seu contato superior se dá com as rochas da Formação Serra Geral, em contatos concordantes e discordantes, enquanto o contato inferior, com a Formação Pirambóia, é erosivo em escala regional. (SOARES et al, 2008) Na área de estudo somente pode ser observado o contato superior.

Apresenta cotas variando em dezenas de metros, causadas tanto pela morfologia das dunas quanto pela presença de blocos estruturais controlados por falhamentos (BORSATTO, 2015).

2.3.2 Solos

Na área de estudo, com base nos estudos de Streck (2002), são reconhecidos e classificados⁸ cinco tipos de solo (Figura 5): Cambisol Húmico aluminoso típico, CHa1 (Unidade Bom Jesus⁹), Chernossolo Argilúvico férrico típico, MTf (Unidade Ciríaco) – Neossolo Litólico eutrófico chernossólico, RLe1 (Unidade

8 Segundo o sistema brasileiro de classificação de solos (EMBRAPA – CNPS, 1999).

9 Unidade de mapeamento (Brasil, 1973).

Charrua), Chernossolo háplico órtico típico, MXo1 (Unidade Vila), Argissolo Vermelho Distrófico arênico, PVd1 (Unidade Bom Retiro).

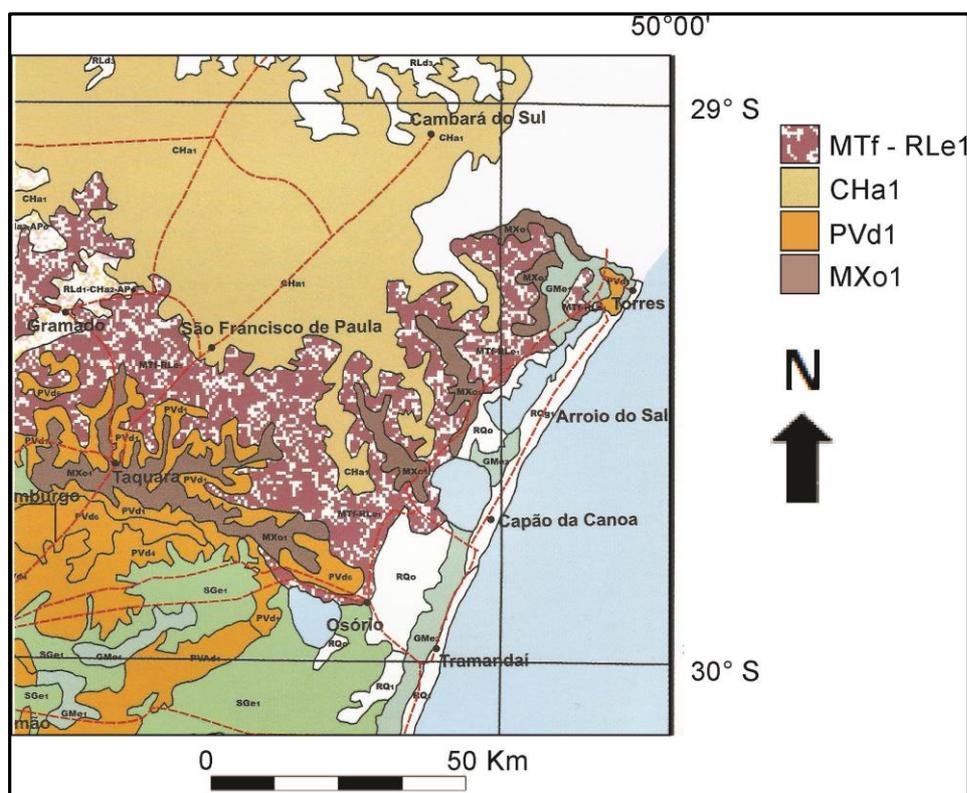


Figura 5: mapa de solos da região de estudo. Modificado de Streck, 2002.

Comparando o mapa litológico com o mapa de solos da região se percebe que a disposição destes solos na região se deve principalmente à rocha mãe e relevo local. Pode-se identificar e resumir desta forma, uma sucessão, onde temos da base para o topo: Unidade Vila, com depósitos espessos, de sedimento transportado, ocorre em vales, com sedimento oriundo do arenito e das rochas da Formação Serra Geral; Unidade Bom Retiro, com depósitos residuais, ocorre em encosta suave e tem sedimento proveniente principalmente do arenito; Unidade Ciríaco, depósitos residuais em encostas suaves a íngremes, com sedimento proveniente do basalto da Fm Serra Geral; Unidade Charrua, com depósitos rasos, residuais e transportados, ocorre em relevos íngremes e tem sedimento proveniente dos basaltos e das rochas ácidas da Formação Serra Geral (Figura 6); Unidade Bom Jesus, com depósitos residuais, ocorre em relevo ondulado e encostas pouco íngremes, com sedimento proveniente das rochas ácidas da Formação Serra Geral e com grande quantidade de matéria orgânica no nível superficial.



Figura 6: paisagem mostrando disposição e relação espacial e morfológica dos solos das Unidades Charrua (a), Ciriaco (b) e Vila (c). (Katia Marcon). Fonte: Streck (2002).

A descrição a seguir, dos cinco tipos de solo (Figura 7), é baseada em Streck et al. (2002), KÄMPF et al. (2008) e EMBRAPA (2006).

2.3.2.1 Cambisolo Húmico aluminico típico, CHa1 (Unidade Bom Jesus)

Associado com Neossolos litólicos é um solo em transformação e/ou em processo incipiente de formação. Se forma em ambiente de alta pluviosidade e baixas temperaturas, favorecendo a acumulação de matéria orgânica. Com profundidade maior que 1,5 m, ocorre em relevo ondulado ou muito ondulado, com declives de 8 a 15%. Apresenta comumente fragmentos de rochas demonstrando o baixo grau de alteração. Extremamente ácidos, com Al trocável $\geq 4\text{cmol}_c/\text{kg}$; saturação por Al $\geq 50\%$, apresentam perfil com sequência de horizontes A-Bi¹⁰-C ou O-A-Bi-C, sendo o horizonte A húmico.

¹⁰ Horizonte B que não apresenta os quesitos para B textural ou B latossólico mas com desenvolvimento de cor e estrutura suficiente para ser distinguido dos horizontes A e C.

2.3.2.2 Chernossolo Argilúvico férrico típico, MTf (Unidade Ciríaco)

Originado de basalto, ocorre associado a neossolos Litólicos eutróficos, em áreas de pequena extensão em encostas, com relevo ondulado a fortemente ondulado (Figura 7). Apresenta coloração escura dada pela presença de matéria orgânica e elevado teor de ferro ($\geq 18\%$), profundidade rasa até profunda, alta fertilidade química (saturação por bases $\geq 65\%$), alta CTC em todo perfil e horizontes numa sequência A-B-C. O horizonte A é do tipo chernozêmico¹¹ e o horizonte B é textural ou nítico.

2.3.2.3 Neossolo Litólico eutrófico chernossólico, RLe1 (Unidade Charrua)

Com Formação muito recente apresenta-se pouco desenvolvido, com profundidade menor que 50 cm. Ocorre em encostas de relevo acentuado, associado a Chernossolos Argilúvicos férricos típicos, com perfil apresentando sequência de horizontes AR, ou A-C-R, ou O-R, ou H-C. Apresenta alta saturação por bases ($\geq 50\%$) e horizonte A chernozêmico.

2.3.2.4 Chernossolo háplico órtico típico, MXo1 (Unidade Vila)

De coloração escura, apresenta profundidade maior que 1m e ocorre em relevos planos e suavemente ondulados (Figura 7), nas várzeas encaixadas dos rios da Encosta Inferior do Nordeste (Rios Toropi, Pardo, Taquari, Caí, dos Sinos e seus afluentes) e nas margens dos Rios Maquiné, Três Forquilhas e Mampituba. Com suscetibilidade a inundações, possui alta fertilidade química (saturação por bases $\geq 65\%$), alta CTC em todo perfil e sequência de horizontes A-B-C. Sem horizonte B textural ou nítico, o horizonte A é do tipo chernozêmico.

¹¹ Característica que identifica classe dos Chernossolos. Presente em ambiente com baixa lixiviação e acidez, alta saturação por bases ($V \geq 65\%$, com predomínio de cálcio), boa fertilidade química e teor de matéria orgânica razoável.

2.3.2.5 Argissolo Vermelho Distrófico arênico, PVd1 (Unidade Bom Retiro)

Geralmente profundos, com mais de 1,5 m de profundidade, ocorre em relevo ondulado até fortemente ondulado e é bem drenado. Apresenta, no perfil, sequência de horizontes A-Bt-C ou A-E-Bt-C, mudança textural abrupta entre A ou A+E (arenoso), e o horizonte B, que inicia entre 50 e 100cm de profundidade e é argiloso. Com saturação por bases menor que 50%, possui alta suscetibilidade à erosão e degradação por conta do horizonte superficial ser arenoso, permitindo infiltração, a mudança abrupta para um horizonte de baixa permeabilidade, alta acidez e baixa fertilidade.

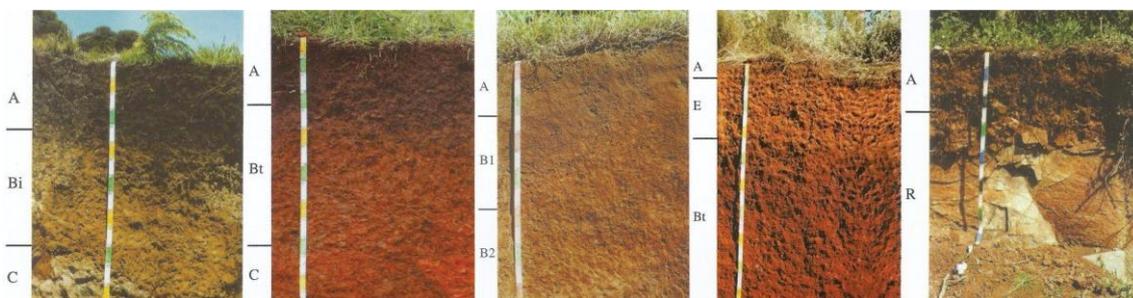


Figura 7: Perfil dos solos da área de estudo. Da esquerda para a direita: Unidades Bom Jesus, Ciriaco, Vila, Bom Retiro e Charrua. (Katia Marcon). Modificado de Streck (2002).

3 METODOLOGIA E ESTRATÉGIAS DE AÇÃO

Os procedimentos metodológicos empregados neste projeto visaram principalmente a análise de solos dos municípios de Rolante, Maquiné e São Francisco de Paula, e avaliação das características e do potencial da mistura de terra, obtida através destes, para uso na bioconstrução. Como foram realizados diferentes tipos de análises, a comparação entre essas permite verificar a competência de cada um na análise de solos.

3.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

A pesquisa bibliográfica foi realizada através de investigação em normas técnicas brasileiras e internacionais, artigos científicos, livros e com entrevistas sobre os seguintes assuntos:

- Construções e exemplares da bioconstrução que utilizam terra como matéria prima, observando: técnicas construtivas; tipos de materiais, misturas e aditivos; ensaios de campo (qualitativo) e laboratoriais (qualitativo e quantitativo) para análise de terra, materiais construtivos e construções; histórico de construções na região.
- Pedologia, metodologias de amostragem e características para classificação de solos.
- Geodiversidades (geologia, clima, declividade de terreno, pluviosidade, taxa de humidade, etc) da área de estudo.
- Potenciais fontes de baixo custo para obtenção de matéria prima em Rolante, importante para verificar viabilidade e benefícios econômico e ambiental relacionado à proximidade entre matéria prima e local de demanda.

3.2 PREPARAÇÃO DO CAMPO

Para a definição dos pontos de amostragem foi realizado contato com bioconstrutores de São Francisco de Paula (Instituto Arca Verde), Maquiné (Pousada Recanto da Mata) e Rolante, o Grupo Ecológico de Rolante (GER) e o Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRS), Campus Rolante. Com o auxílio destes e a partir da pesquisa bibliográfica foram definidos sete pontos de amostragem, levando em consideração a litologia presente, e provavelmente formadora do solo, segundo o mapa da CPRM (2006), e a topografia, da Folha de Gravataí, com o objetivo de representar a variedade de solos do município. O único ponto definido durante a etapa de campo foi o ponto MG, definido junto a um morador local (Figura 8), todos outros foram definidos durante a preparação.

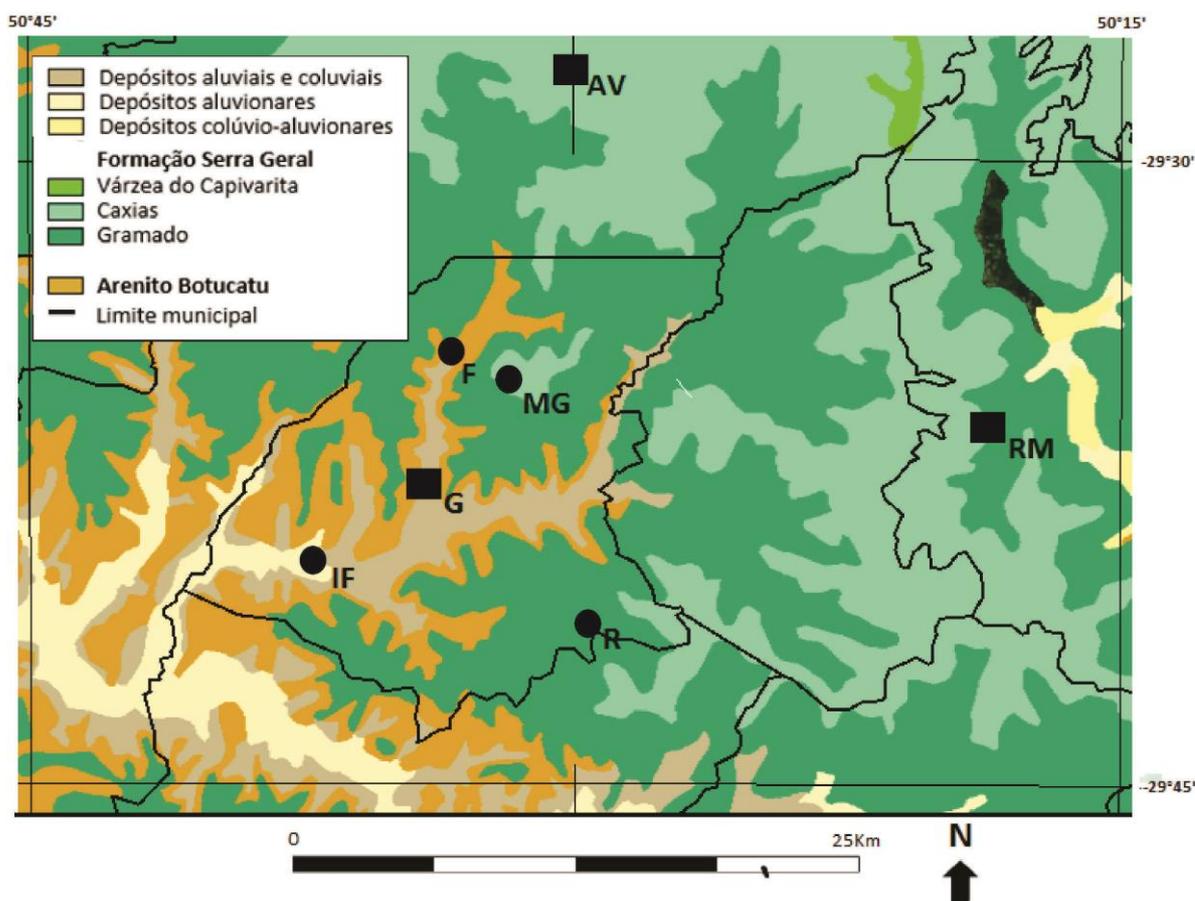


Figura 8: Mapa geológico da área de estudo mostrando localização dos pontos de amostragem e litologia(s) de cada. Os círculos pretos identificam os pontos de amostragem de solo, os retângulos identificam os pontos de amostragem de solo e mistura de terra. AV: ponto de São Francisco de Paula; RM: ponto de Maquiné; F, IF, G, MG e R: pontos de Rolante. (Modificado de WILDNER, 2006).

Os estudos sobre construção em terra, pedologia e classificação de solo foram utilizados para a definição das metodologias de análise das amostras. A partir destas foi calculada a quantidade de amostra necessária, organizada a logística, os equipamentos e os materiais necessários ao campo e foi elaborada uma ficha de amostragem de campo (Apêndice A).

3.3 ETAPA DE CAMPO

A etapa de campo foi realizada nas cidades de Rolante (5 pontos), Maquiné (1 ponto) e São Francisco de Paula (1 ponto), entre os dias 3 e 6 de maio de 2017. Com a participação das orientadoras Márcia e Maria Lídia, do aluno de graduação em geologia Max Albers e do autor, foram realizadas 12 amostragens de solo, correspondente a cerca de 5 L de material, e fabricadas três misturas de terra, correspondente a cerca de 30 L de material. As misturas de terra são massas utilizadas em construções, obtidas através da mistura de um ou mais de um tipo de solo, água e aditivos. Os componentes que formam cada mistura de terra amostrada faz parte dos resultados da etapa de campo e se encontram no capítulo Resultados. As misturas foram amostradas para mostrar o potencial construtivo dos solos. Todas amostras foram acondicionadas em sacos plásticos bem fechados, visando a permanência da umidade, principalmente para as misturas.

Nos pontos onde existem exemplos de bioconstrução, os bioconstrutores, com o conhecimento local, indicaram o local onde extraem o solo para usar como matéria prima. As amostragens de solo foram realizadas nestes locais. Com o auxílio e orientação destes também foram fabricadas as misturas de terra.

Os outros pontos foram amostrados de acordo com a leitura da paisagem, levando em consideração as variedades de solo encontradas, a disponibilidade e a presença de matéria orgânica, que foi evitada quando possível. Quando observada variação significativa nas propriedades do solo de um mesmo ponto, foram realizadas mais de uma amostragem. Este é o caso do ponto F, onde se observou um solo argiloso e outro arenoso e o ponto IF, onde havia variação na cor e textura.

Foi realizada entrevista não estruturada com moradores de habitações com aplicação de técnicas de bioconstrução de terra para aquisição de informações

principalmente sobre bioconstrução e como observam a opinião das pessoas sobre estas. A maior parte das entrevistas não estruturadas e dos processos de fabricação de misturas de terra foi registrado por gravações de áudio, vídeo e fotos.

3.4 FABRICAÇÃO DE ADOBES

Adobe é um “tijolo” fabricado de forma artesanal, utilizando forma, normalmente de madeira, e seco ao ar livre. Esta técnica foi utilizada por que as características dos adobes representam as qualidades/peculiaridades das construções que utilizam a mesma mistura de terra, servindo indiretamente para a avaliação dos estudos de casos. Para melhorar a confiabilidade dos resultados obtidos, foram produzidos 5 unidades de cada mistura de terra.

Esta etapa foi realizada no canteiro experimental da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU) da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), no dia 08 de maio de 2017. Contou com a orientação do professor e arquiteto Márcio Rosa D’Avila e o auxílio da aluna de iniciação científica da FAU Anna Luiza Spotorno Bighelini e utilizou formas de madeira com medidas de 11 X 15 X 21cm (Figura 9a), tonel de água e areia média.

Primeiramente a forma é mergulhada dentro do tonel com água (Figura 9b) e é “salpicado” areia média, lançada contra as bordas internas da forma, de forma a se preencher a parte interna e impedir que a mistura de terra se adere na madeira. Esta etapa é realizada sempre antes de se colocar a mistura na forma.

A forma é disposta em local plano no chão e a mistura de terra é lançada dentro dela, procurando preenchê-la homogeneamente com um movimento único e forte para que fique bem compactado, o movimento finaliza com as mãos sobre a forma para firmá-la (Figura 9c e 9d). Caso falte material para preencher a forma, se coloca mais e se compacta com as mãos. Para alisar a face superior do adobe e retirar o excesso, passa-se a régua, com movimentos contínuos, horizontais, de um lado ao outro (Figura 9e).

Após realizar este processo em todos os espaços da forma (neste caso três) retira-se a forma. Flexionando os joelhos, apoiando os cotovelos nos joelhos e segurando firme as alças da forma, vagarosamente ela é levantada e vibrada para

desgrudar os adobes (Figura 9f). Após, com pequenas batidas realizadas com a régua, são arrumadas algumas imperfeições que possam ter ficado nas faces laterais do adobe (Figura 9g).

Foram fabricadas cinco unidades de adobe para cada mistura de terra (Figura 9h). Cada uma foi identificada, pesada e deixada numa mesa em local arejado, protegido de chuva e sol no mesmo local da fabricação.

Durante a fabricação, duas formas quebraram por excesso de força no momento de lançar a mistura de terra, demonstrando a importância de uso de técnica específica.

A produção foi realizada dois dias após a saída de campo. Como as amostras não foram expostas ao sol e não demoraram a serem utilizadas, as amostras foram retiradas do saco plástico em bandeja e homogeneizadas sem modificar a umidade do momento de elaboração das misturas com bioconstrutores.



Figura 9: etapas de produção de adobe. a: forma de madeira utilizada, molhada e com areia, pronta para receber mistura de terra; b: forma sendo molhada em tonel com água; c e d: lançamento de mistura de terra sobre forma mostrando técnica; e: régua de madeira retirando excesso de material; f: retirada da forma, desgrudando adobes; g: correção de imperfeições; h: adobes finalizados.

3.5 ETAPA DE PESQUISA EXPERIMENTAL

Foram analisados três objetos nesta etapa: solos, misturas de terra e adobes. Os resultados desta etapa permitiram verificar a adequação destes solos para construções em terra, definir as técnicas construtivas e de mesclas de terra mais adequadas na área de estudo e comparar os solos de Rolante e dos outros dois locais tomados como referências.

A seguir estão descritos os métodos utilizados para cada objeto.

3.5.1 *Análise de solos e misturas de terra*

As análises das amostras de solo e misturas de terra têm o objetivo de avaliar e caracterizar aspectos relacionados à plasticidade, capacidade de compactação, coesão e textura. Através de métodos diretos e indiretos, quantitativos e qualitativos permitem a avaliação do potencial destes para uso como material para a bioconstrução. As amostras de solo foram homogeneizadas em laboratório logo após o campo, antes de qualquer análise.

3.5.1.1 Mineralogia - Difractometria de Raios X

Realizado no Laboratório de Difractometria de Raios X do CPGq-IG-UFRGS, sobre as amostras de solo, utilizando um difratômetro SIEMENS BRUKER AXS Modelo D5000 com goniômetro θ - θ . A radiação é $K\alpha$ em tubo de Cobre nas condições de 40 kV e 25 mA. Utilizada para caracterização mineralógica, visando principalmente a identificação dos argilominerais presentes.

Foram realizados dois tipos de análise: análise de solo total, onde se analisa o pó da amostra completa e é possível a identificação de todos minerais presentes, para isso utiliza-se uma amostra desorientada; e análise dos argilominerais, onde é realizada a separação da fração menor que $4\mu\text{m}$ e é analisada uma lâmina com os argilominerais orientados. Para cada análise é realizada uma preparação diferente da amostra.

A preparação das amostras para solo total e argilominerais começa com a secagem em estufa a temperatura abaixo de 40°C . Após, a amostra para solo total é

triturada com uso de graal e pistilo de porcelana ou ágata, peneirada e pulverizada a 200 mesh sobre lâmina (Figura 10). A amostra para argilominerais é colocada em garrafa com água deionizada e deixada no mínimo 24 horas em misturador. A amostra é colocada em dispersor e em seguida em recipiente para decantação. Através do uso da lei de Stokes é calculado o tempo de decantação e após o tempo devido, a parte superior da amostra, contendo a fração menor que $4\mu\text{m}$, é retirada. A fração separada é disposta em duas lâminas que são analisadas em sua forma natural, glicolada e calcinada.



Figura 10: ferramentas utilizadas na preparação de amostras para análise de solo total.

A identificação mineral é realizada com a comparação das distâncias interplanares e intensidade relativa de cada pico do difratograma com um banco de dados no computador, contendo espectros correspondentes para cada mineral.

Esta metodologia é semiquantitativa e de alta precisão na identificação mineral. Não detecta constituintes com menos de 5% e só detecta estruturas cristalinas. O principal cuidado, necessário para se obter resultados confiáveis, está no momento da preparação das amostras, para que não haja qualquer contaminação.

Foram analisadas com esta metodologia 12 amostras de solo.

3.5.1.2 Análise granulométrica

Realizado no Laboratório de sedimentologia do Centro de Estudos Costeiros e Oceânicos (CECO)-IG-UFRGS, visa à caracterização da composição granulométrica dos solos e das misturas.

A preparação começa com secagem em estufa a temperatura de 50°C, onde as amostras ficam em recipientes abertos. Após secagem é feita a desagregação do material (Figura 11a), com quebra de torrões, utilizando graal e pistilo com ponta emborrachada e desagregador elétrico de mandíbula, utilizado em solos com granulometria mais homogênea e tamanho menor que areia grossa (Amostras IFS1, FS1, RMS1 e GS1). Uma fração de cada amostra é separada, cerca de 30 mL, pesada e deixada com água destilada, por 8 h no mínimo. A fração grossa é separada da fração fina utilizando-se água destilada e peneira de 0,062 mm (Figura 11b).

A água e o material fino que passam pela peneira são colocados em uma proveta até que alcancem a marca de 1 L (Figura 11e). Adiciona-se em torno de ¼ de uma colher de chá rasa com antifloculante, mexe-se a mistura e após 2 h e 3 minutos é retirado, com pipeta, 20 mL da mistura, 10 cm abaixo da superfície, colocado em um copo de vidro, previamente pesado, e em seguida para secar em estufa a 50°C. Após secagem é feita pesagem dos copos com material fino e descontado o peso do copo (Figura 11f).

A fração grosseira é colocada em um copo de vidro e deixada em estufa a 60°C, após, é pesada e peneirada com jogo de peneiras com aberturas de 7,98, 4, 2, 1, 0,5, 0,25, 0,125 e 0,062 mm (Figura 11d). Cada fração retida é pesada. Baseada na metodologia descrita em Wentwort (1922) e Krumbein (1934), internacionalmente reconhecidas, a confiabilidade dos resultados se deve principalmente à experiência do técnico do laboratório, Gilberto dos Santos, que acompanhou todo processo de preparação e análise e mostrou os cuidados necessários para evitar contaminação dos materiais e realizar medidas de forma precisa.

Foi utilizada balança com resolução de 0,0001g (Figura 11c).

Para analisar estes resultados, os dados foram plotados em histograma de frequência simples e no diagrama de Shepard (1954). Este diagrama representa em um triângulo os percentuais de areia, silte e argila, sendo necessário recalculá-los

percentuais originais caso a amostra apresente constituintes com tamanho maior que areia grossa (2 mm).

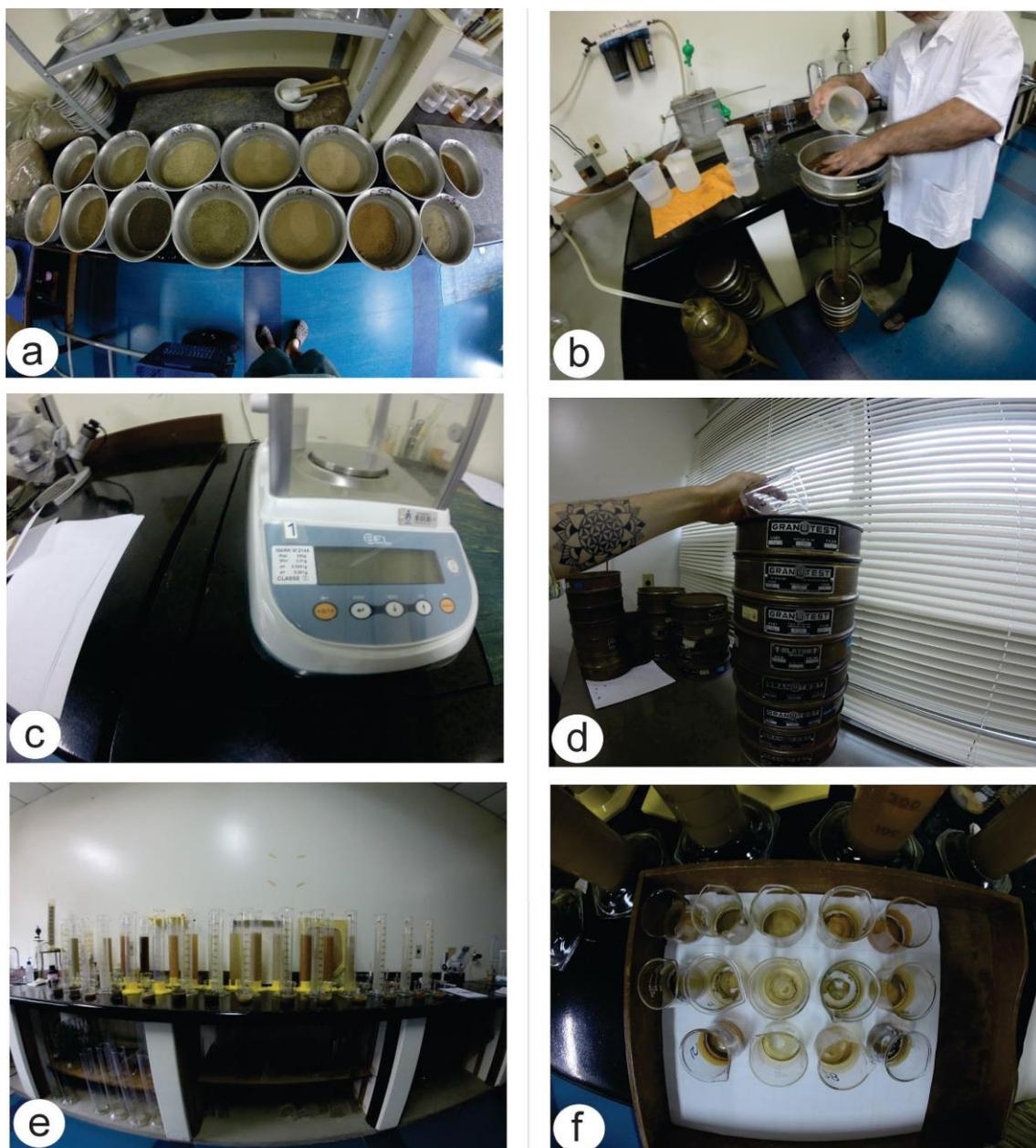


Figura 11: processos de análise granulométrica. a: amostras após desagregação; b: separação da fração fina; c: balança utilizada para medições; d: peneiração de fração grosseira; e: provetas com material fino; f: copos com fração fina após secagem em estufa.

3.5.1.3 Ensaios de campo de caracterização do material

Estes ensaios são utilizados para analisar características do solo de forma relativamente rápida e com utilização de poucas ferramentas. Simples, rápidos e de baixo custo, são baseados na observação e experiências, servindo para caracterizar

de forma qualitativa, ou imprecisamente quantitativa, diferentes aspectos do solo e mistura principalmente quanto à sua coesão e textura.

Os resultados obtidos nestes testes em conjunto com as outras análises permitem uma melhor observação sobre a validade e potencial desta metodologia. O conhecimento sobre a funcionalidade de ensaios de campo, de fácil execução, facilita a utilização de solos em bioconstrução de terra por pessoas sem conhecimento específico sobre o assunto ou recursos para análises detalhadas das propriedades dos materiais a disposição.

Foram escolhidos seis ensaios de campo descritos em Minke (2008) e/ou Neves (2010), são estes: ensaio táctil visual, de queda da bola, do cordão, da fita, do rolo e de resistência seca.

- Ensaio táctil visual:

A análise granulométrica foi definida por observação visual do tamanho das partículas, brilho e tato. Para a análise visual a amostra é espalhada em superfície plana e com as mãos separa-se os grãos visíveis a olho nu (Figura 12a). Se a quantidade separada for maior o solo é arenoso, caso contrário, é siltoso ou argiloso.

Brilho: material fino concentrado é amassado com água e forma-se uma bola do tamanho da mão. Corta-se pela metade e observa-se o brilho, superfície muito brilhosa é típico de solos argilosos, com pouco brilho, siltosos e quando superfície é opaca o solo é arenoso.

Tato: esfrega-se uma porção de solo seco entre os dedos e observa-se a textura, a areia arranha, silte e argila são macios como talco.

Cor: cores escuras (marrom, verde oliva, preto,...) indicam solo com muita matéria orgânica. Cores claras e brilhantes indicam solo com pouca matéria orgânica.

- Queda da bola

Forma-se uma bola de aproximadamente 4 cm com o solo pouco umedecido. Deixa-se esta cair de uma altura de 1,5 m sobre superfície plana e observa-se o resultado. Solos arenosos se espalham, de forma esfarelada (Figura 12c). Solos argilosos tem alta coesão e se aplainam levemente, mostrando poucas fissuras (Figura 12d).

- Ensaio do cordão

Forma-se com o solo umedecido uma bola com 2 a 3 cm de diâmetro e rolando a mesma sobre uma superfície plana, procura-se formar um rolo de 3 mm de diâmetro (Figura 12b). Adiciona-se água gradualmente, até conseguir que o rolo se parta somente com 3 mm de diâmetro. Em seguida, nas mesmas condições de umidade, se forma uma bola e verifica-se a força necessária para esmagá-la entre o dedo polegar e indicador.

Se é necessário muita força, o conteúdo de argila é muito alto, se desfaz facilmente, o conteúdo de argila é baixo. Se não é possível formar o rolo, o conteúdo de areia é muito alto e de argila baixo (Tabela 4).

Tabela 4: avaliação dos resultados do teste do cordão.

Tipo de cordão	Ruptura da bola	Classificação e interpretação
Duro	Só se pode quebrar a bola com muito esforço ou não se quebra	Demasiada argila; terra de alta plasticidade
Suave	Pouco resistente. Fissura e esmigalha facilmente	Terra argilo-siltosa, arenosa ou areno-argilosa; plasticidade mediana
Frágil	Frágil. Não se pode remodelar a bola, devido à sua fragilidade	Bastante silte ou areia e pouca argila; baixa plasticidade
Suave e esponjoso	Esponjosa e suave. Se é comprimida, volta a esponjar-se	Solo orgânico. Não é apto para qualquer tipo de construção.

Fonte: Neves (2010).

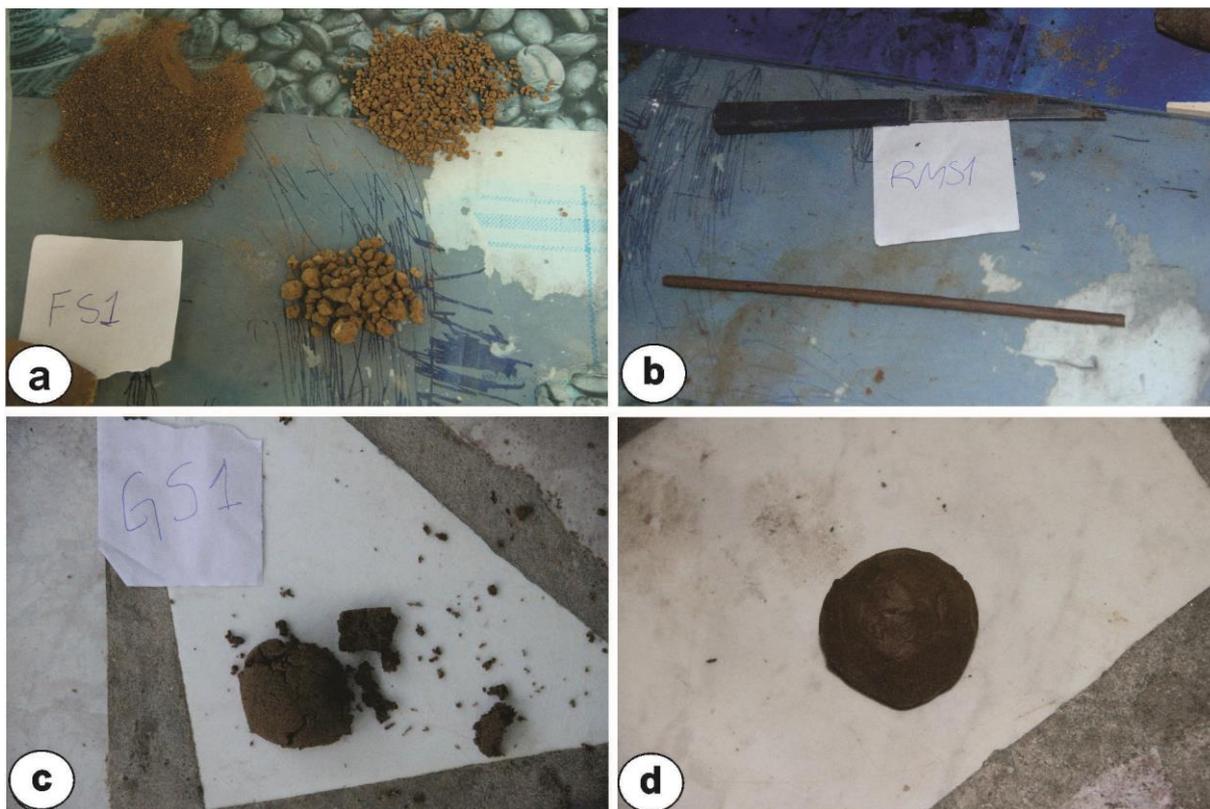


Figura 12: Ensaio de campo. a: separação granulométrica do ensaio tátil visual; b: ensaio do cordão; c: ensaio de queda da bola sobre amostra arenosa; d: ensaio de queda da bola sobre amostra com grande quantidade de argila.

- Ensaio da fita

Com uma amostra nas mesmas condições de umidade do teste do cordão, forma-se um rolo com cerca de 7 mm de diâmetro e em seguida forma-se uma fita com este. Segura-se a fita com uma mão e com a outra, move-se ela para fora da mão, colocando-a, aos poucos, em suspensão (Figura 13). Conforme Tabela 5, se for possível formar uma fita que atinja mais de 20 centímetros em suspensão, o solo apresenta alta coesão e alta quantidade de argila. Se esta atingir de 5 a 10 cm ela é argilo siltosa, arenosa ou areno argilosa (NEVES, 2010). Se não for possível formá-la então o conteúdo de argila é muito baixo.

Tabela 5: Avaliação dos resultados do teste da fita.

Tipo de fita	Comportamento da fita	Classificação e interpretação
Longa	É possível formar uma fita de 25 a 30 cm, sem dificuldade	Muita argila, terra de alta plasticidade
Curta	É possível formar uma fita de 5 a 10 cm, com dificuldade	Terra argilo-siltosa, arenosa ou areno-argilosa; plasticidade mediana
	Não se faz a fita	Bastante silte ou areia e pouca argila; sem plasticidade

Fonte: Neves (2010).

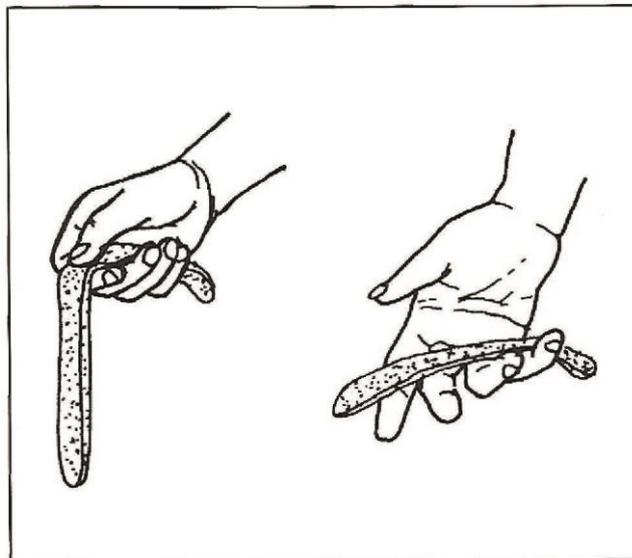


Figura 13: Ensaio da fita (MINKE, 2008).

- Ensaio do rolo

Com uma porção de solo umedecido, forma-se um rolo com 2,5 cm de diâmetro e 20 cm de comprimento. Desliza-se o rolo até a borda de uma mesa de forma que gradualmente seja colocado em suspensão e observa-se sua ruptura (Figura 14a). De acordo com o comprimento do rolo ao ser rompido, tem-se uma indicação quanto à viabilidade de utilizar material para técnicas de taipa. Se romper com menos de 8 cm não há argila suficiente, se maior que 12 cm há argila em excesso. Entre 8 e 12 cm solo é adequado para técnicas de taipa.

- Resistência seca

Com solo úmido forma-se uma pastilha com cerca de 1 cm de espessura e 2 ou 3 cm de diâmetro (Figura 14b). Após secagem ao ar livre, protegido de chuva, tenta-se esmagá-la entre dedo indicador e polegar e observa-se o esforço necessário. Pastilhas resistente são argilosas, quanto menor a resistência, menor é o conteúdo de argila e maior o de silte ou areia (Tabela 6).

Além das pastilhas, foram secos os pedaços de rolo proveniente do ensaio do rolo para avaliação da resistência e fissuras de retração.

Tabela 6: análise dos resultado do teste da resistência seca.

resistência	Esforço de ruptura	Comportamento	Classificação e interpretação
Grande	Resistente	Não se pulveriza	Solo inorgânico de alta plasticidade; argila
Média	Pouco resistente	É possível reduzir os pedaços a pó	Terra argilo-siltosa, terra argilo-arenosa ou areia argilosa. Se for argila orgânica, não usar
Pouca	Não resiste	Fácil desagregação	Falta de coesão. Solo arenoso, siltoso inorgânico ou outro com pouca argila

Fonte: Neves (2010).



Figura 14: Ensaios de campo. a: ensaio do rolo; b: ensaio de resistência seca após secagem de todas amostras.

3.5.2 Análise dos adobes

3.5.2.1 Ensaio de compressão

Realizado no Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais (LEME), foi utilizado para mostrar a resistência mecânica das misturas de terra em construções e indiretamente, a qualidade das bioconstruções consideradas bem-sucedidas. Ocorreram várias dificuldades para sua execução. Primeiramente, a falta de normas técnicas brasileiras sobre adobe permite uma gama de possibilidades na execução tanto dos corpos de prova (medidas, tempo e local de secagem) quanto dos parâmetros de equipamento e detalhes metodológicos. A norma técnica que mais se aproxima do proposto é a NBR 6460:1983, sobre ensaio de compactação em tijolos maciços cerâmicos para alvenaria. Nesta, é descrito metodologia que prevê principalmente a medição das três dimensões do tijolo, e o ensaio de compressão em máquina adequada, com características específicas.

A irregularidade dos adobes fabricados fez com que as tensões não fossem aplicadas de forma homogênea. Para minimizar este problema foi colocado uma chapa metálica acima e uma pequena camada de areia fina abaixo e acima do adobe no momento do ensaio (Figura 15a).

A prensa utilizada pode trabalhar com incrementos de força por tempo ou de velocidade de compressão. Para observar o comportamento, começamos com incrementos de carga (0,45Mpa/s). Utilizando este tipo de incremento (aplicado a análise de concreto) houve uma deformação inicial e posterior ruptura do adobe (Figura 15b e 15c). Após a ruptura, a carga aplicada diminui e o equipamento automaticamente pára. Em alguns adobes a referida ruptura está relacionada a uma regularização das superfícies, pois após a queda na carga é possível continuar a aumentá-la chegando, inclusive, a valores de carga superiores. Isto pode gerar resultados errados sobre a capacidade de carga. Diante deste problema e do alto tempo de cada ensaio nesta configuração, foi modificada a forma de trabalho do equipamento, passando a usar incrementos por tempo (10mm/min). Desta forma o equipamento não para após uma queda na carga, ele continua até que o operador pare o processo. O ensaio é mais rápido e gera um gráfico onde pode-se observar os eventos comentados (figura 15d). A carga máxima aplicada sobre o adobe é dividida pela área da face de trabalho e o resultado é dado em Mpa.

A falta de normatização desta metodologia é uma vulnerabilidade. Para maior confiabilidade dos resultados foram fabricadas 5 unidades de adobe de cada mistura de terra.

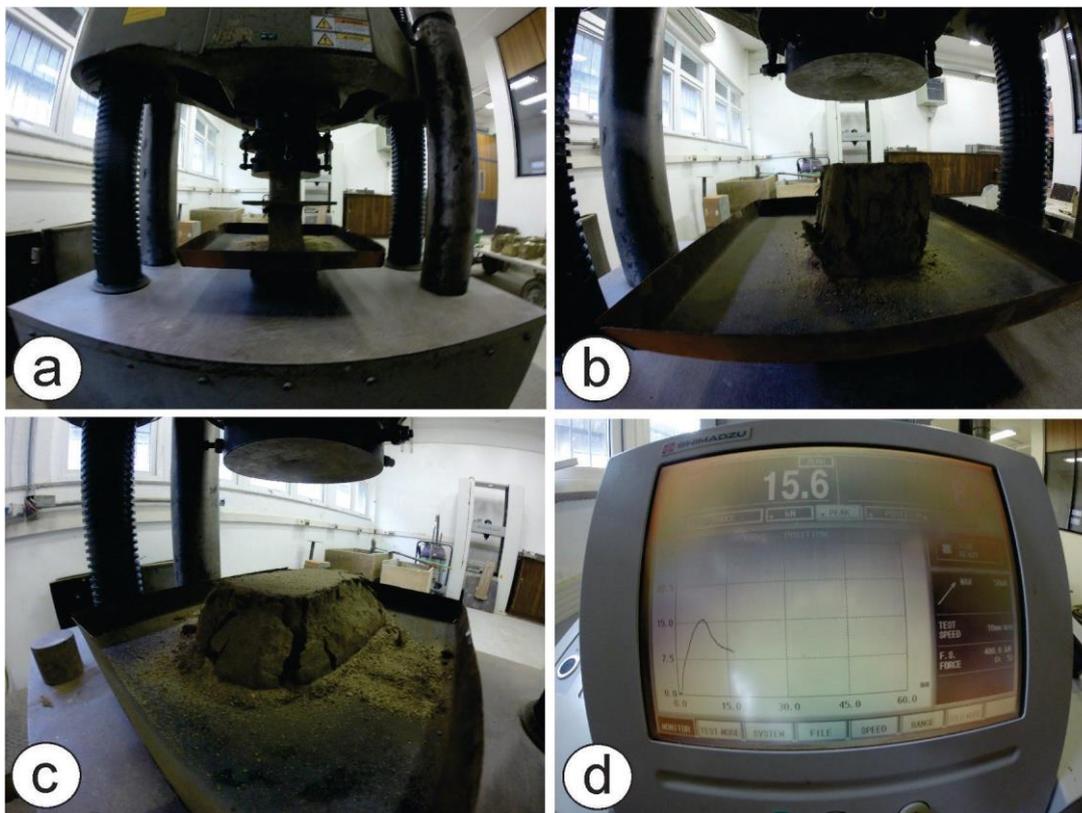


Figura 15: ensaio de compressão sobre adobes. a: adobe posicionado para ensaio; b e c: adobe após ensaio; d: gráfico mostrando pico de maior resistência alcançada.

3.5.2.2 Densidade, conteúdo de água e contração

Os quinze adobes produzidos foram pesados com balança de resolução de 0,1g e suas medidas aferidas com régua de 30 cm logo após produção. A partir das medidas da forma foi calculado o volume e com a massa e o volume, calculada a densidade de cada adobe.

Após a secagem, os adobes foram novamente pesados, utilizando a mesma balança, e as dimensões de cada um foi medida com régua comum. Com estes valores foi calculado a densidade dos adobes secos. Para as medidas de dimensão foi feito a média entre as dimensões em lados opostos sempre usando o centro das faces.

Comparando as massas, volumes e densidades obtidos, foi definida a umidade usada nas misturas de terra e a contração dos materiais.

4 RESULTADOS

O projeto teve como objetivo avaliar possibilidades no uso de solo como matéria prima para a bioconstrução em terra no município de Rolante e arredores e validar os ensaios de campo na comparação com análises químicas e texturais realizados em laboratório. A execução deste estudo propiciou o emprego de metodologias de análise de solos e materiais, além de um contato aprofundado com a natureza e com pessoas que aprendem diretamente com ela.

4.1 APRENDIZADO DE CAMPO

Com a etapa de campo foram observadas diferentes maneiras de preparo de misturas de terra, diferentes histórias de vida e ensinamentos sobre técnicas, materiais, plantas, cultura, ferramentas e tecnologias, a maioria adquirida na prática e por vivências. Os bioconstrutores que participaram revelaram detalhes importantes para a correta utilização da terra em construções e sobre diversos assuntos relacionados à sustentabilidade em geral, no entanto, observa-se que algumas informações são discordantes. Abaixo estão descritos alguns dos saberes destes e detalhes sobre as amostragens.

4.1.1 *São Francisco de Paula*

Localizada no planalto da Serra Gaúcha, a cerca de 850 m de altitude, o Instituto Arca Verde vem realizando trabalhos de educação sobre a bioconstrução desde o começo do Instituto (13 anos atrás). Leandro Sparrenberger, bioconstrutor, morador e cofundador do Instituto vem estudando o assunto e o solo local há anos e auxiliou neste trabalho, disponibilizando materiais para análise e informações sobre o assunto. Quando questionado sobre a visão das pessoas em relação à bioconstrução ele comenta que a maioria delas gosta, mas que as pessoas que chegam até ali já estão abertas para isto, pessoas com preconceito ou com visões diferentes normalmente nem chegam até o Instituto. A Arca tem participado da festa

do Pinhão e aos poucos vai entrando em contato com a população mas seu principal trabalho social é se manter viva como modelo possível de comunidade. Quando comentado sobre a hipótese deste trabalho: verificar se o solo de Rolante é bom para a bioconstrução, Leandro respondeu, “solo bom é o local”, esta frase foi decisiva na decisão de não procurar grandes jazidas em Rolante mas propiciar condições para a população avaliar o solo que tem à disposição.

Sobre testes ou ensaios de campo sobre o material que utiliza, disse que não se faz necessário pois já conhece bem a mistura, já está observando seu comportamento na prática há anos. Chamou a atenção para o fato de ensaios de campo, como o ensaio do vidro, não utilizado neste trabalho, serem apenas referências, com resultados muitas vezes equivocados. Sugeriu dois livros sobre o assunto: *Manual de construcción en tierra* (Gernot Minke, 2008) e *The Hand-Sculpted House* (Evans, Smith e Smiley, 2002) e comentou que não tem fórmula geral para utilização da terra em construção, tem de se testar o material.

Na bioconstrução que está trabalhando no momento (Figura 16), tem usado como técnica construtiva principalmente o COB, mas também utiliza taipa de mão de forma localizada. É comum a utilização de outros materiais, como troncos, vidros e garrafas plásticas preenchidas com materiais diversos, para ocupar espaços nas paredes e para diminuir o peso desta na medida em que sobem, havendo várias dessas garrafas no segundo andar da casa. O solo que é utilizado na mistura de terra é o que está ao lado da bioconstrução e que foi remobilizado quando o terreno foi aplainado. Pela baixa quantidade de areia no solo se faz necessário comprar areia média/grossa, todos outros componentes da construção são locais ou reciclados. As paredes de COB neste caso não desempenham função estrutural, esta é feita com madeira.

A mistura de terra utilizada leva, em volume, 25% de terra (AVS2), 25% de areia média/grossa (AVS3), 25% de palha e 25% de serragem. Para a produção da mistura se utiliza uma técnica chamada de sanduíche, onde os diferentes materiais são colocadas em camadas, hidratados e deixados pelo menos um dia descansando, para que todos torrões de argila sejam hidratados, após este tempo o material é revolvido e pisado até ficar homogêneo e com boa plasticidade. O solo AVS1 ainda está sendo estudado para ser utilizado em construções.

Durante nossa visita fizemos todo processo da mistura de terra sob supervisão e orientação de Leandro.



Figura 16: bioconstrução sendo realizada no Instituto Arca Verde.

4.1.1.1 Amostragens

Foram amostrados três solos, uma mistura entre solos e a mistura de terra utilizada em bioconstrução:

- AVS1 – horizonte A da unidade Bom Jesus, residual, de coloração preta, consolidado e com cerca de 50 cm de espessura, apresenta limites irregulares variando de abruptos a graduais com o horizonte B;
- AVS2 – horizonte B da Unidade Bom Jesus, de coloração amarela, brando, com areia e finos, apresenta *layers* com concentração de argilas amarelas e torrões argilosos de coloração marrom e cinza.
- AVS3 – areia quartzosa média/grossa comprada.
- AVM – amostra elaborada com a mistura do solo de AVS2 e AVS3, na mesma proporção utilizada na mistura de terra (1:1) para servir de modelo de material com as propriedades ideais para bioconstrução.
- AVMT – mistura de terra que vem sendo utilizada.

4.1.2 Maquiné

Localizada em terreno com relevo de encosta e planície, a Pousada Recanto da Mata apresenta solos originados principalmente a partir do basalto da Formação Serra Geral. O dono, Marcelo Tchéli, vem estudando e trabalhando com terra há 17 anos. Na Pousada se encontram construções realizadas com diferentes técnicas. Para o bioconstrutor, as informações sobre este tipo de construção vieram através da observação da natureza e das tecnologias usadas pelos animais. Para determinar as proporções entre solos e palha ele observou o material utilizado na casa do pássaro João de Barro e de uma espécie de marimbondo. Quando questionado sobre a visão das pessoas sobre o assunto comentou que existe um preconceito muito grande sobre o assunto, mesmo depois de observados os benefícios envolvidos. Houve um caso onde ele auxiliou um vizinho com informações e dicas para que este fizesse o reboco de sua casa com terra e, provavelmente com medo da opinião das outras pessoas, este acabou desistindo.

Na pousada se encontram técnicas como superadobe, taipa de mão (pau a pique), solo cimento (Figura 17), adobe e telhado vivo, além de várias outras tecnologias e experimentos sustentáveis. A técnica de superadobe foi aplicada em uma casa de ferramentas (com 14 anos). Segundo Tchéli, esta técnica não é muito boa para nossa situação (considerando os materiais disponíveis, clima, relevo), exige muitas pessoas trabalhando e muito esforço, apesar de ter como resultado construções que duram uma vida inteira e que não necessitam de outras estruturas, pois as paredes têm função estrutural. No caso da casa de ferramenta foi uma boa técnica porque é uma aplicação pequena. A base dela é feita com pneus, pedras, arame farpado e solo cimento. Parte da casa principal tem sua base feita de solo-cimento e pedras locais, parte tem aplicação de taipa de mão e parte apresenta somente o reboco de terra sobre tijolo convencional. O reboco tem 11 anos e encontra-se em bom estado de conservação. Algumas partes receberam uma pulverização com óleo de cozinha reutilizado. “A gente tem que, acho, que resgatar as origens nossas e concentrar ali para manter elas vivas”, comentário de Marcelo sobre a escolha da técnica a ser utilizada na construção e sua preferência pela taipa de mão, para esta técnica se utiliza o melhor material, o solo arenoso deve ser peneirado, a palha deve ser boa e a argila deve ser umedecida um dia antes.

Os recursos locais utilizados são: matacões de basalto, solo argiloso, solo arenoso, solo com resíduos orgânicos, palha seca de grama e madeira. O solo argiloso (RMS1) é retirado da encosta e o solo arenoso (RMS2) é retirado do vale, próximo a trilhas que levam ao rio. Cerca de um quinto da mistura de terra amostrada foi preparada e amassada com as mãos na própria pousada, com orientação de Marcelo, o restante foi preparado e amassado com os pés na noite seguinte.

A proporção volumétrica utilizada para a mistura de terra, usada nas diferentes técnicas de bioconstrução é: 16,67% de argila (RMS1), 33,33 % de terra (RMS2) e 50% de palha de grama seca. A proporção utilizada em rebocos é: 75% de areia fina e 25% de argila (RMS1). A proporção para o solo cimento é: 72,4% de solo com resíduos orgânicos (não amostrado), 18,1% de cinza de fogão a lenha, 9,05% de cimento e 0,45% de cal. Dependendo dos solos disponíveis as proporções podem mudar um pouco, se a argila for “muito forte” coloca-se mais areia ou palha.



Figura 17: parede construída com solo cimento e garrafas.

4.1.2.1 Amostragens

Foram amostrados dois tipos de solo, uma mistura entre solos e a mistura de terra utilizada em bioconstrução:

- RMS1 – depósito de argila em encosta. Horizonte B da Unidade Ciríaco, de coloração marrom claro, localizadamente amarelo esbranquiçado, com profundidade maior que um metro, consolidado.
- RMS2 – solo de parte baixa do terreno, ligeiramente plana e com cota pouco acima do rio. Horizonte A da Unidade Vila, presença de areia, finos, poucas raízes e folhas, brando e de coloração marrom escuro.
- RMM – amostra elaborada com a mistura do solo de RMS1 e RMS2, na mesma proporção utilizada na mistura de terra (1:2) para servir de modelo de material com as propriedades ideais para bioconstrução.
- RMMT – mistura de terra que vem sendo utilizada.

4.1.3 Rolante

4.1.3.1 Casa de bioconstrutor local

Em um terreno no Vale, nas margens do Rio Rolante, cerca de 4 metros acima da planície de inundação, o bioconstrutor Gentil José Paulo da Silva, tem bioconstruído há 11 anos, utiliza principalmente a taipa de mão (pau a pique) como técnica mas também utiliza outros materiais, como madeira, em suas construções. No terreno se encontra uma pequena agroflorestal, além de haver criação de galinhas, porcos e vacas. Também ali existe uma casa com paredes feitas há 10 anos por ele e a companheira Mariana Francisca Focaccia, de taipa de mão, utilizando mistura de solo local, esterco, folha e cal virgem (Figura 18). As paredes se apresentam em bom estado de conservação exceto pelas faces expostas, e principalmente as partes em contato com o chão, que por causa da umidade, estão um pouco degradadas. Segundo o bioconstrutor o ideal é a base das paredes ser de material convencional, se não a água sobe. Utilizando lona comum abaixo da parede também acontece de água subir, só uma lona muito grossa, como de telhado verde, pode impedir.

O solo local já é perfeito, se ele for só sovado com água já está pronto para ser utilizado. A mistura de terra utilizada leva, em volume: 50% de solo (GS1),

16,67% de esterco verde e 33,33% de folhas do terreno. Comumente utiliza-se cal nas misturas. A mistura amostrada foi elaborada sob a orientação dele. Comentou que pode-se utilizar betoneira para preparação da mistura, neste caso se colocam primeiramente as folhas, o esterco, a água e depois a terra.



Figura 18: biconstrução utilizando técnica de taipa de mão.

4.1.3.1.1 Amostragens

Foi amostrado um tipo de solo deste local, próximo da casa, e a mistura de terra utilizada em bioconstrução:

- GS1: solo de Vale, transportado, horizonte B da Unidade Vila. Areno - siltoso, de coloração marrom claro, homogêneo, brando. Sem vegetação rasteira mas com árvores nas proximidades.
- GMT: mistura de terra que vem sendo utilizada.

4.1.3.2 Outros locais amostrados em Rolante

4.1.3.2.1 Sítios na encosta basáltica

O solo de dois sítios foi amostrado. No primeiro, em encosta suave em altitude em torno de 190 m, no bairro Colônia Monge, foi amostrado um tipo de solo, formado a partir de zona maciça de derrame basáltico. No segundo, em terreno de altitude em torno de 220 m, localizado no Maragato, foram amostrados dois tipos de

solo. Um formado a partir de zona maciça de derrame e outro a partir de zona de topo de derrame, com muitas amígdalas de até 50 mm, preenchidas com zeolitas e raramente com quartzo.

- RS1: primeiro sítio, solo com vegetação de gramíneas, corresponde ao horizonte C da Unidade Charrua, raso, residual, de coloração marrom avermelhado, apresenta fragmentos líticos inalterados centimétricos e decimétricos e poucas raízes.
- FS1: segundo sítio, corresponde ao horizonte C da Unidade Charrua, solo raso, residual, formado a partir de topo de derrame, areno-argiloso com zeolitas e fragmentos líticos muito alterados, semibrando. Coloração marrom claro e com locais amarelos. Vegetação ausente no local de amostragem. O horizonte superficial A possui espessura de 20 cm e muitas raízes.
- FS2: segundo sítio, corresponde ao horizonte C da Unidade Ciríaco, residual, consolidado, com profundidade maior que um metro, argiloso, marrom avermelhado, com rocha inalterada centimétrica e decimétrica, com estruturas preservadas (disjunção colunar). Vegetação nativa. O horizonte superficial A possui espessura entre 15 e 20 cm e muitas raízes.

4.1.3.2.2 Instituto Federal Campus de Rolante

Dois solos foram amostrados no terreno do novo Campus do Instituto Federal, ambos em voçorocas expostas no lado oeste do prédio principal, com mais de 1 metro de profundidade, bem drenado e em relevo ondulado. A área apresenta vegetação rasteira, e o horizonte superior, com espessura entre 20 e 50 cm, parece ser transportado ou ter sido mobilizado, pela presença de fragmentos de arenito de até 20 cm.

- IFS1: correspondente ao horizonte B da Unidade Bom Retiro, argiloso com gradação sutil para areno-argiloso com o aumento da profundidade, marrom, semi brando, com rocha sã (arenito) de até 10mm³.
- IFS2: correspondente ao horizonte B da Unidade Bom Retiro, areno-argiloso, de coloração indo de marrom claro a amarelo, brando, com torrões de tamanho variado, com até 60mm³, argilosos e de coloração marrom claro, marrom escuro e preto. De forma localizada, a cor vermelha aparece,

principalmente nos torrões. Presença de fragmentos de arenito alterado de até 25mm.

4.1.3.2.3 Morro Grande

Um solo foi amostrado em corte de estrada na subida do Morro Grande a 930 m de altitude.

- MGS1: Solo correspondente ao horizonte A da Unidade Charrua, de encosta íngreme, pouco profundo, bem drenado, residual, brando, arenoso, marrom com locais marrom claro, com presença de raízes, matéria orgânica e rocha sã (riolito) centimétrica e decimétrica.

4.1.4 Resumo de amostragens

Para facilitar no entendimento do trabalho, foi resumido em um croqui esquemático (Figura 19) e em uma tabela (Tabela 7) as amostragens realizadas, relacionando estas ao relevo, litologia e unidade pedológica correspondente.

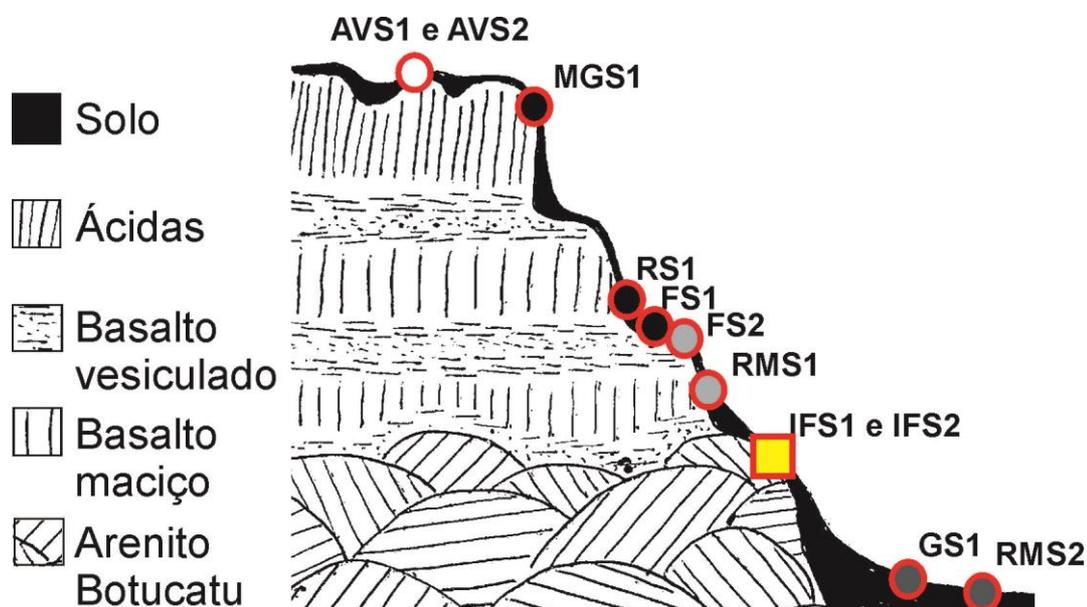


Figura 19: Croqui esquemático das amostragens realizadas e sua relação com relevo, litologias e unidade pedológica (Brasil, 1973). Círculo branco: Unidade Bom Jesus; cinza claro: Unidade Ciríaco; cinza escuro: Unidade Vila; preto: Unidade Charrua; quadrado amarelo: Unidade Bom Retiro.

Tabela 7: Resumo de amostragens realizadas e relação destas com relevo, litologias e unidade pedológica.

Localização	AMOSTRA	Unidade (Brasil, 1973)	Litologia associada	Relevo
São Francisco de Paula	AVS1	Bom Jesus	FSG - Ácidas	Planalto
	AVS2	Bom Jesus	FSG - Ácidas	Planalto
	AVS3	---	---	---
	AVM			
	AVMT			
Maquiné	RMS1	Ciríaco	FSG - Basalto	Encosta
	RMS2	Vila	FSG - Basalto e arenito	Vale
	RMM			
	RMMT			
Rolante	GS1	Vila	Arenito	Vale
	GMT			
	FS1	Charrua	FSG - Basalto	Encosta
	FS2	Ciríaco	FSG - Basalto	Encosta
	RS1	Charrua	FSG - Basalto	Encosta suave
	IFS1	Bom Retiro	Arenito	Ondulado
	IFS2	Bom Retiro	Arenito	Ondulado
	MGS1	Charrua	FSG - Ácidas	Encosta íngreme

4.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

As análises granulométricas foram realizadas sobre os solos amostrados e sobre as misturas de solos que são utilizadas na composição das misturas de terra em São Francisco de Paula e em Maquiné. Em Rolante é utilizado apenas um tipo de solo na mistura de terra, em SFP e em Maquiné são utilizados dois tipos. Os histogramas das misturas de terra estão apresentados abaixo enquanto os demais se encontram em anexo.

4.2.1 Misturas de terra

Analisando os histogramas observamos que os solos utilizados em bioconstrução de Rolante e de São Francisco de Paula, GS1 e AVM, classificados como areia, apresentam maior conteúdo de areia fina, o primeiro apresenta uma boa seleção granulométrica e o segundo uma má seleção. A amostra de Maquiné, RMM,

classificada como areia siltosa, apresenta má seleção, maior quantidade da fração silte e entre as três é a amostra que apresenta maior quantidade de argila, chegando a 14%, enquanto as outras apresentam em torno de 4%.

A seguir são apresentados os gráficos contendo a proporção granulométrica de elementos inorgânicos dos solos utilizados nas misturas de terra (Gráfico 1, 2 e 3).

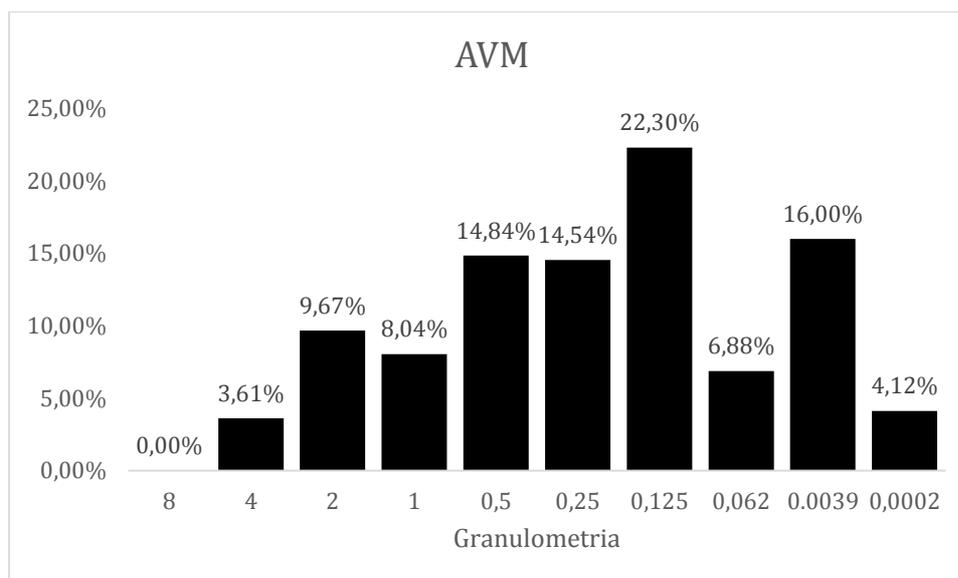


Gráfico 1: histograma de frequência simples do solo da mistura de terra de São Francisco de Paula.

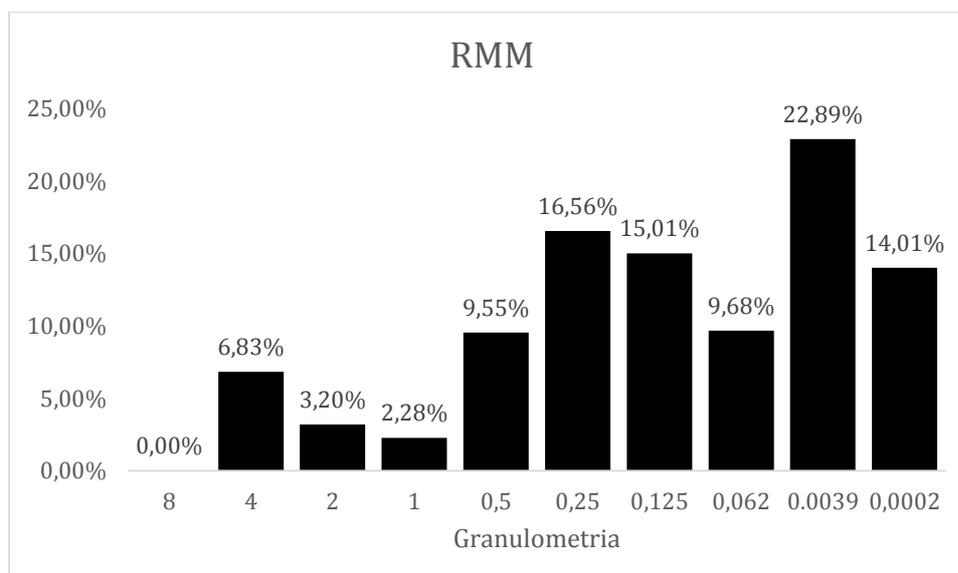


Gráfico 2: histograma de frequência simples do solo da mistura de terra de Maquiné.

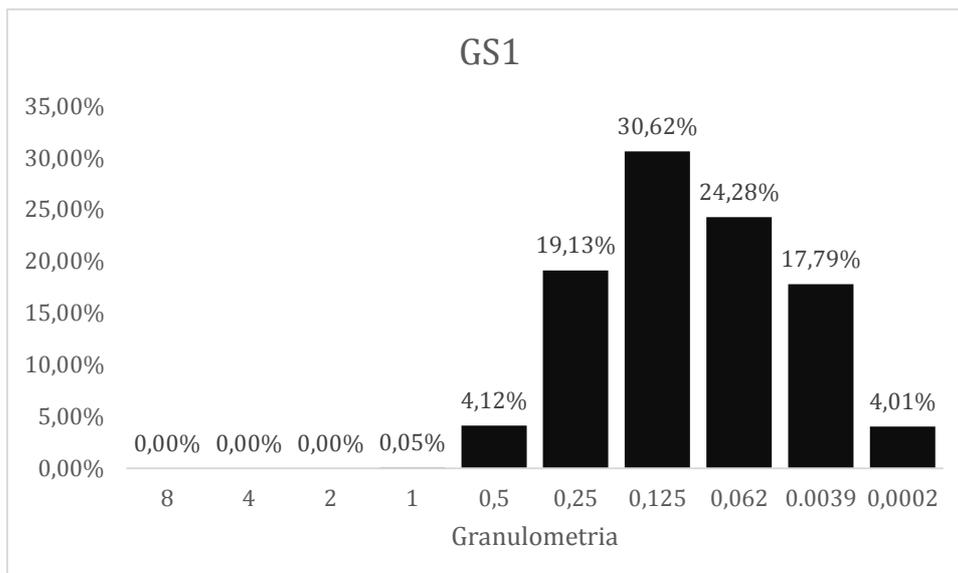


Gráfico 3: histograma de frequência simples do solo da mistura de terra de Rolante.

4.2.2 Solos de São Francisco de Paula

Estas análises (Apêndice B) mostraram que AVS3, classificada como areia, apresenta somente 2% de finos, os outros dois apresentam mais de 50% de finos e a quantidade de silte nestes chega a ser cinco vezes maior que a de argila. Todos apresentam uma boa seleção granulométrica. Em AVS1, classificado como areia siltosa, e AVS2, classificada como silte arenoso, se destaca a fração silte, enquanto em AVS3 se destaca areia fina e média.

4.2.3 Solos de Maquiné

Pelos histogramas (Apêndice C) observamos que RMS1, classificada como silte argiloso, é bem selecionado e apresenta 85% de finos, com cerca de 41% de argila. RMS2, classificado como areia, é mal selecionado, apresenta menos de 4 % de argila e quantidades similares de areia média, fina e silte.

4.2.4 Solos de Rolante

Os demais solos amostrados em Rolante foram agrupados de acordo com suas rochas mãe para melhor compreensão das relações com as geodiversidades de sua formação.

4.2.4.1 Encosta basáltica

Os histogramas destes solos (Apêndice D) demonstram que as amostras FS2 e RS1, classificadas como areia - silte - argila, são bem selecionadas, provenientes de zonas maciças do basalto, apresentam predomínio de finos (> 65%) e cerca de duas vezes mais silte que argila, que representa 22% em ambas. A amostra FS1, classificada como areia siltosa, tem má seleção, proveniente de zona de basalto vesiculado, tem predomínio na quantidade de areia grossa e silte, as quantidades diminuem na medida em que se afastam da granulometria areia grossa. A fração correspondente ao tamanho silte se destaca em relação a todas outras frações, inclusive com quantidade maior que a de areia grossa. A fração argila apresenta 5%.

4.2.4.2 Encosta ácidas

Classificada como areia siltosa, a amostra MGS1 apresenta má seleção, com distribuição granulométrica bem homogênea. Novamente a fração de tamanho silte se destaca entre as demais, com 22 %, enquanto a fração argila corresponde a 3% da amostra (Apêndice E).

4.2.4.3 Arenito

Ambos são classificados como areia siltosa (Apêndice F). Embora tenham características muito parecidas, observa-se que IFS2 apresenta menos finos e é um pouco menos selecionado que IFS1, embora ainda bem selecionado. A fração areia também mostra variação entre os dois solos, IFS1 apresenta predomínio de areias finas e IFS2 areias médias.

4.3 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA

Para esta etapa foi utilizada a DRX, visando a identificação dos constituintes inorgânicos presentes em cada solo e análise qualitativa dos constituintes. Abaixo a descrição dos resultados de forma separada: começando pela análise dos

constituintes dos solos utilizados em construções e após, dos constituintes dos solos potenciais para construção em Rolante.

4.3.1 Solos utilizados em misturas de terra

4.3.1.1 São Francisco de Paula

A amostra AVS1 corresponde ao solo de coloração escura, horizonte A húmico. Apresenta caolinita como argilomineral e sua fração grosseira inorgânica é composta apenas por quartzo.

A amostra AVS2 é o principal solo local utilizado nas bioconstruções, correspondendo ao horizonte B no perfil. A composição de sua fração fina é dada pelo argilomineral caolinita. A fração grosseira apresenta quartzo, K-feldspato e plagioclásio.

A amostra AVS3 é a areia média/grossa comprada e apresenta apenas 2% de finos (silte e argila). Apesar da pequena quantidade, são identificados três tipos de argilominerais: caolinita, esmectita e illita. A fração grosseira é composta principalmente por quartzo mas apresenta K-feldspato e plagioclásio em menor quantidade (Apêndice G).

4.3.1.2 Maquiné

A amostra RMS1 corresponde ao solo argilo siltoso utilizado nas misturas de terra. A análise de sua fração fina definiu a presença de esmectita e caolinita. A fração grosseira apresenta quartzo, plagioclásio e hematita.

A amostra RMS2 apresenta, quanto à mineralogia, os mesmos constituintes da RMS1 mas também apresenta illita na fração fina, e piroxênio na fração grosseira. Os constituintes grosseiros deste solo são formados por líticos e monocristais quartzosos (Apêndice H).

4.3.1.3 Rolante

Em Rolante, o solo da amostra GS1 é utilizado sem mistura com outros tipos de solo. Seus constituintes da fração fina são: ilita e esmectita, e seus constituintes da fração grosseira são: quartzo e feldspato alcalino (Apêndice I).

4.3.2 Solos potenciais de Rolante

4.3.2.1 Arenito

Estes solos, amostras IFS1 e IFS2, correspondem ao mesmo solo e horizonte. Sua composição mineralógica na fração fina é dada por ilita e caolinita e a fração grosseira quartzo, feldspato alcalino e goethita (Apêndice J).

4.3.2.2 Encosta basáltica

A amostra FS1, de solo gerado a partir de topo/base de derrame basáltico, com alta quantidade de vesículas, apresenta em seus finos os argilominerais: esmectita e observa-se um pico na região correspondente à ilita e na fração grosseira os minerais: plagioclásio, quartzo, zeolita e hematita.

A amostra FS2, de solo gerado a partir de basalto maciço, do centro de derrame, sem vesículas, apresenta caolinita e esmectita como finos e quartzo, plagioclásio e hematita na fração grosseira.

A amostra RS1, foi retirada do horizonte A, de morro diferente das duas amostras anteriores, formado a partir do basalto maciço, assim como FS2, se diferencia pela ausência de plagioclásio na fração grosseira (Apêndice K).

4.3.2.3 Encosta ácidas

A amostra MGS1 foi retirada de horizonte A de encosta íngreme, em solo raso. Sua análise mineralógica mostra a presença de esmectita e caolinita. A fração grosseira apresenta quartzo, plagioclásio, hematita e piroxênio. A presença deste último mineral, de baixa resistência às intempéries, demonstra que é um solo novo e residual (Apêndice L).

4.4 ENSAIOS DE CAMPO

O resultado destas análises está apresentado em tabela (Apêndice M).

4.4.1 *Ensaio táctil-visuais*

A separação das partículas por tamanho se mostrou muito trabalhosa e com resultados imprecisos. Não foi possível separar a olho nu as partículas com menos de 1 mm do restante da fração fina e as amostras com mais argila apresentam torrões de difícil distinção em relação às partículas grosseiras. Foi possível separar as partículas com mais de 1 mm, com mais de 5 mm e com mais de 10 mm. A classificação granulométrica se baseou nesta separação e no tato. Mostrou presença de amostras de solo argiloso: RMS1, RS1, IFS1, AVS1; argilo arenoso: RMM, FS2; silto argiloso: AVS2; silto arenoso: RMS2; areno siltoso: MGS1, GS1, AVM; areno argiloso: IFS2, FS1; e areia: AVS3.

Seguindo a indicação de que cores escuras identificam solos com matéria orgânica, foram identificados 7 solos com matéria orgânica. AVS1 apresenta coloração preta enquanto os demais, AVS2, IFS1, MGS1, RMS2, RMM e RS1, apresentam coloração marrom escura.

Quanto ao brilho, observamos duas amostras com brilho: AVS1, RMS1, sete amostra com brilho e opacidade: AVS2, FS2, IFS1, IFS2, MGS1, RMM, RS1; quatro amostras opacas: AVM, FS1, GS1, RMS2; e uma amostra que não foi possível formar uma bola: AVS3.

4.4.2 *Ensaio da queda da bola*

Somente duas amostras esfarelaram, AVS3 e GS1. A primeira se desfez totalmente, a segunda parcialmente. Três amostras não alteraram seu tamanho com a queda: AVS2, FS1 e RMS1. Duas amostras aumentaram seu diâmetro em 2,5%: FS2 e IFS1. Quatro amostras aumentaram seu diâmetro de 10 a 20%: IFS2, RMS2, RMM e RS1; e quatro amostras aumentaram seu diâmetro de 20 a 40%: AVS1, AVM, GS1 e MGS1.

4.4.3 *Ensaio do cordão ou consistência*

Três amostras não formam um rolo com 3 mm de espessura: AVS3, FS1 e GS1. A amostra RMS1 foi a única com cordão classificado como duro e a amostra AVS1 foi a única classificada como suave esponjoso. As demais amostras resultaram em cordões no limite entre suave e esponjoso, duro ou frágil.

4.4.4 *Ensaio da fita*

Este teste não foi realizado sobre as amostras que não formaram o cordão do teste anterior. Cinco solos formaram fita com comprimento entre 5 e 10 cm: AVS1, AVM, IFS2, RMS2 e RMM. Cinco amostras formaram fitas com comprimento entre 10 e 20 cm: AVS2, FS2, IFS1, RMS1 e RS1. A amostra MGS1 formou fita com 4 cm de comprimento.

4.4.5 *Ensaio do rolo*

Sete amostras atingiram comprimento do segmento rompido entre 8 e 12 cm: AVS1, AVS2, FS2, IFS1, IFS2, RMM e RS1. Cinco amostras não atingiram os 8 cm: AVM, FS1, GS1, MGS1 e RMS2. A amostra RMS1 atingiu 14 cm e a amostra AVS3 não formou o rolo.

4.4.6 *Ensaio de resistência seca*

A maioria das amostras em pastilha apresentou alta resistência, não se quebrando. As amostras AVM e RMM apesar da alta resistência, se quebraram. As amostras RMS2 e MGS1 se quebraram com mais facilidade e a amostra AVS3 se quebrou durante a retirada do molde, após secagem.

As fissuras de retração ficaram mais evidentes nos pedaços de rolos secos (Figura 20). Aqueles produzidos com as amostras AVM, FS1, IFS1, IFS2, GS1 e MGS1 não apresentaram fissuras. RMS2, AVS1 e AVS2 apresentaram fissuras menores que 0,5 mm e RMM, RMS1, FS2, RS1 apresentaram fissuras com mais de 0,5 mm.



Figura 20: pedaços de rolos secos, sobras do ensaio do rolo e usados para verificação de fissuras de retração.

4.5 ANÁLISE DOS ADOBES

4.5.1 Umidade das misturas de terra utilizadas

A pesagem dos adobes logo após a fabricação e após a secagem (Figura 21), permitiu a avaliação da variação da umidade presente na mistura de terra utilizada. A mistura de terra com maior grau de umidade, em média, é a RM, com 36,73%, seguida pela G, com 32,88%, e AV, com 21,25%. A tabela 8 mostra os resultados obtidos.

Tabela 8: resultados de pesagem de adobes úmido e seco ao ar livre e grau de umidade.

AV						
	1	2	3	4	5	Média
Úmido (Kg)	6,9	6,9	6,9	6,6	7	6,86
Seco (Kg)	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4
Umidade (%)	21,74%	21,74%	21,74%	18,18%	22,86%	21,25%
G						
	1	2	3	4	5	Média
Úmido (Kg)	6	6,4	6,3	6,3	6,3	6,26
Seco (Kg)	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
Umidade (%)	30,00%	34,38%	33,33%	33,33%	33,33%	32,88%
RM						
	1	2	3	4	5	Média
Úmido (Kg)	5,4	5,4	5,1	5,1	5,1	5,22
Seco (Kg)	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
Umidade (%)	38,89%	38,89%	35,29%	35,29%	35,29%	36,73%



Figura 21: pesagem de adobes após secagem. Da esquerda para direita: adobe produzido com mistura de terra G, AV e RM.

4.5.2 Retração e densidade

A comparação entre as medidas da forma utilizada e as medidas dos adobes após secagem, permitiu quantificar a contração de cada um (Apêndice N). Observamos que os adobes produzidos com a mistura de terra RM foram os que tiveram a maior retração média, 36,33%, seguidos pela amostra G, 15,79%, e AV, 11%. Apesar da alta retração de RM, os únicos adobes que apresentaram rachaduras ou fissuras maiores que 1 mm foram os produzidos com a amostra G, que já apresentava estas após desformar no processo de fabricação.

Considerando as medidas de peso, além das medidas volumétricas, comparamos as densidades dos adobes antes e após secagem. A média de variação na densidade dos adobes obtidos com a mistura de terra AV, foi de -11,19%, para G foi -19,94% e para RM foi 0,44%.

4.5.3 Ensaio de compressão

A resistência de cada adobe foi calculada com a divisão da carga máxima aplicada pela área da face superior (Apêndice O). A maior resistência média encontrada foi a da mistura de terra RM, 0,72 Mpa, seguido pela AV, com 0,61 Mpa e G, com 0,45 Mpa. O melhor resultado obtido, de um adobe da RM foi de 0,86 Mpa. A resistência mais baixa foi de uma amostra da G, 0,34 Mpa.

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A comparação dos resultados obtidos com as diferentes metodologias e a comparação destas com referências bibliográficas nos permitiu avaliar as possibilidades dos solos de Rolante e dos locais com bioconstruções. Além disso, nos mostrou as possibilidades para avaliações de campo.

5.1 SOLOS

5.1.1 *Interpretações baseadas na granulometria*

As interpretações a seguir são baseadas nos resultados obtidos com a granulometria. Todos os resultados foram plotados em diagramas triangulares para facilitar as interpretações.

5.1.1.1 São Francisco de Paula

As amostras AVS1 e AVS2 apresentam grande quantidade de silte em relação a argila, seguindo a tendência das rochas vulcânicas ácidas de apresentarem pouco desenvolvimento de argilominerais.

A composição inorgânica da mistura de terra de SFP, representada pela amostra AVM, é formado pelo solo da amostra AVS2 e AVS3, numa proporção 1:1 em volume em condições de umidade natural. O diagrama triangular abaixo (Figura 22) mostra que a relação em volume não é equivalente à relação em massa, obtida com a análise granulométrica. Considerando uma relação em massa, temos uma proporção em torno de 2:1 (AVS3:AVS2) na composição da amostra AVM.

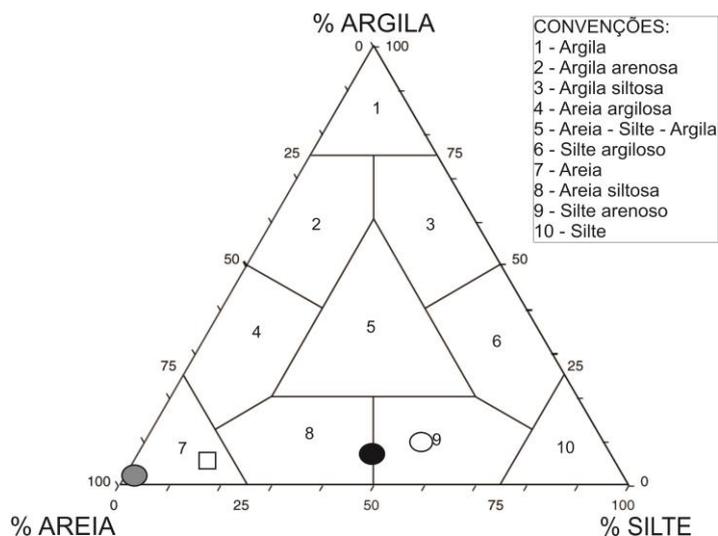


Figura 22: Diagrama triangular de classificação de sedimentos de acordo com a granulometria. Círculo cinza: AVS3; branco: AVS2; preto: AVS1; quadrado: AVM (segundo Shepard, 1954).

5.1.1.2 Maquiné

A alta quantidade de argila em RMS1 está associada ao clima quente e úmido do município, que favorece o intemperismo químico, à formação rochosa vulcânica basáltica, de baixa resistência às intempéries, e ao relevo de encosta suave, que permite formação de locais de acúmulo de umidade e finos. A baixa quantidade de argilas em RMS2 provavelmente está associada à alta capacidade de drenagem do solo que impede acúmulo de argilas. Os constituintes grosseiros deste solo são formados por líticos da Formação Serra Geral e por monocristais quartzosos, provavelmente oriundos do Arenito Botucatu.

O diagrama triangular abaixo (Figura 23) mostra que a relação em volume é quase equivalente à relação em massa, obtida com a análise granulométrica. Considerando uma relação em massa, temos uma proporção um pouco maior que 2:1 (RMS2:RMS1) na composição da amostra RMM.

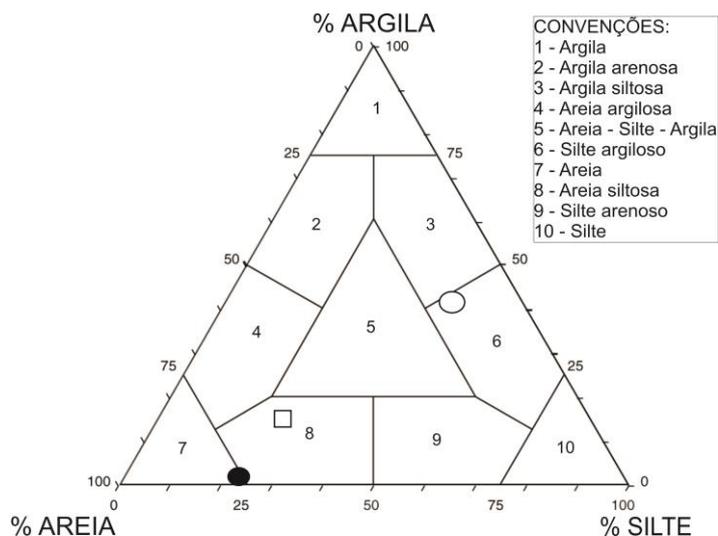


Figura 23: Diagrama triangular de classificação de sedimentos de acordo com a granulometria. Círculo branco: RMS1; preto: RMS2; quadrado: RMM (segundo Shepard, 1954).

5.1.1.3 Rolante

Os solos da encosta basáltica em geral são bem selecionados, as diferenças entre FS1 e os demais (Figura 24), demonstra a existência de variações locais de relevo e características químicas, texturais e estruturais da rocha.

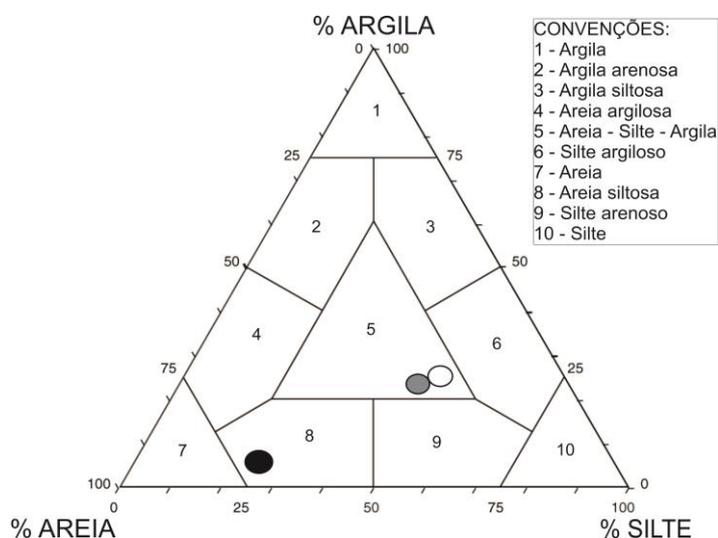


Figura 24: Diagrama triangular de classificação de sedimentos de acordo com a granulometria. Círculo cinza: RS1; preto: FS1; branco: FS2 (segundo Shepard, 1954).

A grande quantidade de silte em relação a argila, observado em FS1, FS2 e RS1, provavelmente está associada ao relevo de encosta onde são gerados solos mais rasos.

A amostra MGS1 também apresenta esta alta relação silte/argila provavelmente por ser um relevo de encosta. Sua composição química ácida também sugere menor formação de argilominerais e mais de silte.

A coloração do solo e a variação na distribuição da fração areia evidencia as diferenças pedogênicas entre os dois solos gerados a partir do arenito, com IFS2 de coloração clara e rosada e predomínio de areias médias, mostrando pouca modificação em relação ao arenito, portanto mais saprolítico, e IFS1 de coloração marrom e predomínio de areias finas.

5.1.1.4 Comparações

Abaixo foram plotados todos os solos analisados para comparação granulométrica entre os solos “ideais”, utilizados nas misturas de terra, e os disponíveis em Rolante (Figura 25). Analisando o diagrama triangular podemos observar que 4 amostras de Rolante (FS1, IFS1, IFS2 e MGS1) apresentam distribuição granulométrica similar à utilizada nas misturas de terra, estando classificadas como areia siltosa. As outras duas, classificadas como areia – silte – argila apresentam granulometria bem diferente das utilizadas nas misturas de terra mas com incremento de areia numa proporção 1:1 ou 2:1 em volume, devem se aproximar da distribuição desejada.

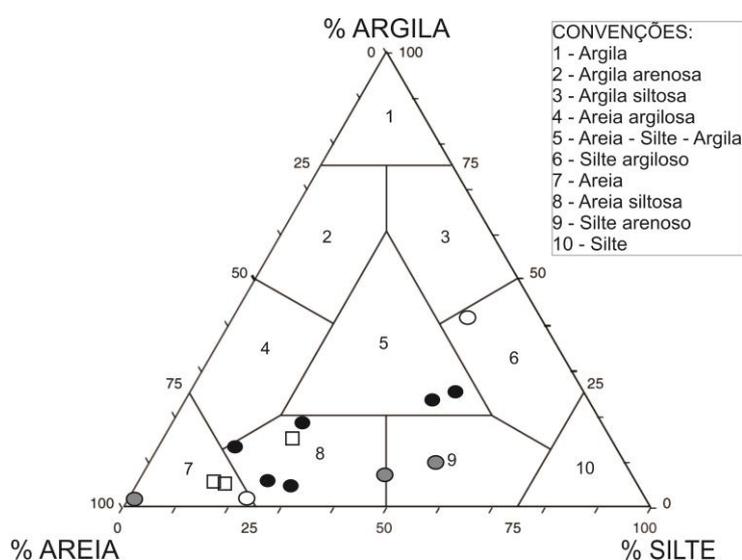


Figura 25: Diagrama triangular de classificação de sedimentos de acordo com a granulometria, mostrando relação entre os solos dos diferentes municípios e os solos utilizados nas misturas de terra. Quadrado: RMM, AVM e GS1; círculo branco: RMS1 e RMS2; cinza: AVS1, AVS2 e AVS3; e preto: FS1, FS2, IFS1, IFS2, MGS1, RS1. (Segundo Shepard, 1954).

5.1.2 Mineralogia

5.1.2.1 Minerais presentes

Analisando e comparando os minerais encontrados em cada solo (Tabela 9), suas características e as geodiversidades apresentadas, podemos realizar as seguintes interpretações¹²:

- Quartzo aparece em todos solos. Apesar de não ser um constituinte primário das rochas basálticas, pode ocorrer nessas rochas sendo originado em processos de alteração hidrotermal ou tardi magmática, especialmente preenchendo as vesículas e as fraturas dessas rochas. Por ser muito estável e resistente ao intemperismo, se mantém em todos solos.
- Feldspato alcalino (K-feldspato) ocorre nos solos relacionados com o arenito Botucatu e em São Francisco de Paula, em planalto de rochas vulcânicas ácidas. Não ocorre em solos relacionados ao basalto, demonstrando inexistência deste mineral nestas rochas.
- Plagioclásio não ocorre em solos relacionados ao arenito Botucatu, demonstrando inexistência deste nesta rocha. Também não aparece na amostra AVS1, horizonte superficial constituído principalmente por matéria orgânica. A ausência de plagioclásio na amostra RS1 pode indicar a maior intensidade da alteração relacionada com a formação deste solo.
- Hematita, óxido de ferro que confere a cor vermelha aos solos, ocorre nas amostras dos pontos de Maquiné e de encosta, basáltica e ácida. A ausência nas amostras provenientes dos solos de São Francisco de Paula e do arenito Botucatu se deve à baixa concentração de minerais ferro magnesianos, necessário para formação, ou pela boa drenagem nos solos do arenito.
- Goethita (FeOOH), forma mineral mais estável dos óxidos de ferro, confere a cor amarelada ou marrom ao solos e sua formação normalmente se dá em regiões de baixa temperatura, alta umidade, matéria orgânica, pH ácido e teor de alumínio trocável elevado. Foi identificado nas amostras de solo IFS1 e IFS2.

¹² A amostra AVS3 foi desconsiderada nestas interpretações por não se tratar de um solo local.

- Caolinita, argilomineral com estrutura 1:1, formado pelo intemperismo sobre feldspatos e micas em climas quentes e húmidos, muito utilizado em cerâmicas e não expansivo, apresenta baixa plasticidade e coloração amarelada ou esbranquiçada, ocorre em solos com boa drenagem. Foi identificado em todas amostras exceto em FS1, por motivos não identificados.
- Esmeclita (montmorilonita), argilomineral expansivo, com grande área superficial, elevada plasticidade e pegajosidade, ocorre em solos com disponibilidade de Ca, Mg, Fe e Na, má drenagem, alta relação Si/Al e baixo teor de H, em climas semi árido ou quentes e úmidos com má drenagem. Foi identificado nas amostras dos pontos de Maquiné e de encosta, basáltica e ácida. A ausência deste mineral nas amostras de solos de São Francisco de Paula e dos solos proveniente do arenito provavelmente se deve à menor quantidade de minerais ferromagnesianos nestas rochas, dos quais a esmeclita é proveniente.
- Illita, parcialmente expansivo, com baixa plasticidade e adsorção de água, ocorre na amostra GS1 e pode estar presente em quantidade baixa em outras amostras.
- Piroxênios, com baixa resistência às intempéries, identificado na amostra RMS2 e MGS1, demonstra que estes são solos imaturos.
- Minerais do Grupo das zeolitas, presentes nas vesículas de topo/base de derrames basálticos, possuem baixa resistência às intempéries. Ocorrem na amostra FS1 e RS1 (Laumontita), demonstrando a imaturidade destes.

Tabela 9: mineralogia total e dos argilominerais dos solos. Sublinhado: argilominerais. Verde: amostras de solos utilizados em bioconstruções.

RMS1	RMS2	GS1	AVS2	AVS3	AVS1
Quartzo	Quartzo	Quartzo	Quartzo	Quartzo	Quartzo
Plagioclásio	Plagioclásio	K-feldspato	K-feldspato	K-feldspato	<u>Caolinita</u>
Hematita	Hematita	<u>Caolinita</u>	Plagioclásio	Plagioclásio	
<u>Caolinita</u>	Piroxênio	<u>Ilita</u>	<u>Caolinita</u>	<u>Caolinita</u>	
<u>Esmectita</u>	<u>Caolinita</u>			<u>Esmectita</u>	
	<u>Esmectita</u>			<u>Ilita</u>	
FS1	FS2	IFS1	IFS2	MGS1	RS1
Quartzo	Quartzo	Quartzo	Quartzo	Quartzo	Quartzo
Plagioclásio	Plagioclásio	K-feldspato	K-feldspato	Plagioclásio	Hematita
Hematita	Hematita	Goethita	Goethita	Hematita	Laumontita
Zeolita	<u>Caolinita</u>	<u>Caolinita</u>	<u>Caolinita</u>	Piroxênio	<u>Caolinita</u>
<u>Esmectita</u>	<u>Esmectita</u>			<u>Caolinita</u>	<u>Esmectita</u>
				<u>Esmectita</u>	

Para bioconstruções, as características das argilas tem papel muito importante, principalmente quanto à plasticidade, coesão e retração do solo. A interpretação dos resultados obtidos das análises dos adobes e dos ensaios de campo levam em consideração os minerais presentes.

As características dos minerais da fração grosseira também são importantes mas principalmente ao que se relaciona à resistência destes, tanto às condições atmosféricas quanto mecânicas. As relações destas características com bioconstruções não se encontram nas referências bibliográficas consultadas.

5.2 ENSAIOS DE CAMPO

5.2.1 Ensaio táctil-visual

Comparando os resultados desta análise principalmente com a análise granulométrica (tabela 10) e em casos específicos utilizando a composição

mineralógica para compreensão dos resultados, podemos tirar as seguintes conclusões:

- Aqueles classificados neste ensaio como areia, areia argilosa ou areia siltosa foram classificados em ensaio de laboratório como areia, areia argilosa ou areia siltosa.
- Aqueles classificados como silte arenoso ou silte argiloso são classificados, em análise de laboratório, como areia e areia siltosa;
- Aqueles classificados como argila ou argila arenosa são classificados como areia siltosa ou areia - silte - argila em ensaio de laboratório.
- Baseado nestas comparações conclui-se que este ensaio sempre tem como resultado uma classificação granulométrica igual ou mais fina do que a obtida em ensaio de laboratório.
- As referências utilizadas (NEVES, 2010 e MINKE, 2008) apontam que a cor escura da terra está associada a uma alta quantidade de matéria orgânica. Observando o ponto de amostragem das amostras que apresentam cor escura, percebe-se que, como previsto, existe grande chance da presença de matéria orgânica nestas, pois são amostras de solos superficiais ou muito expostos a um lençol freático variável.
- As amostras que apresentaram mais brilho são um silte argiloso e uma areia siltosa, todos que apresentaram brilho e opacidade tem uma quantidade de silte significativa. A maioria dos que não apresentaram opacidade são classificados em laboratório como areia.

Tabela 10: Comparação da classificação granulométrica laboratorial com a classificação gerada pelo ensaio táctil visual.

AMOSTRA	Classificação	
	Laboratório	Campo - táctil visual
AVS1	Areia siltosa	Argila
AVS2	Silte arenoso	Silte argiloso
AVS3	Areia	Areia
AVM	Areia	Areia siltosa
RMS1	Silte argiloso	Argila
RMS2	Areia	Silte arenoso

RMM	Areia siltosa	Argila arenoso
GS1	Areia	Areia siltosa
FS1	Areia siltosa	Areia argilosa
FS2	Areia - silte - argila	Argila arenosa
RS1	Areia - silte - argila	Argila
IFS1	Areia siltosa	Argila
IFS2	Areia siltosa	Areia argilosa
MGS1	Areia siltosa	Areia siltosa

5.2.2 Queda da bola

Os resultados deste ensaio foram comparados à análise granulométrica e em casos específicos foi utilizada a sua composição mineralógica para compreensão dos resultados. Foram realizadas as seguintes conclusões:

- As amostras que esfarelaram são classificadas como areia, como previsto.
- A amostra RMS2 e AVM, embora classificadas como areia, não tiveram a mesma resposta, possivelmente isto se deve ao tipo de argilomineral presente. A amostra RMS2 apresenta esmectita como argilomineral predominante e entre as areias foi a que menos aumentou o diâmetro pós queda. A amostra AVM apresenta caolinita como mineral predominante, assim como a GS1, e teve um grande aumento de seu diâmetro. Também possui quantidade de argila muito próxima de GS1, com 0,1% a mais. A principal diferença entre as duas está na distribuição granulométrica, AVM é menos selecionada em relação à GS1, provável motivo para os diferentes resultados.
- Os únicos solos que não tem predomínio da fração areia, classificados como silte argiloso e silte arenoso pela classificação laboratorial, não modificaram seu diâmetro com a queda. O outro solo que não teve seu diâmetro modificado mas que é classificado como areia (FS1), provavelmente obteve esse resultado pela combinação de má seleção granulométrica e o predomínio do argilomineral esmectita.

5.2.3 Ensaio do cordão ou consistência

Este ensaio demonstra a coesão e plasticidade da terra em determinado teor de umidade. Seus resultados foram comparados à análise granulométrica (Figura 26). Foram realizadas as seguintes conclusões:

- A única amostra classificada como alta plasticidade, assim como consta na Tabela 4, apresenta alta quantidade de argila (41%).
- As amostras classificadas como alta/média plasticidade foram classificadas no ensaio laboratorial como silte arenoso e areia - silte - argila.
- As amostras classificadas como média plasticidade foram classificadas no ensaio laboratorial como areia - silte - argila, areia siltosa e areia.
- A amostra classificada como média /baixa plasticidade foi classificada no ensaio laboratorial como areia siltosa.
- A amostra classificada como baixa plasticidade / orgânica foi classificada no ensaio laboratorial como areia siltosa.
- As amostras que não formaram cordão, com plasticidade muito baixa, foram classificadas no ensaio laboratorial como areia siltosa e areia.
- Através da comparação com o ensaio laboratorial podemos concluir que a consistência dura da bola, formada neste ensaio, indica presença de muita argila. Terras classificadas como areia - silte - argila apresentam como resposta plasticidade, média ou média/alta. A amostra classificada como silte arenoso apresenta média/alta plasticidade enquanto a amostra silte argiloso apresentou alta plasticidade. As amostras classificadas como areia siltosa e areia podem possuir plasticidade de média a muito baixa, sendo impossível formar cordão.
- A plasticidade média apresentada por algumas amostras de areia e a plasticidade baixa apresentada por outra está relacionado a características que não podem ser observadas no diagrama triangular (Figura 25) mas provavelmente está relacionado à composição granulométrica e o tipo de argilomineral presente.
- Em geral, o ensaio representa bem a quantidade de finos presente na amostra, alcançando maior comprimento quanto maior for esta quantidade.
- Este ensaio é difícil de ser realizado por leigos, exige muito tempo para se conseguir chegar aos 3 mm de largura e em alguns casos é necessária a retirada dos materiais grosseiros, processo não descrito nas referências.

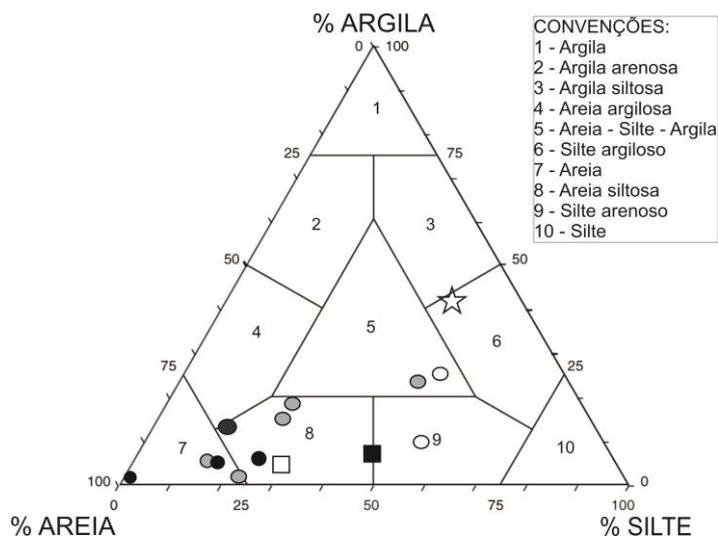


Figura 26: comparação entre resultados do ensaio do cordão e granulometria mostrando que plasticidade acompanha aumento da quantidade de finos. Estrela: plasticidade alta; círculo branco: plasticidade alta/média; círculo cinza claro: plasticidade média; círculo cinza escuro: plasticidade baixa; círculo preto: plasticidade muito baixa, quadrado branco: plasticidade baixa/orgânica; quadrado preto: orgânica.

5.2.4 Ensaio da fita

Os resultados deste ensaio foram comparados aos resultados de granulometria realizados em laboratório (Figura 27), as conclusões obtidas seguem abaixo:

- Assim como comentado nas referências consultadas, todas aquelas amostras que alcançaram comprimento entre 5 e 10 cm são arenosas, algumas classificadas como areia e outras como areia siltosa.
- As amostras que alcançaram comprimento entre 10 e 20 cm não são arenosas, com exceção da amostra IFS1, mas esta, entre todas dentro da classificação de areia siltosa, é a que possui mais argila, justificando o resultado.
- Durante a realização dos ensaios se observou que é muito difícil utilizar a mesma umidade presente no ensaio anterior.
- A comparação mostra uma relação direta entre o comprimento da fita e a quantidade de finos de cada amostra.

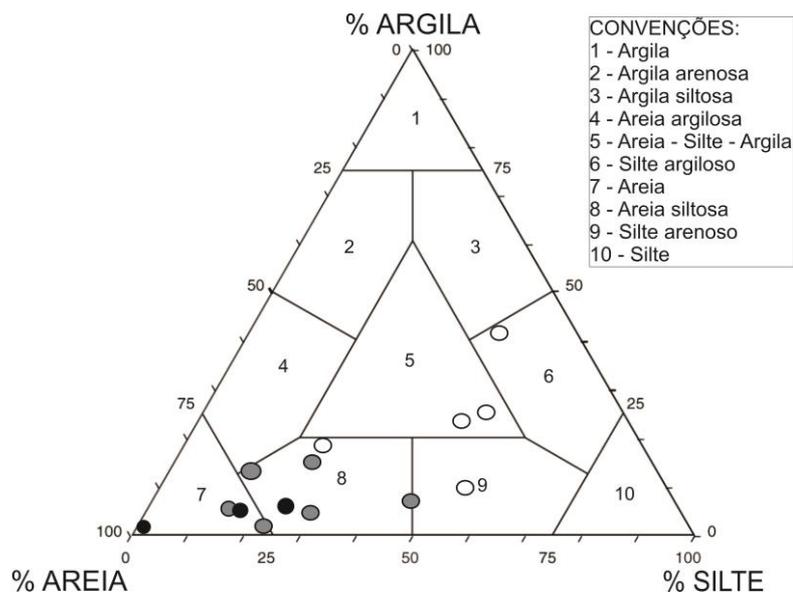


Figura 27: comparação entre resultados do ensaio da fita e granulometria mostrando que aumento no comprimento acompanha aumento da quantidade de finos. Círculo branco: comprimento entre 10 e 20 cm; cinza: comprimento entre 4 e 10 cm; preto: não foi possível realizar ensaio devido à baixa plasticidade.

5.2.5 Ensaio do Rolo

Este ensaio pretende verificar a adequação da terra para utilização da técnica de taipa. Foi realizada a comparação dos resultados com a análise granulométrica (Figura 28), as conclusões sobre esta seguem abaixo:

- As amostras que apresentaram resultado satisfatório para utilização em taipa, comprimento entre 8 e 12 cm, são classificadas como areia siltosa, silte arenoso e areia - silte - argila.
- As amostras que não atingiram 8 cm apresentam menor conteúdo de argila e maior conteúdo de areia.
- A amostra que chegou a 14 cm é classificada como silte argiloso e é a amostra com mais argila.
- A amostra AVS3 não possui argila suficiente para formar o rolo.
- Uma fragilidade desta análise está na falta de especificação sobre a borda da mesa utilizada e grau de umidade. Em Minke (2008) é sugerido um teste similar com melhor definição metodológica mas que exige alguns objetos específicos. Neste, é sugerida a utilização de uma mesa com borda arredondada de 10 cm de diâmetro e grau de umidade definido utilizando o ensaio de queda da bola.

- A terra das amostras RMM, AVM e GS1 é utilizada para técnica de taipa de mão mas as duas últimas não atingiram comprimento proposto pela referência utilizada. A amostra GS1 é misturada a esterco que pode atuar de forma similar à da argila, explicando o comprimento resultante de 4 cm. A amostra AVM atingiu 6,5 cm. Conhecendo as fragilidades do ensaio é possível que algumas modificações metodológicas fizessem com que AVM fique dentro da faixa adequada para utilização em taipa.

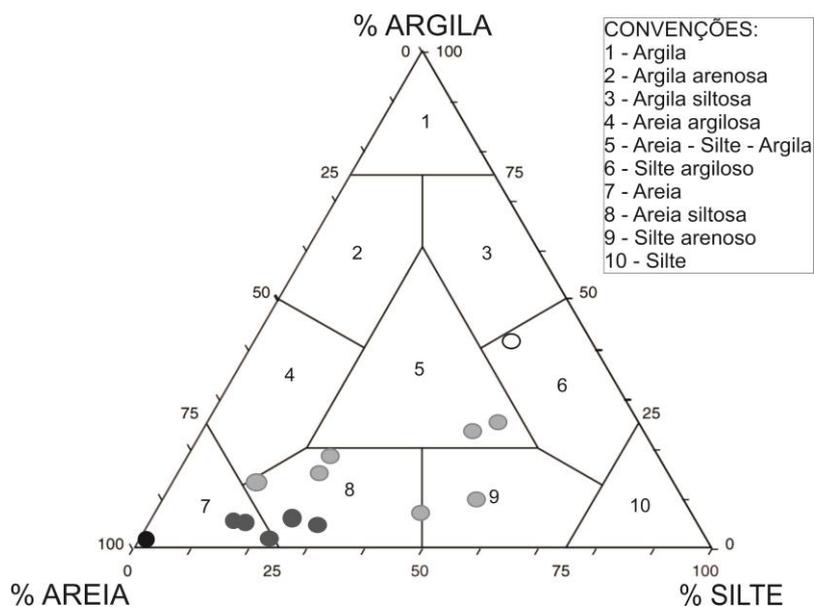


Figura 28: comparação entre resultados do ensaio do rolo e granulometria mostrando que aumento no comprimento acompanha aumento da quantidade de argila. Cinza claro: comprimento entre 8 e 12 cm; cinza escuro: comprimento menor que 8 cm; branco: comprimento maior que 12 cm.

5.2.6 Ensaio da resistência seca

Os resultados deste ensaio foram comparados aos resultados de granulometria realizados em laboratório (Figura 29), as conclusões retiradas desta seguem abaixo:

- As amostras que apresentaram pior resultado são as com menor quantidade de argila, classificadas como areia e areia siltosa. Este resultado é condizente com o que diz na referência.
- As amostras AVM e RMM apresentaram resistência um pouco menor do que a maioria das amostras, inclusive amostras com menos argila. Este resultado é de difícil interpretação, mesmo levando em consideração o tipo de argila de cada, já que amostras com mais resistência possuem menos argila e mesmo argilomineral.

- A definição dada na referência utilizada é diferente da encontrada nos ensaios. As amostras com maior resistência são classificadas como silte argiloso, silte arenoso, areia - silte - argila, areia siltosa e areia enquanto que se sugere este resultado a terra argilosa.

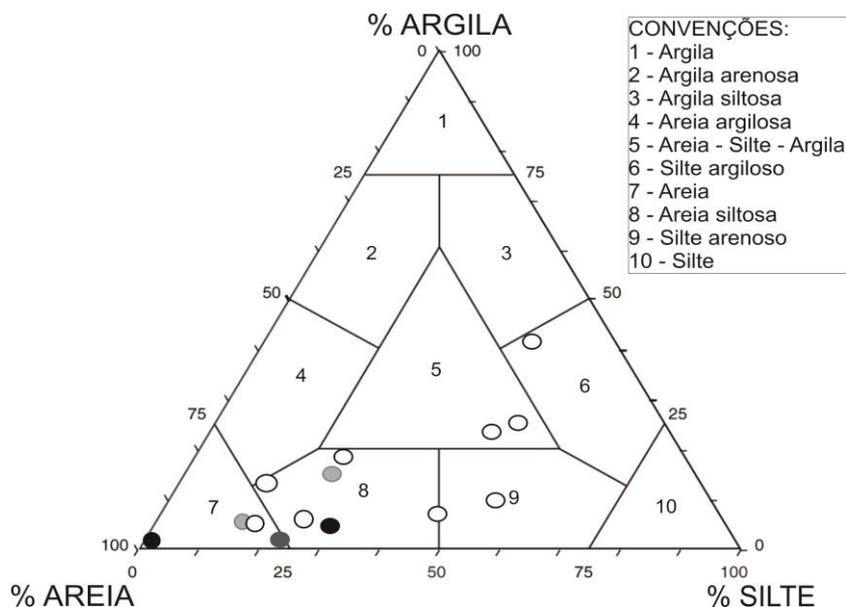


Figura 29: comparação entre resultados do ensaio da resistência seca e granulometria mostrando que aumento da resistência acompanha aumento da quantidade de argila. Branco: resistência alta; cinza claro: resistência média; cinza escuro: resistência baixa; Preto: resistência muito baixa.

O resultado sobre as fissuras de retração também foi comparada aos resultados de granulometria de laboratório (Figura 30). As conclusões retiradas desta seguem abaixo:

- Relação direta entre quantidade de argila e a quantidade de fissuras.
- As amostras RMM e RMS2 demonstram presença de fissuras mesmo com igual quantidade de argila de outras amostras sem fissuras. Isto se deve a características que não podem ser observadas no diagrama triangular mas provavelmente está relacionado à composição granulométrica e o tipo de argilomineral presente, neste caso, as duas amostras apresentam esmectita como argilomineral, mineral com alta expansão/contração.

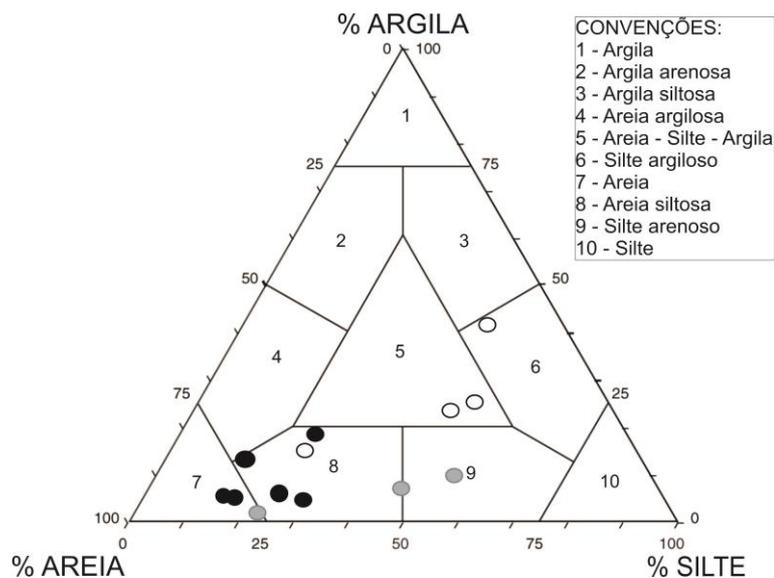


Figura 30: comparação de fissuras em pedaços de rolo pós secagem e granulometria mostrando que aumento das fissuras acompanha aumento da quantidade de argila. Branco: fissuras com mais de 0,5 mm; cinza: fissuras com menos de 0,5 mm; preto: ausência de fissuras.

5.3 MISTURAS DE TERRA

5.3.1 *Granulometria*

A comparação da composição granulométrica das misturas de terra pode ser observada no diagrama triangular abaixo (Figura 31) e mostra que a amostra RMM apresenta mais argila em relação às outras. A capacidade de plasticidade, coesão e retração do solo está intimamente ligada à quantidade e aos tipos de argilominerais. Esta relação pode ser observada pela análise dos resultados dos adobes gerados com estas mistura. Os adobes fabricados com o solo da amostra RMM tiveram retração pelo menos duas vezes maior que os demais.

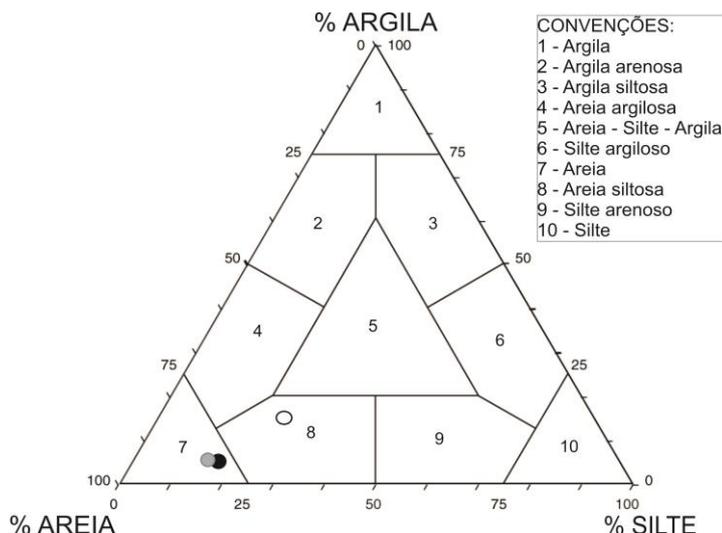


Figura 31: Diagrama triangular de classificação de sedimentos de acordo com a granulometria. Preto: Rolante, branco: Maquiné, cinza: São Francisco de Paula (segundo Shepard, 1954).

A má seleção granulométrica é uma característica positiva para aumento da capacidade compressiva dos materiais. A única amostra que não apresenta uma má seleção é a GM, principalmente por não envolver mistura de dois solos. Os resultados desta variável podem ter sido determinantes nos resultados do ensaio de compressão, onde os adobes elaborados com este solo suportaram menos carga.

5.3.2 Grau de umidade, retração e densidade

Durante a fabricação dos adobes foi observado que a mistura de terra AV (São Francisco de Paula) e RM (Maquiné) apresentava umidade adequada, pois ao retirar a forma, os mesmos mantinham-se firmes, enquanto a G estava com mais água do que deveria, resultando em deformação durante a retirada da forma. A mistura RM apresenta uma quantidade de argilominerais superior em relação às outras misturas de terra e entre os argilominerais está a esmectita, com alta capacidade de expansão/contração e absorção de água. Estas características foram responsáveis pelo alto grau de umidade de 36,73%, alta retração volumétrica, 36,33%, e variação positiva na densidade da mistura RM.

As variações na densidade, pré e pós secagem, estão ligada à perda de água e à forma de ocupar os espaços vazios. Em RM a perda da água foi acompanhada de contração dos argilominerais (esmectita), diminuindo os espaços vazios. Em AV, o argilomineral (caolinita) não possui a mesma capacidade contrativa, além disso, a argila representa uma fração muito menor, cerca de 4% dos constituintes

inorgânicos, então a perda de água aumentou os espaços vazios. G também apresenta esmectita, como RM, mas a quantidade de argila é muito mais baixa, cerca de 4% dos constituintes inorgânicos, então há uma retração maior que a de AV mas menor que a de RM. Como houve um excesso de umidade durante a produção de G a perda de água não foi acompanhada de contração das argilas, aumentando o número de espaços vazios e diminuindo a densidade.

A umidade utilizada em G foi próxima da utilizada em RM. Levando em consideração a quantidade de argila, o grau de umidade ótimo para G seria próximo do usado para AV, em torno de 21%, que respondeu bem na fabricação dos adobes.

No ensaio de campo resistência seca, a única amostra, com proporção granulométrica das mistura de terra (AVM, GS1 e RMM), que apresentou fissuras de retração foi a RMM (utilizada na mistura dos adobes RM). Nos adobes desta mistura de terra não foram observados fissuras. Provavelmente isto se deve à presença de fibras vegetais na mistura de terra dos adobes e ausência na amostra do ensaio de campo.

5.3.3 *Compressão sobre adobes*

Segundo Minke (2003), as resistências à compressão de adobes, BTCs e taipa de pilão normalmente ficam entre 5 e 50 Mpa. Este valor depende tanto do tipo e da quantidade de argila quanto da distribuição granulométrica. A resistência admitida para construção de terra pela norma alemã DIN 18954 vai de 3 (para densidade de 1600 kg/m³) a 5 Mpa (para densidade de 2200kg/m³). Análises de compressão em edificação de cinco pisos, com taipa de pilão de 1828, e ainda em uso, apresentam resistência máxima, em sua base, de 7,5 Mpa. Os adobes ensaiados suportaram em média: 0,72, RM; 0,61, AV; e 0,45 Mpa, G. Comparando com os resultados das referências vemos que apresentam capacidade mais baixa que a admitida na norma alemã. Dentre as três misturas, a RM se destaca, com maior resistência e menor densidade. A mistura G provavelmente não obteve resultados melhores pelo excesso de umidade. Entre os fatores que podemos observar diante destes resultados estão:

- Grau de umidade provavelmente acima da umidade ótima, ganhando plasticidade mas não atingindo todo potencial de densidade, importante para maior resistência.

- Proporção granulométrica desenvolvida com intuito de diminuir rachaduras/fissuras e não de suportar cargas. Adobe pode ser mais argiloso que mistura de terra utilizada em taipa de mão, pois retração acontece fora da parede, não tem o problema da retração de todo material de uma parede se acumular em poucas rachaduras.
- Presença de matéria orgânica de formas, tamanhos e grau de decomposição variados, cujos efeitos na resistência a compressão não são conhecidos.
- Falta de experiência na realização da metodologia.

As amostras de mistura de terra utilizadas para os adobes não foram produzidas ou adaptadas especificamente para esta técnica, elas são as misturas de terra que os bioconstrutores consultados costumam usar. Estes materiais têm sido usados principalmente para preenchimento, em Rolante e em Maquiné. Em Maquiné, em alguns casos específicos, ele tem sido usado com função estrutural, com a técnica de superadobe. Em São Francisco de Paula tem se utilizado técnicas mistas, principalmente o COB, mas sem função estrutural. Portanto, nota-se a importância da espessura das paredes e da diminuição da densidade do material, por incremento de fibras, na medida em que as paredes ganham altura.

Para facilitar a observação e comparação das características atribuídas aos adobes e suas respectivas misturas de terra, segue abaixo resumo (Tabela 11).

Tabela 11: resumo de características obtidas com análises, resultados com destaque positivo (verde) e resposta mais vantajosa de cada característica medida.

	Rolante	SFP	Maquiné	Vantagem
Umidade utilizada	32,88% Alta	21,25% Próxima da ótima	36,73% ótima	Ótima
Retração	15,79%	11%	36,33%	Baixa*
Variação na densidade	-19,94%	-11,19%	0,44%	Depende**
Densidade	1447	1756	1499	Maior possível**
Seleção granulométrica	Alta	Baixa	Baixa	Baixa
Quantidade de argila	Baixa	Baixa	Alta	Depende***
Argilominerais presentes	Ilita e Caolinita	Caolinita	Caolinita e esmectita	Depende****
Resistência à compressão	0,45	0,61	0,72	Maior possível

* Em técnicas de alvenaria (adobe, BTC, etc) retração alta não é um problema.

** Na maioria dos casos, quanto maior a densidade, melhor, pois a resistência também é maior. A exceção ocorre no material utilizado na parte superior de paredes altas, que precisa ser mais leve.

*** A quantidade de argila deve ser suficiente para garantir coesão e plasticidade mas baixa para reduzir retração.

**** Esmectita ao mesmo tempo que tem alta capacidade de expansão/retração, tem elevada plasticidade e coesão. Ilita e caolinita apresentam menor retração mas menor plasticidade e coesão.

5.4 Compilação sobre os solos para bioconstrução

Através do diagrama triangular da Figura 25 (página 81), podemos observar que cinco amostras de solos de Rolante (FS1, GS1, IFS1, IFS2 e MGS1) apresentam composição granulométrica próxima à utilizada em bioconstruções, sem necessidade de estabilização granulométrica.

Dentre estas, a amostra FS1 apresenta zeólita, mineral com baixa resistência à ação mecânica e às intempéries. MGS1 é de um horizonte superficial do solo e provavelmente contém quantidade significativa de matéria orgânica. Estas duas amostras são de solos rasos. Todas estas características desfavorecem ou trazem a necessidade de maior cuidado para sua utilização.

As amostras de solos em encosta basáltica, FS2 e RS1, apresentam alta quantidade de finos. Provavelmente podem ser utilizados se estabilizados com areia. Assim como FS1 e MGS1, RS1 também provém de um solo raso.

Observando os argilominerais presentes nas amostras podemos concluir que os solos de encosta basáltica, com esmectita, tem alto potencial para técnicas de alvenaria, já que apresentam alta plasticidade e coesão mas também alta retração.

Os solos provenientes de relevo ondulado, originados a partir de arenito, apresentam caolinita, com baixa retração, possuindo alto potencial também para técnicas de preenchimento como a Taipa de mão e pau a pique ou monolíticas, como o COB.

Os solos provenientes do vale, podem apresentar variação no tipo de argilomineral dependendo da fonte de sedimento, já que este solo é transportado e não se defini pela rocha mãe. Em Rolante, foi observado a presença de caolinita e ilita, ambos com baixa retração, mostrando novamente alto potencial para técnicas de preenchimento como a Taipa de mão e pau a pique ou monolíticas, como o COB. Em Maquiné, o solo do vale apresenta caolinita e esmectita. A presença do segundo novamente sugere a utilização de técnicas de alvenaria.

Para reduzir os efeitos da retração principalmente nos solos com esmectita, pode-se utilizar estabilização com fibras vegetais, desta forma pode-se utilizar técnicas diferentes das de alvenaria.

A Tabela 12 apresenta as principais características observadas nos solos estudados para uso em bioconstrução.

Tabela 12: características dos solos estudados importantes para bioconstrução. Destacada em amarelo características que podem trazer desvantagem no uso do solo ou requerem maior atenção.

Localização	Relevo	AMOSTRA	Granulometria	Argilominerais	Esp. do solo	Resistência seca
SFP	Planalto	AVS1	Muito silte	Caolinita	Profundo	Alta
	Planalto	AVS2	Muito silte	Caolinita	Profundo	Alta
Maquiné	Encosta	RMS1	Pouca areia	Caolinita e esmectita	Profundo	Alta
	Vale	RMS2	Pouca argila	Caolinita e esmectita	Raso	Baixa
Rolante	Vale	GS1	Adequada	Caolinita e ilita	Profundo	Alta
	Encosta	FS1	Adequada	Esmectita	Raso	Alta
	Encosta	FS2	Pouca areia	Caolinita e esmectita	Profundo	Alta
	Encosta	RS1	Pouca areia	Caolinita e esmectita	Raso	Alta
	Ondulado	IFS1	Adequada	Caolinita	Profundo	Alta
	Ondulado	IFS2	Adequada	Caolinita	Profundo	Alta
	Encosta	MGS1	Adequada	Caolinita e esmectita	Raso	Muito baixa

Observando a tabela podemos concluir que os solos com melhores aptidões para bioconstrução, provavelmente sem necessidade de estabilização, são os do vale ou de relevo ondulado, relacionado ao arenito.

5.5 Técnica construtiva

“A gente tem que, acho, que resgatar as origens nossas e concentrar ali para manter elas vivas”, comentário de Marcelo sobre a escolha pela técnica de pau a pique, utilizada por povos indígenas e quilombolas.

Cada técnica construtiva apresenta seus aspectos positivos e negativos, deve-se avaliar cada caso de acordo com as intenções, mão de obra e materiais disponíveis. Percebemos durante este trabalho uma preferência pela técnica de pau a pique, sendo a principal técnica empregada em dois dos três locais com bioconstruções de terra visitados. Esta técnica vem sendo utilizada, no estado do RS e grande parte do Brasil, há séculos e provavelmente é a mais adaptada às nossas geodiversidades. Tem como vantagens: facilidade de execução, pode ser realizada por apenas uma pessoa, não depende de condições atmosféricas (se erguido telhado em etapa anterior), pode ser utilizada de forma artística e livre, com utilização de diferentes materiais, não é necessário material com alta capacidade de

compressão. Segundo bioconstrutores, ainda apresenta capacidade de controle de temperatura interior similar ou igual à de técnicas que utilizam mais terra ou mão de obra. As paredes nesta técnica não têm função estrutural, sendo necessário suporte para telhado, o que pode demandar um custo com materiais externos mas que permite que a obra não pare ou fique comprometida por conta de chuva. Solos com presença de esmectita podem ser utilizados para esta técnica desde que estabilizados com fibras vegetais.

Demais técnicas, como COB, Coderwood, adobe e BTC também apresentam suas vantagens e podem ser utilizadas levando em consideração os aspectos já levantados. As técnicas taipa de pilão e superadobe também são boas opções mas na maioria dos casos exigem conhecimentos específicos e avançados sobre o material e sobre detalhes arquitetônicos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 PROPÓSITO E MODIFICAÇÕES NO PROJETO DO TRABALHO

Este estudo teve como propósito: aplicar as ferramentas da geologia e trazer o “olhar” do geólogo para a análise dos materiais utilizados em bioconstruções a fim de resgatar essa forma de construção e, com isso, incentivar e auxiliar pessoas comuns a utilizarem materiais naturais em construções. O projeto inicial previa a identificação e quantificação de jazidas de solo e elaboração de uma pesquisa de opinião com a população de Rolante para verificar o interesse desta pelo assunto. Durante o andamento, desisti destas etapas.

A etapa de identificação e quantificação de jazidas foi abandonada diante das seguintes observações:

- A maioria dos solos em estudo apresentam profundidade maior que 1 m, sendo suficiente para pequenas construções em locais pouco urbanizados¹³.
- O local de extração de solo para utilizar em bioconstruções normalmente, ou idealmente, é o próprio local destas. Se a distância entre matéria prima e construção for grande, o impacto ambiental gerado pelo consumo de energia e poluição do transporte necessário faz a construção perder seu carácter “bio”, não se enquadrando mais na definição de bioconstrução.
- Jazidas identificáveis para escala de município servem para fomento de indústrias e extrações de grande porte, que sempre terão algum impacto ambiental, perdendo o carácter “bio”.
- As geodiversidades, assim como a natureza, seguem padrões complexos que não permitem muita extrapolação, os dados adquiridos sobre espessura e características de solo são pontuais e embora sejam representativas quando se considera geologia e relevo, não podem ser aplicados de forma indiscriminada, sendo necessário o reconhecimento e leitura de cada paisagem em que se pretenda bioconstruir.

¹³ A viabilidade de bioconstruções depende principalmente das características do solo (tratadas neste trabalho), da disponibilidade deste e de outros materiais necessários, da profundidade dos solos e do tipo de técnica construtiva. Estes itens devem ser avaliados para cada caso.

A pesquisa de opinião, embora importante para verificar valores socioculturais e nortear a maneira como os resultados devem ser apresentados, se mostrou inviável, pelo tamanho do trabalho necessário para adquirir respostas representativas e por se tratar de uma área que foge à formação e ensinamentos obtidos no curso de Geologia da UFRGS.

6.2 CONTRIBUIÇÃO PARA BIOCONSTRUTORES

Rolante apresenta cinco tipos de solo, que se distinguem por mudanças das geodiversidades, principalmente litologia, relevo e clima. A identificação do tipo de solo pode ser realizada a partir da identificação do ponto em mapa de solos do RS (Figura 6), observação do mesmo e comparação com perfil (Figura 5), ou determinação da litologia (Figura 4) e relevo local.

Baseado nas conclusões obtidas na discussão dos resultados, abaixo listamos as principais contribuições deste trabalho:

- Para utilização de técnica de taipa de mão ou pau a pique preferencialmente utilizar solo ou mistura de solos com mais de 75% de areia visando reduzir retração.
- Para utilização de técnicas de adobe e BTC utilizar quantidade de areia menor, em torno de 60%, secá-los em local arejado e protegido de chuva.
- As fibras provavelmente ajudam a diminuir as rachaduras durante retração. Palha de grama seca é uma boa opção para obter um bom acabamento.
- O solo de Rolante presente no vale ou em encostas suaves possui boas características granulométricas e mineralógicas para utilização em bioconstrução.
- A maioria dos solos de encosta basáltica apresentam pouca areia, sendo necessário estabilização granulométrica. Os solos de encosta basáltica oriundos de zona de topo/base de derrame possuem maior quantidade de areia mas não se sabe a qualidade desta areia para utilização em construção, se for constituída por zeolita pode gerar problemas devido à baixa resistência do mineral à ação mecânica e às intempéries.

- Levando em consideração as entrevistas realizadas, as culturas construtivas locais e a baixa resistência mecânica encontrada nas misturas de terra, a técnica construtiva taipa de mão ou pau a pique se destaca entre as outras.
- Para utilização de técnicas onde terra é utilizada com função estrutural recomenda-se realizar pesquisa mais detalhada sobre análises de resistência à compressão e normas internacionais sobre a técnica construtiva escolhida. Para estas também é necessário um bom planejamento para que a terra não fique exposta à chuva durante a construção.
- Para verificar as qualidades do solo, principalmente relacionadas à granulometria, utilizar os testes da fita, procurando utilizar solos que atingem comprimento entre 5 e 10 cm e do rolo, não utilizando solos que atingem comprimento de mais de 12 cm. Para verificar os argilominerais fazer diferentes tipos de molde e observar a retração, as rachaduras, resistência, e aspecto visual.

6.3 FECHAMENTO E SUGESTÕES

Espera-se que os resultados deste trabalho venham incentivar a população, órgãos públicos e privados para o uso de solo, de maneira consciente e criativa, em técnicas de construção de terra, dando embasamento para projetos.

Também espera-se em breve conseguir apoio para produzir uma cartilha para divulgação de resultados importantes sobre uso do solo como matéria prima na produção de habitações com técnicas de construção de terra, voltada principalmente para a população de baixa renda e/ou área rural.

Apesar de a questão habitacional ser uma grande problemática de nosso modelo social, principalmente sob aspectos ambientais e econômicos, existem poucas pesquisas e trabalhos na área de construções mais sustentáveis e muito menos sobre características dos solos para uso como matéria prima nestas construções. É, portanto, necessário aprofundamento no tema procurando solucionar questões como:

- Papel de materiais orgânicos em misturas de terra.
- Proporções granulométricas ótimas para cada técnica construtiva.
- Resposta de diferentes argilominerais para diferentes técnicas construtivas.
- Resposta de solos para diferentes técnicas construtivas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6460**: Tijolo Maciço Cerâmico Para Alvenaria - Verificação Da Resistência a Compressão. Rio de Janeiro, 1983.

BORSATTO, S. et al. **Mapeamento geológico da área urbana de Caxias do Sul como etapa da cartografia geotécnica**. 15º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. Bento Gonçalves, 2015

BRASIL. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Rio Grande do Sul**. Ministério da Agricultura – Divisão de Pesquisas Pedológicas. Recife, 1973. 431 p. Boletim técnico 30.

BRASIL.. **Curso de bioconstrução**. Ministério do Meio Ambiente - MMA. Brasília, 2008.

GONÇALVES, T. D.; GOMES, M. I. **Construção de Terra Crua: Potencialidades e Questões em Aberto**. Jornadas LNEC: engenharia para a sociedade, investigação e inovação, cidades e desenvolvimento. 2012.

HOLMGREN, D. **Os fundamentos da permacultura**. Victoria, Holmgren Design Service. Australia, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2010**. Disponível em:
<<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=431600&seasea=rio-grande-do-sul|rolante>>. Acesso em: 28 out. 2016.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000. 113f. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2000.

KRUMBEIN, W. C.. Size frequency distribution of sediments. **Journal of Sedimentary Petrology**, 1934, 4, p. 65 - 77.

MACHADO, F. B. et al. **As rochas intrusivas da Formação Serra Geral na porção leste da bacia do Paraná no estado de São Paulo: aspectos petrográficos e**

geoquímicos – resultados preliminares. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 24, n. 1, p. 5-17, 200. 2005.

MAIA, R. T. **Variáveis técnicas que interferiram no uso de terra para habitação social rural. Caso: Assentamento Rural Sepé Tiaraju.** Serra azul –SP. 2010.

MILANI, E. J. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental.** 1997. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Construções sustentáveis.** Disponível em <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel>. Acesso em: 28 out. 2016.

MINKE, G. **Manual de construcción en tierra.** Montevideo: Editorial Fin de Siglo. 2008.

NEVES, C. et al. **Seleção de solos e métodos de controle em construção com terra-práticas de campo: Rede Ibero-americana PROTERRA.** 2009.

NEVES, C. et al. **Seleção de solos e métodos de controle em construção com terra-práticas de campo.** PROTERRA/CYTED, IV SIACOT/III ATP, 2010.

PENÃFIEL, A. P. P. **Desenhos locais: experiências de bioconstrução no oeste do estado de Santa Catarina com agricultores familiares. Caderno eletrônico de Ciências Sociais,** Vitória, v. 1, n. 1, p. 41-64, 2013.

PIMENTA FILHO, M. D. Á. **Análise da erosão interna de solos em barragens com base na distribuição de 275 vazios.** 2013. Dissertação (Mestrado) – Geotecnia e transportes, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

PINHEIRO, M. **Ambiente e construção sustentável.** Editora Instituto do Ambiente: Lisboa – Portugal, 2006. 243 p.

PROMPT, C. H. 2012 **Arquitetura de terra em unidades agrícolas familiares: estudo de caso no oeste catarinense.** 2012. 176 p. Dissertação (Mestrado). PósArq, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC. 2012.

ROLNIK, R. et al. 1999 O Programa Minha Casa Minha Vida nas regiões metropolitanas de São Paulo e Campinas: aspectos socioespaciais e segregação. **Cadernos Metrópole / Observatório das Metrópoles**. São Paulo: EDUC, n. 1, p. 127/154, 1999.

SANTOS, C. A. D. **Construção com terra no Brasil: panorama, normatização e prototipagem com terra ensacada**. 2015. 290 p. Dissertação (Mestrado). PósArq, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2015.

SOARES, A. P., SOARES, P. C. & HOLZ, M. Heterogeneidades hidroestratigráficas no Sistema Aquífero Guarani. **Revista Brasileira de Geociências**, 38(4): 598-617, 2008.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. EMATER/RS. Porto Alegre, 2002.

WENTWORTH, C. K. A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. **The Journal of Geology**, 1922. v. 30, n. 5, p. 377-392. (Jul. - Aug., 1922) <https://doi.org/10.1086/622910>

APÊNDICES

Apêndice A - Fichas de amostragem de campo

Ficha de campo 1

Ponto n°: _____ Data: __/__/____

Participantes: _____

UTM: _____ Altitude GPS: _____

Localização: _____

Situação¹:

Declive:

Cobertura vegetal:

Litologia/estruturas: _____

Solo²: _____

Observações: _____

Número e tipo de amostras: _____

¹ Posição do perfil na paisagem e forma de relevo (planalto, planície, encosta, vale, depressão, planície de inundação, topo, terraço,...).

² Origem (residual ou transportado), horizontes detectáveis, detalhar: cor (nome e notação de Munsell), profundidade (do limite superior e inferior), granulometria, mineralogia, permeabilidade, se é brando, semibrando ou consolidado, transição (variação de espessura do horizonte caso transição não seja plana), presença de raízes.

Ficha de campo 2

Amostra¹:1

Táctil-visual²:	Queda da bola³:
Cordão⁴:	Fita⁵:
Exsudação⁶:	Rolo⁷:
Resistência seca ⁸ :	Caixa ⁹ :
Vidro ¹⁰ :	LL e IP:
DRX:	
Granulometria:	

Amostra:3

Táctil-visual:	Queda da bola:
Cordão:	Fita:
Exsudação:	Rolo:
Resistência seca:	Caixa:
Vidro:	
Granulometria:	

Amostra:2

Densidade¹¹:	Conteúdo de água:
Compactação Proctor ¹² :	MEV:
Compressão ¹³ :	

CAMPO/LABORATÓRIO

Anotar datas de realização de cada teste, dias, locais e pessoas envolvidos.

Observações¹⁴:

¹ Nome e peso. **Solo(1)**: 1 saco 5L, **mistura(2)**:1 balde, 1 saco 30L, 1 pote sorvete **mistura inorgânica sem aditivos industriais(3)**: 1 saco 5L.

² Cor, tamanho das partículas, brilho e tato.

³ Se esfarela ou não, tamanho final da bola, adotar ___ cm como tamanho inicial.

⁴ Duro, suave, frágil ou suave e esponjoso.

⁵ Comprimento/ longa, curta ou não se forma.

⁶ N° de golpes/ rápida, lenta ou muito lenta.

⁷ Comprimento/ argila insuficiente, ideal ou em excesso.

⁸ Grande, média ou pequena.

⁹ Retração em mm.

¹⁰ Proporções em volume.

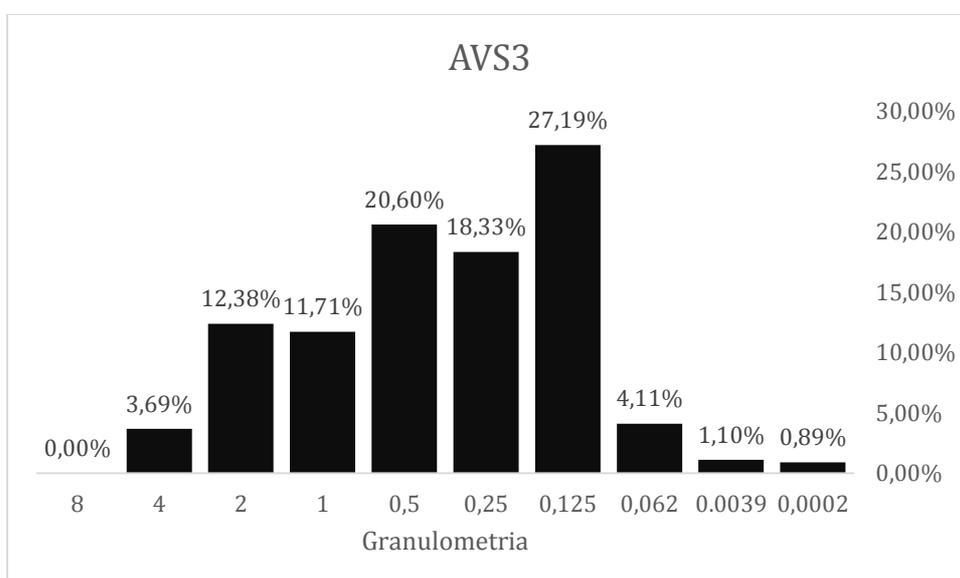
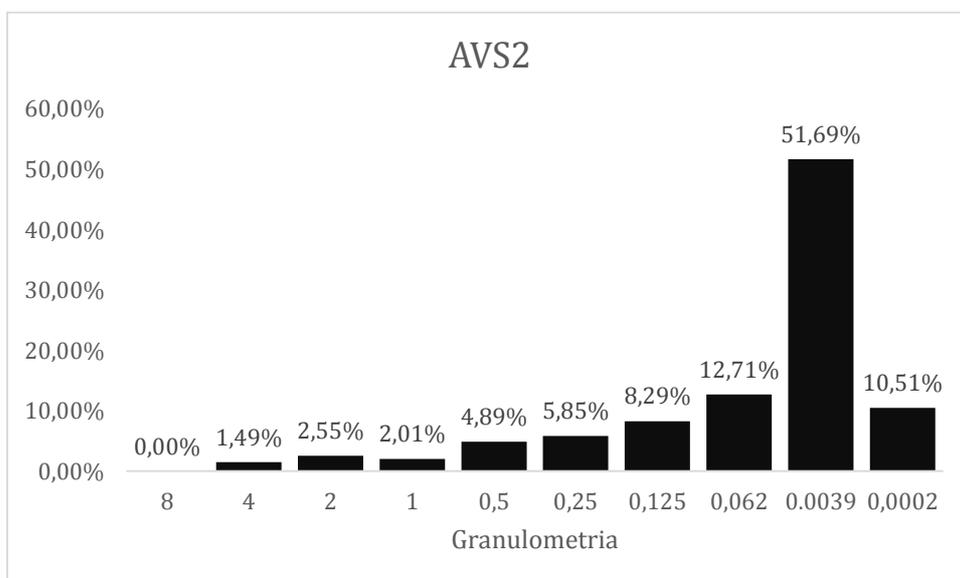
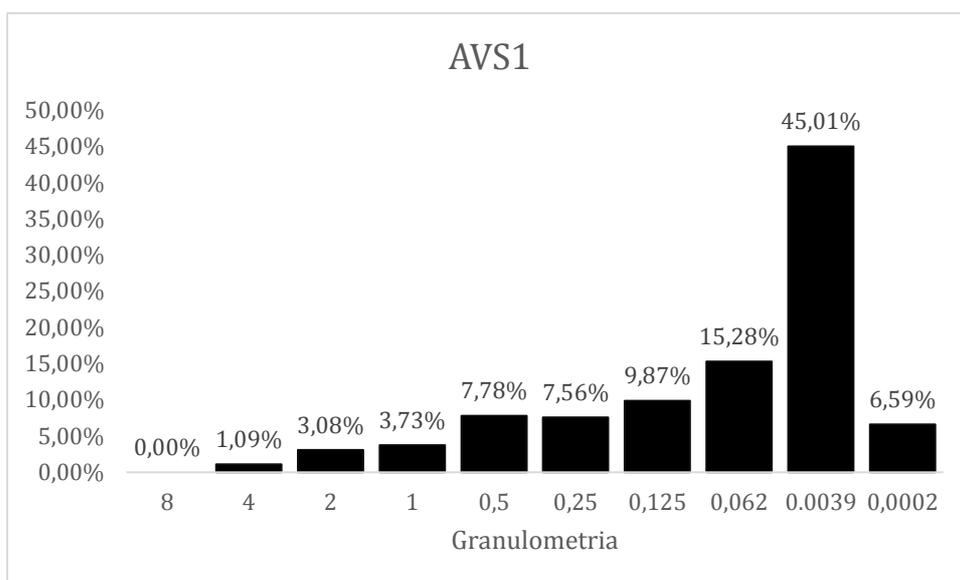
¹¹ Peso e densidade (volume = 2L).

¹² Umidade ótima e máxima compactação.

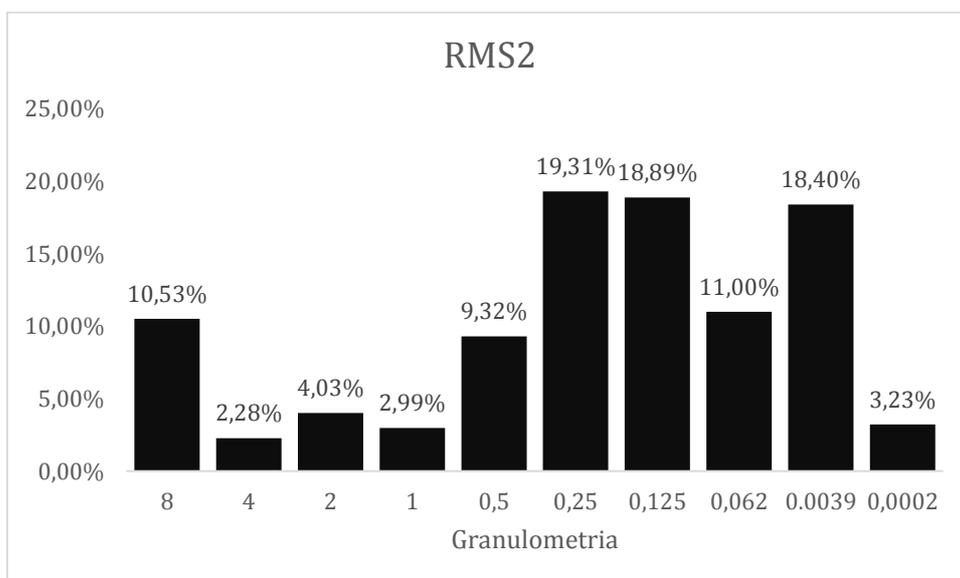
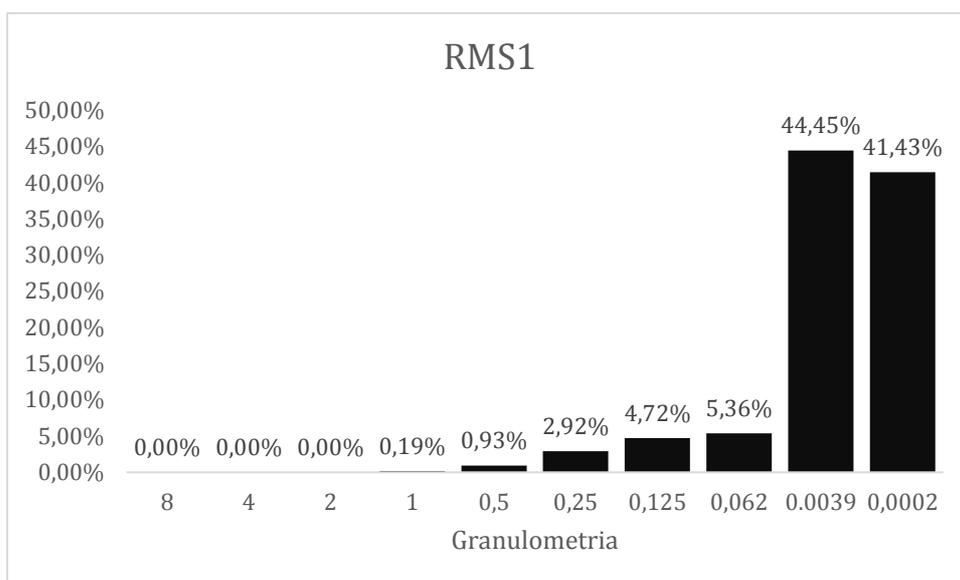
¹³ Adobe.

¹⁴ Número de pontos de extração do solo, horizontes envolvidos,...

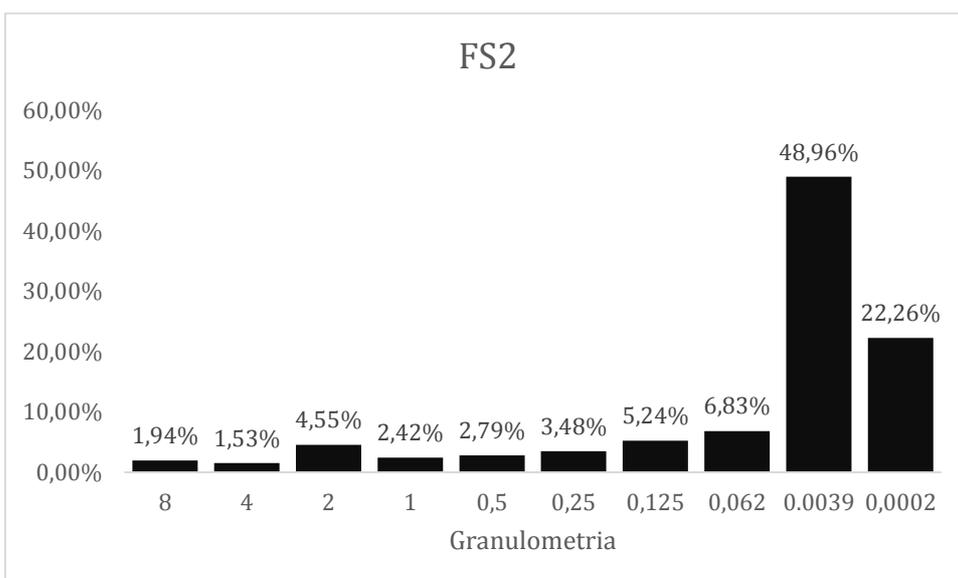
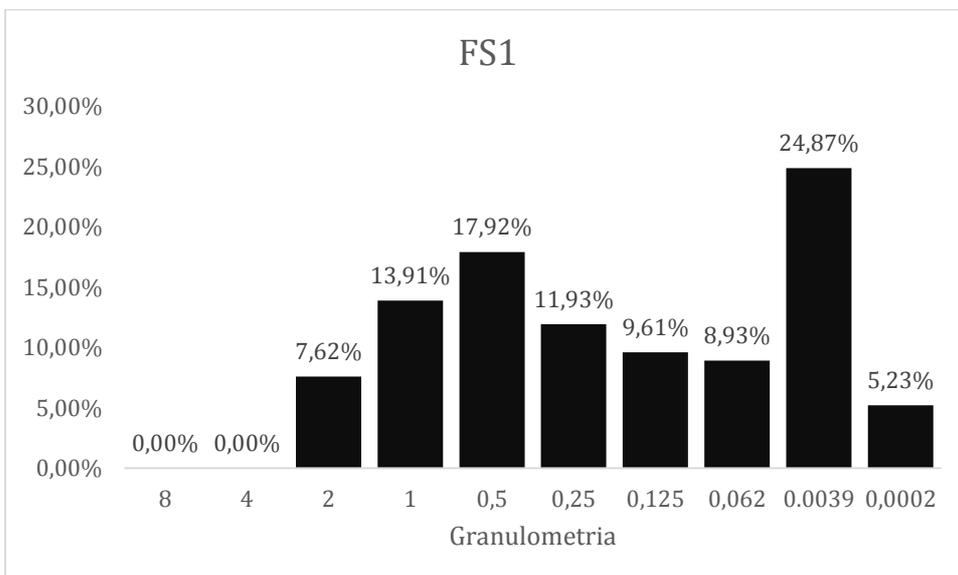
Apêndice B – Histograma de frequência simples dos solos de SFP.

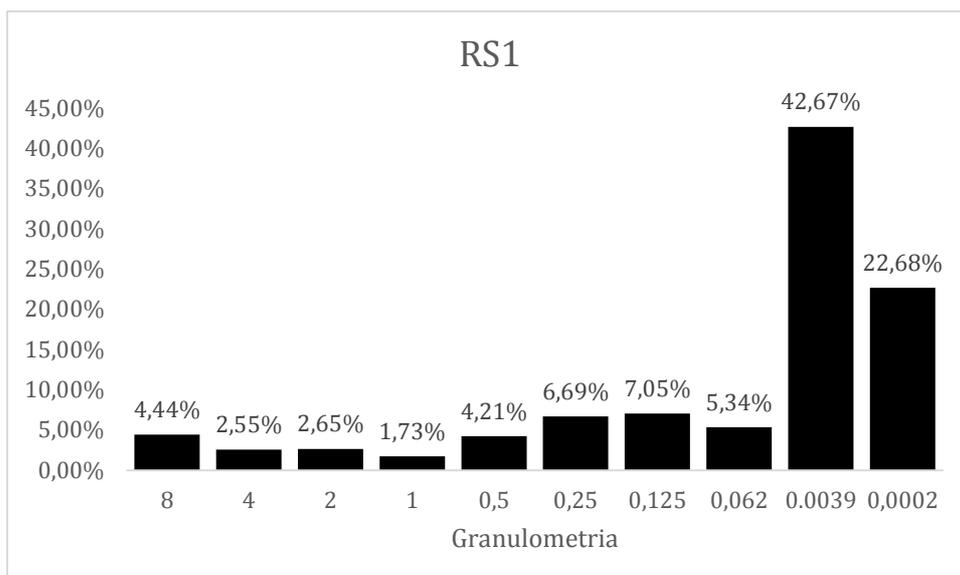


Apêndice C – Histograma de frequência simples dos solos de Maquiné.

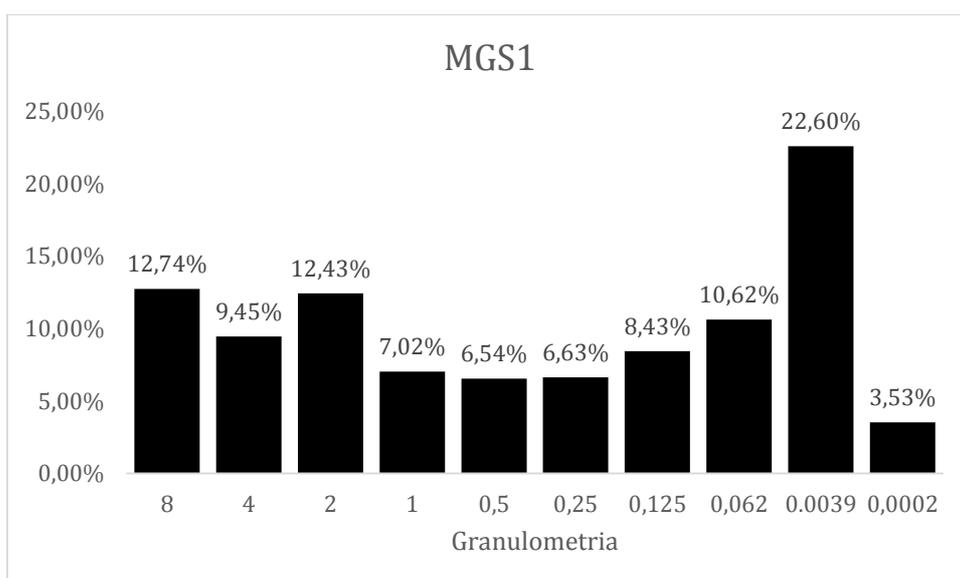


Apêndice D – Histograma de frequência simples dos solos de encosta basáltica.

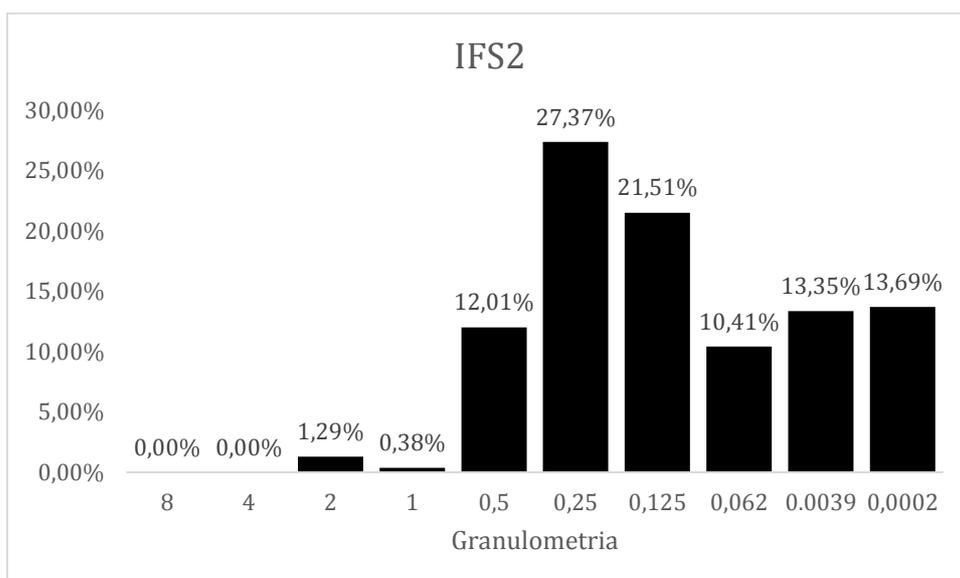
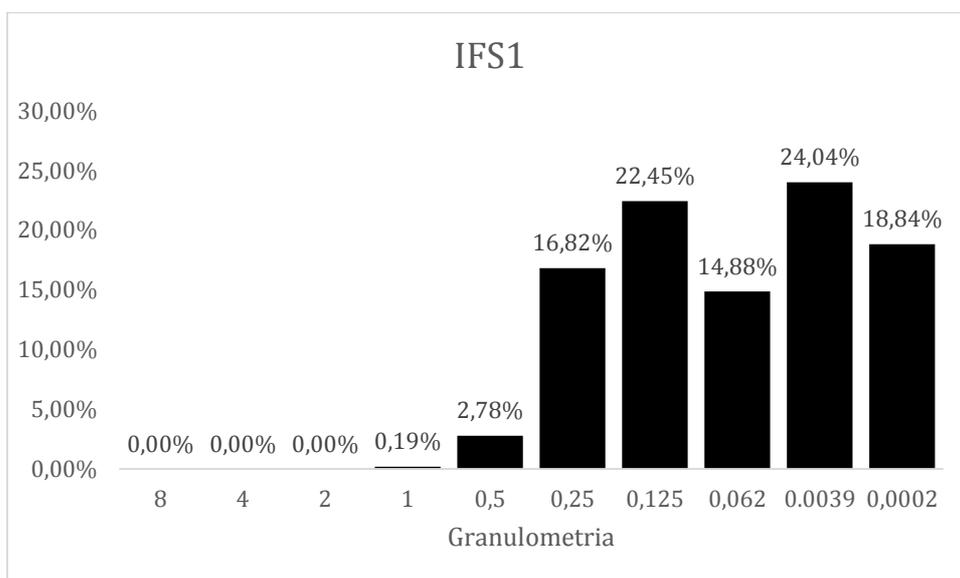




Apêndice E – Histograma de frequência simples dos solos de encosta de ácidas.

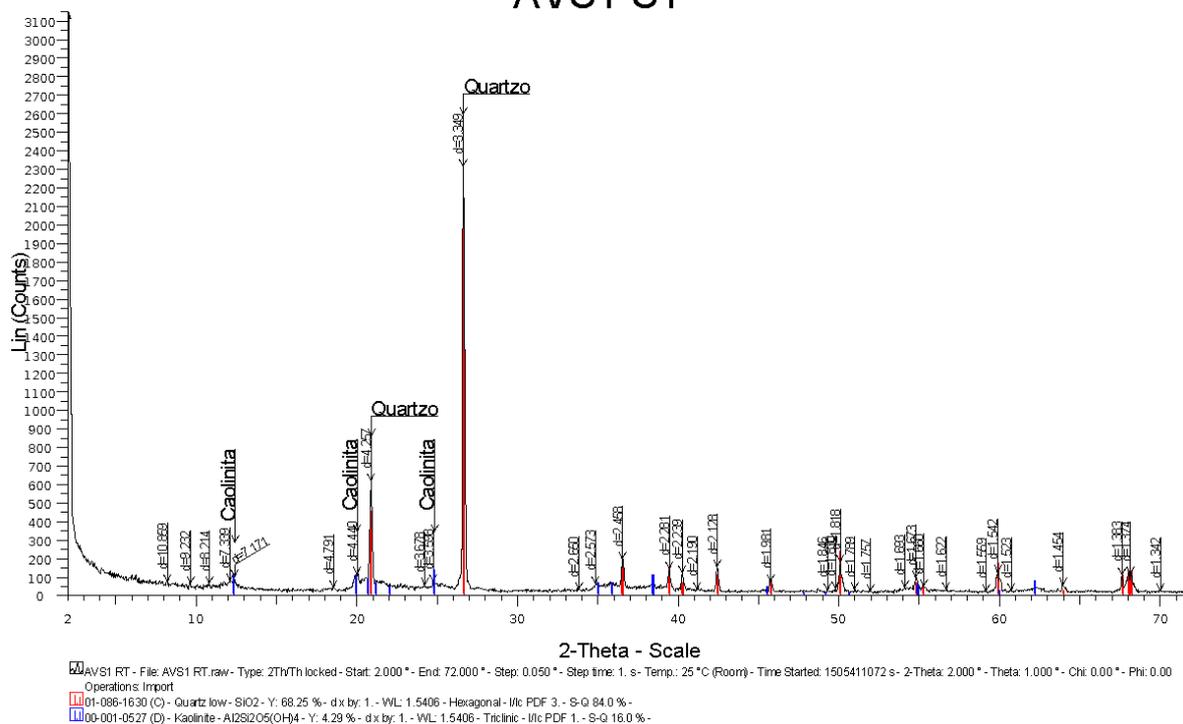


Apêndice F – Histograma de frequência simples dos solos do arenito.

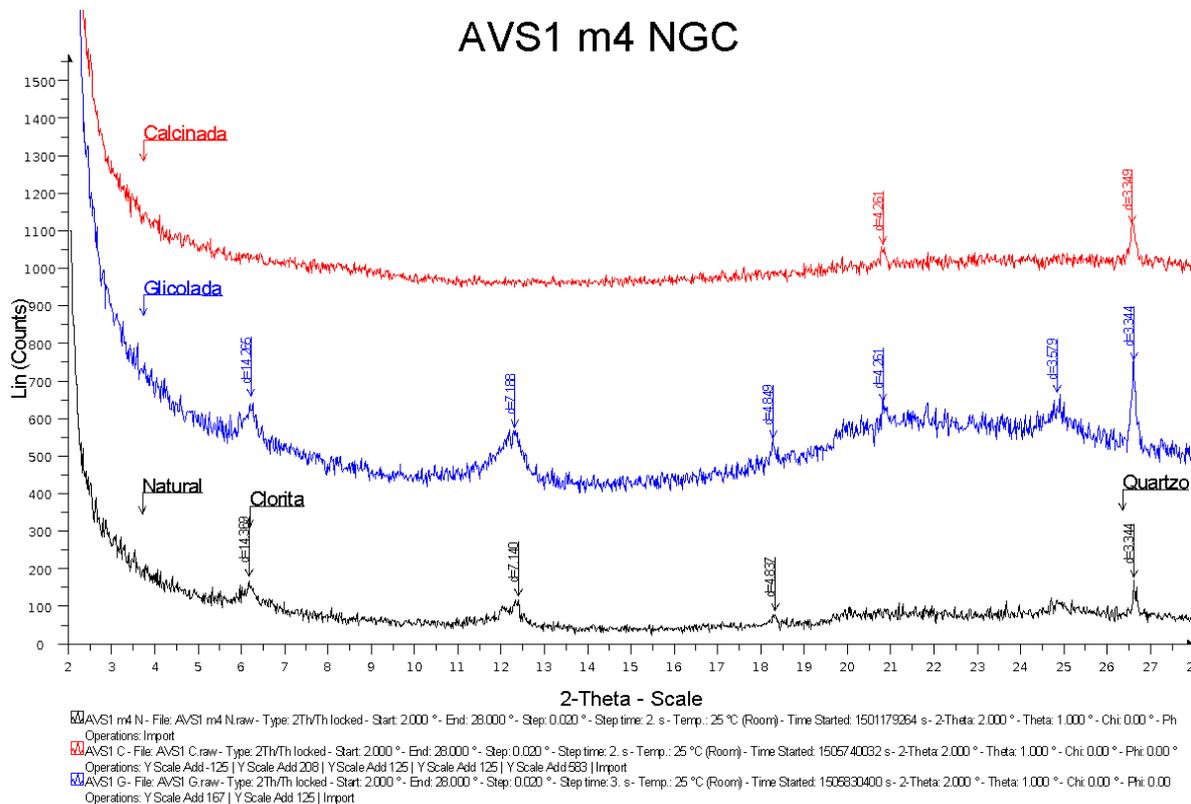


Apêndice G – Difratometria de Raios X de solos de SFP, solo total (ST) e argilominerais (NGC).

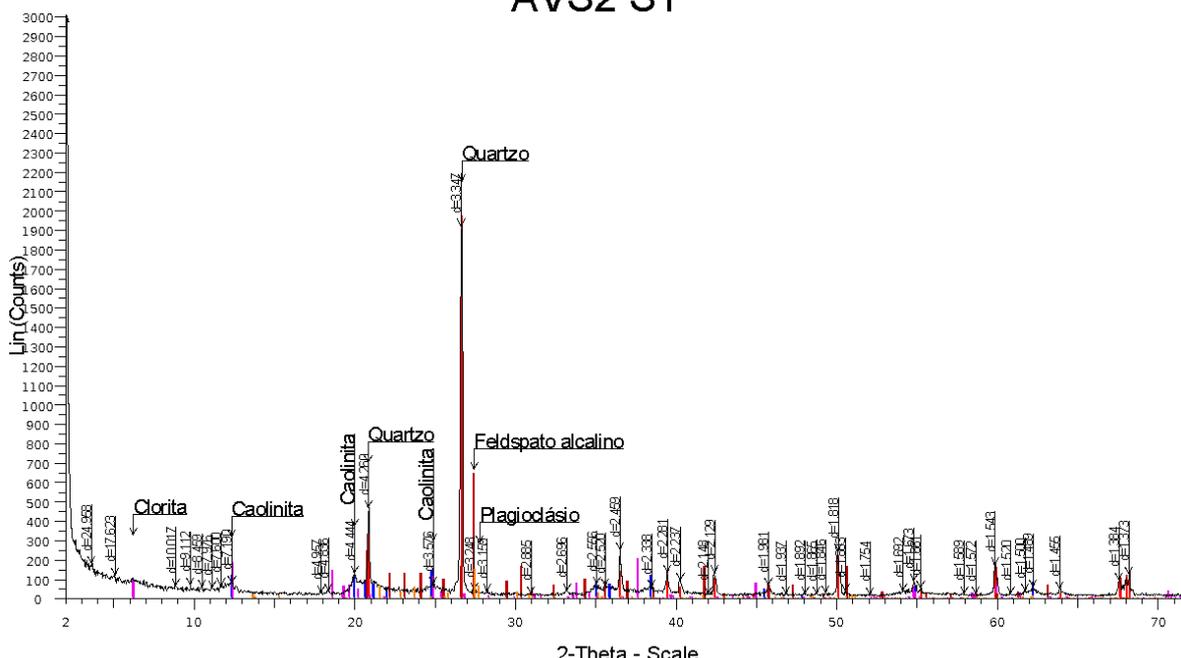
AVS1 ST



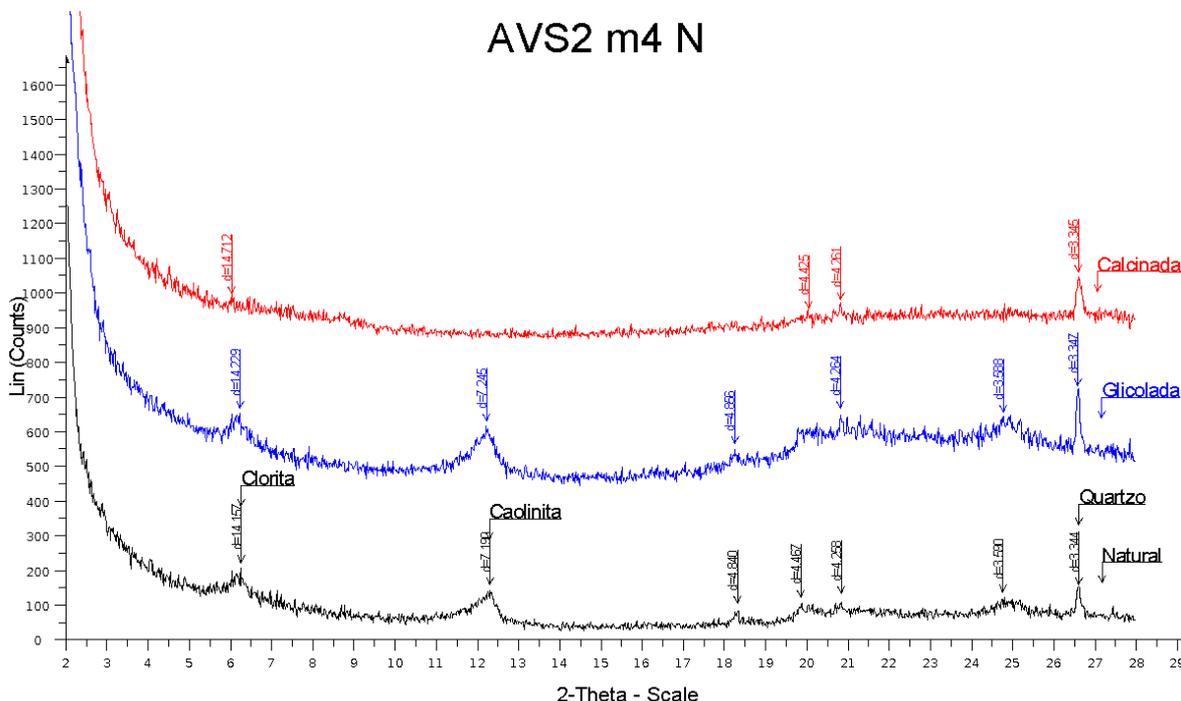
AVS1 m4 NGC

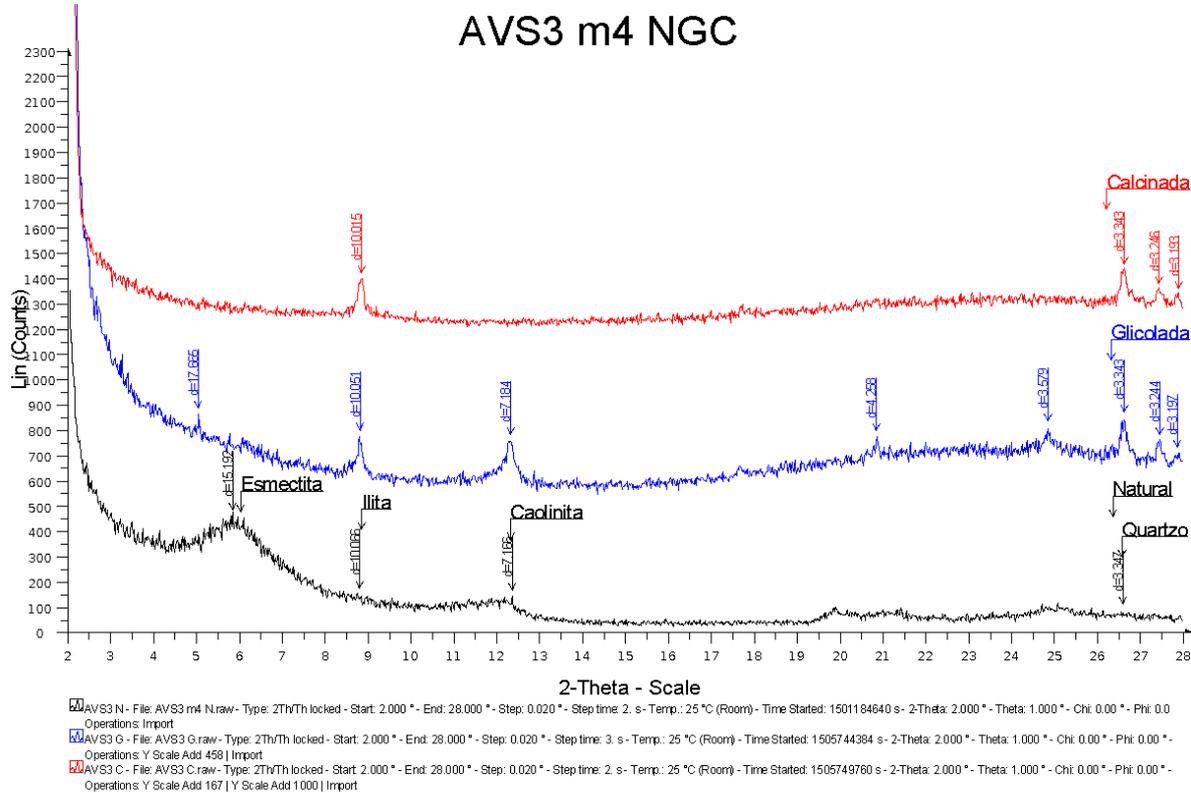
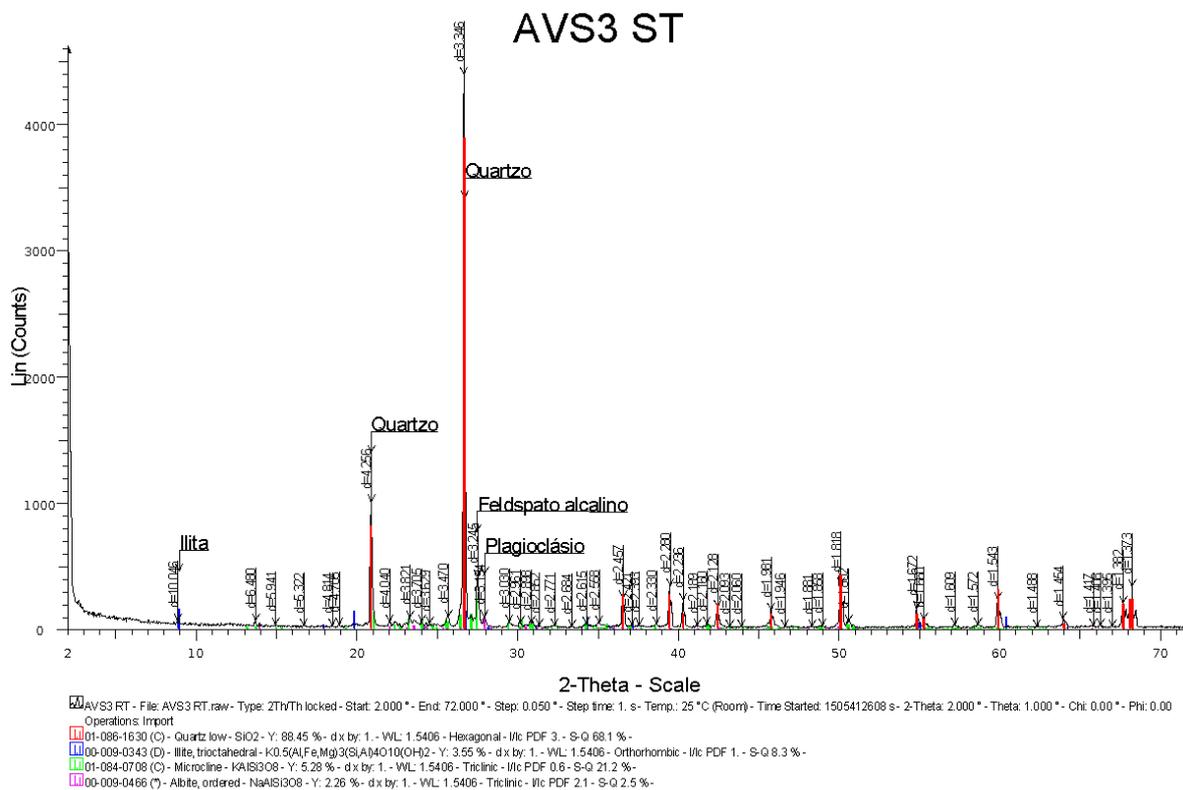


AVS2 ST

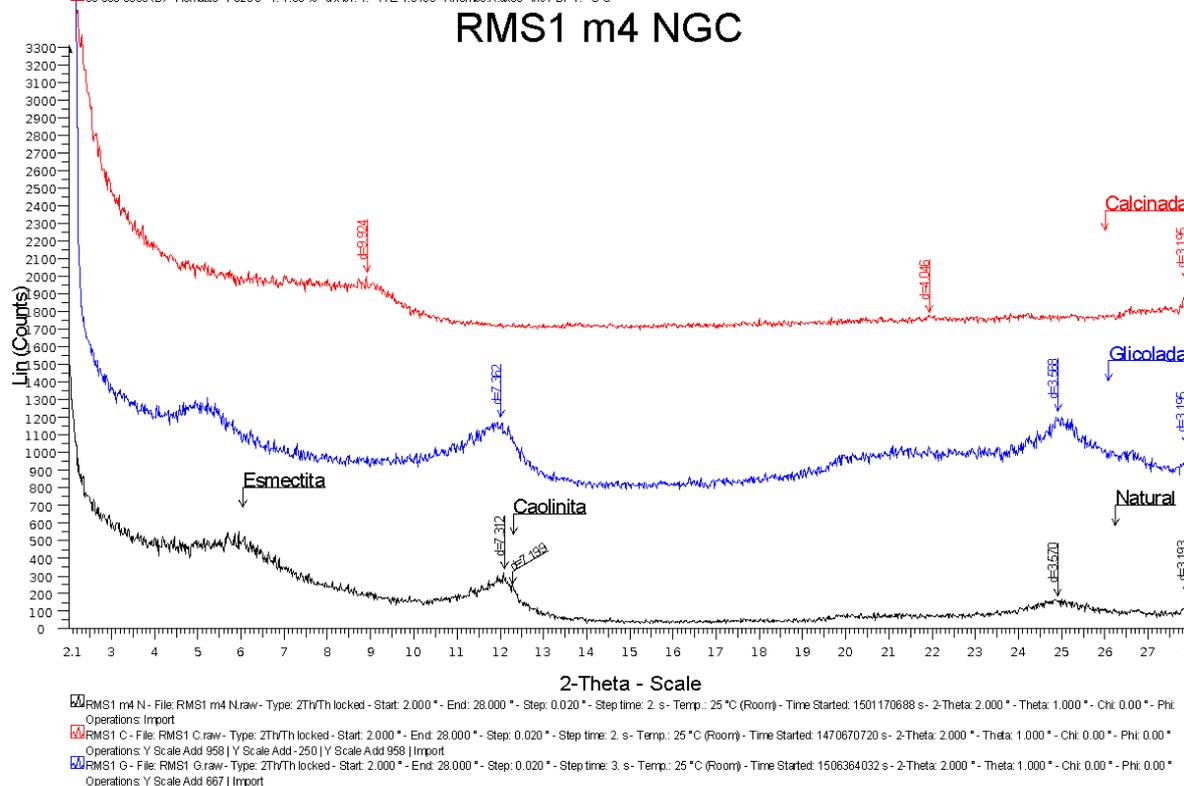
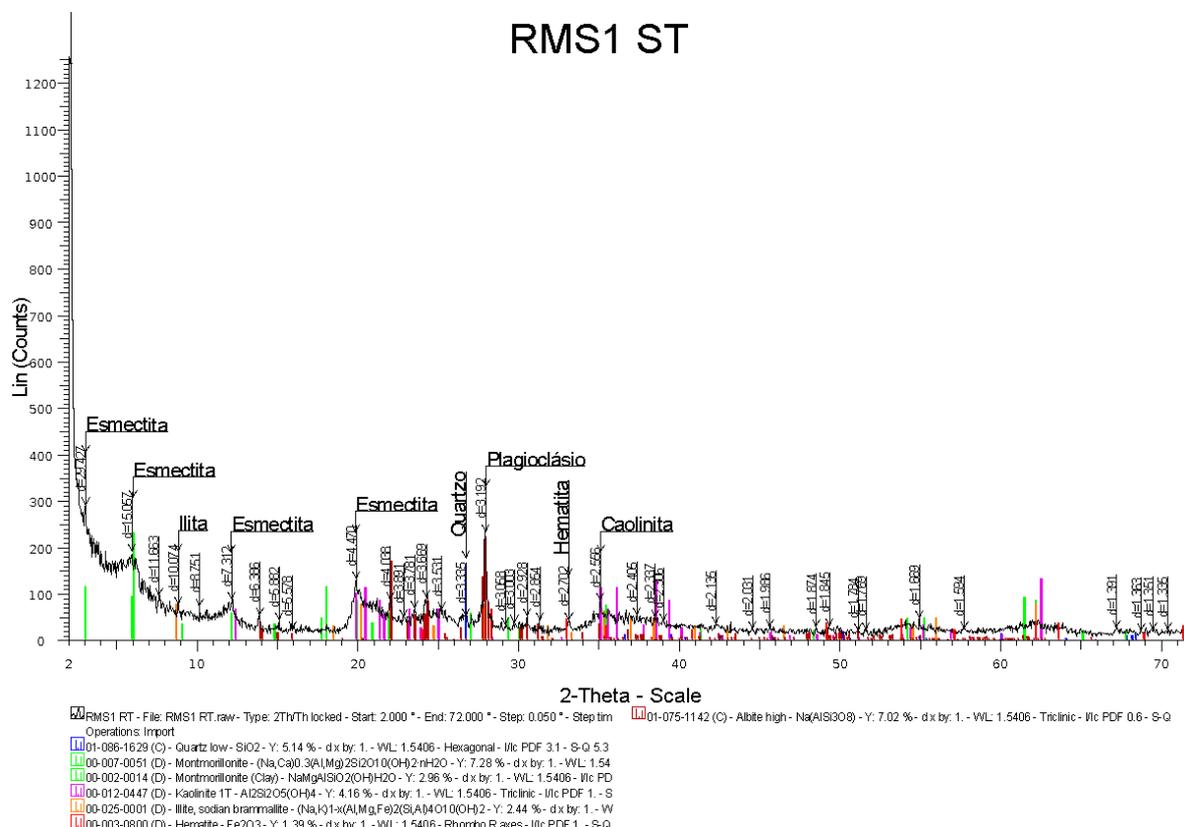


AVS2 m4 N

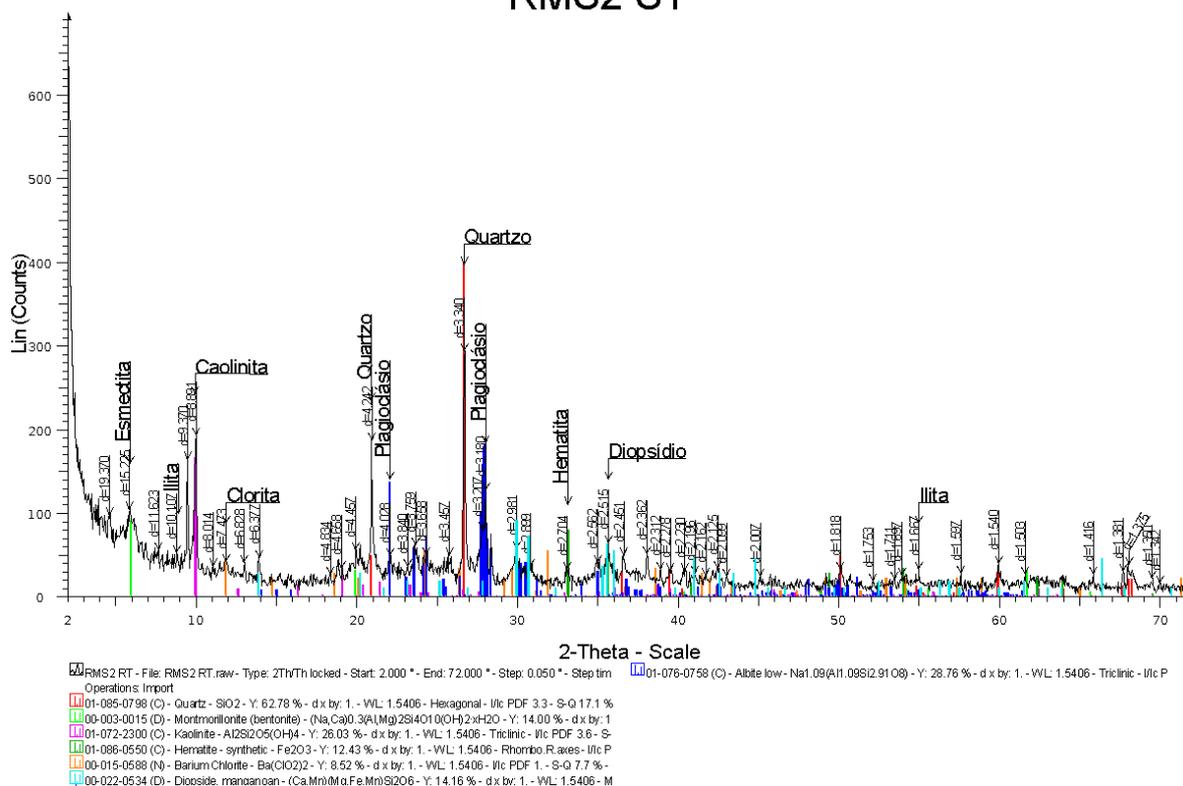




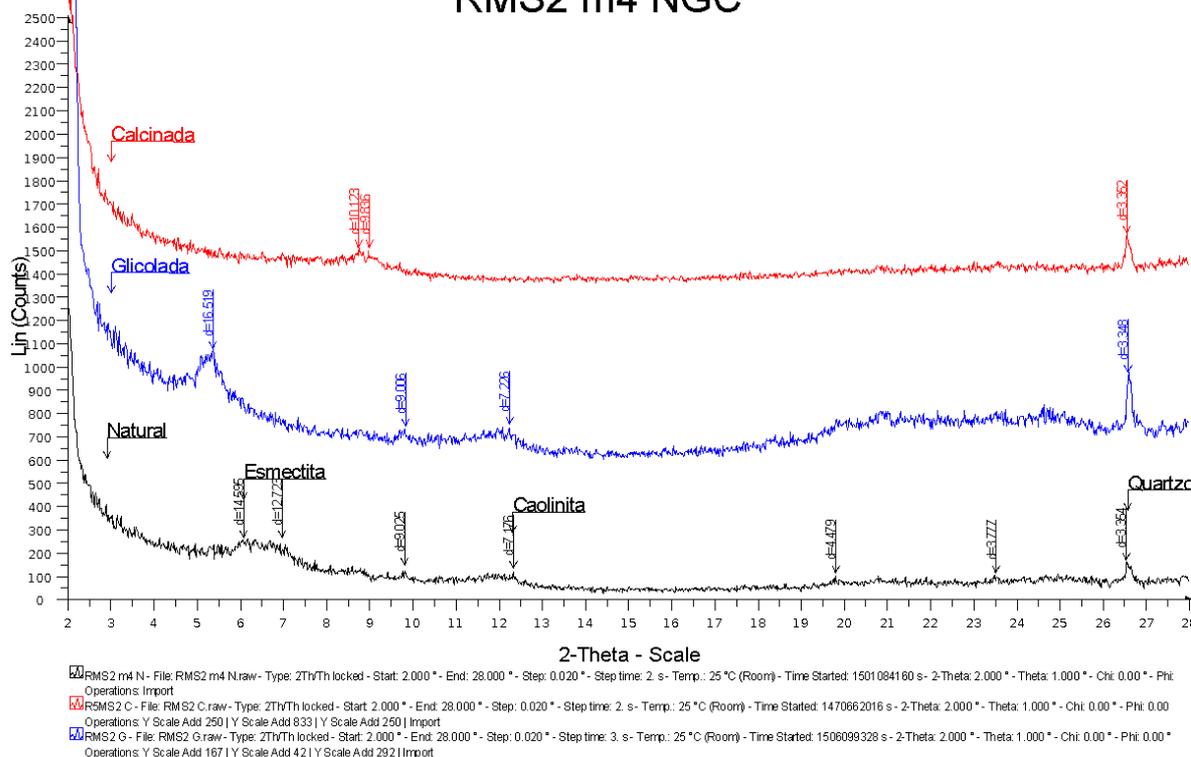
Apêndice H – Difratometria de Raios X de solos de Maquiné, solo total (ST) e argilominerais (NGC).



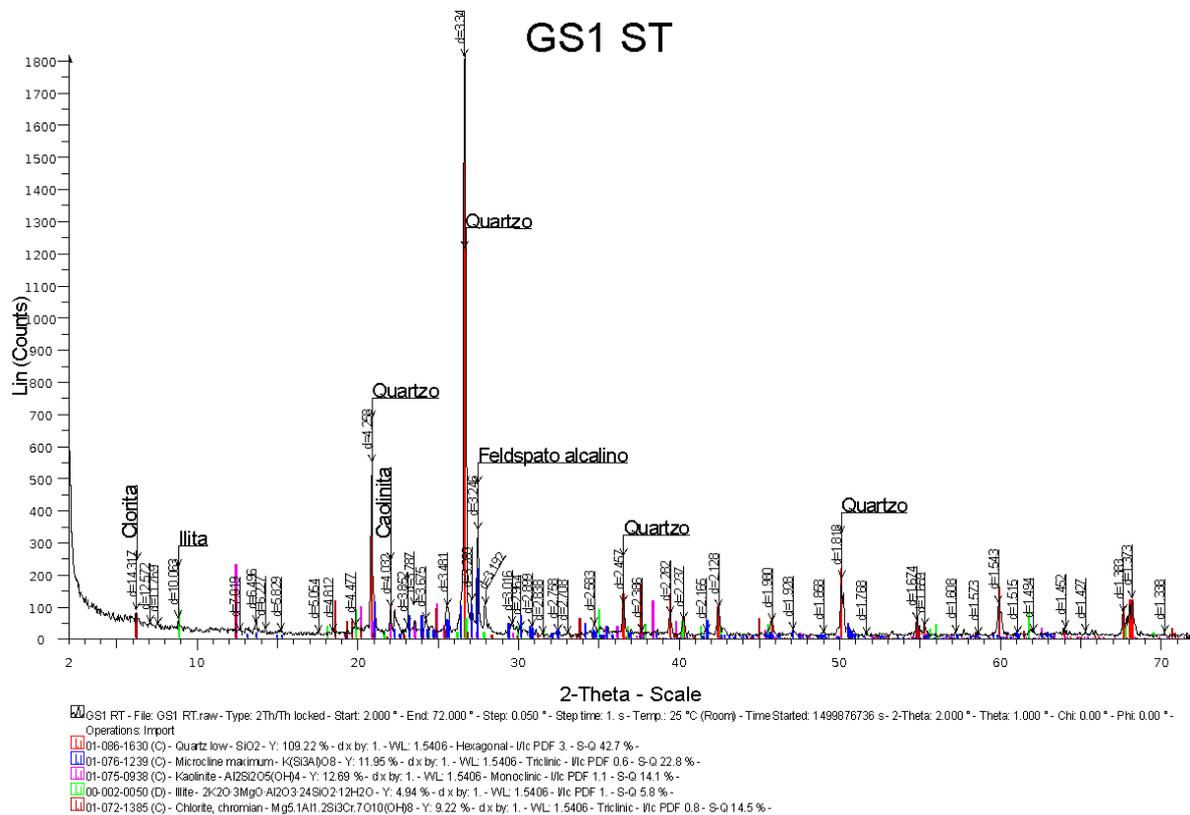
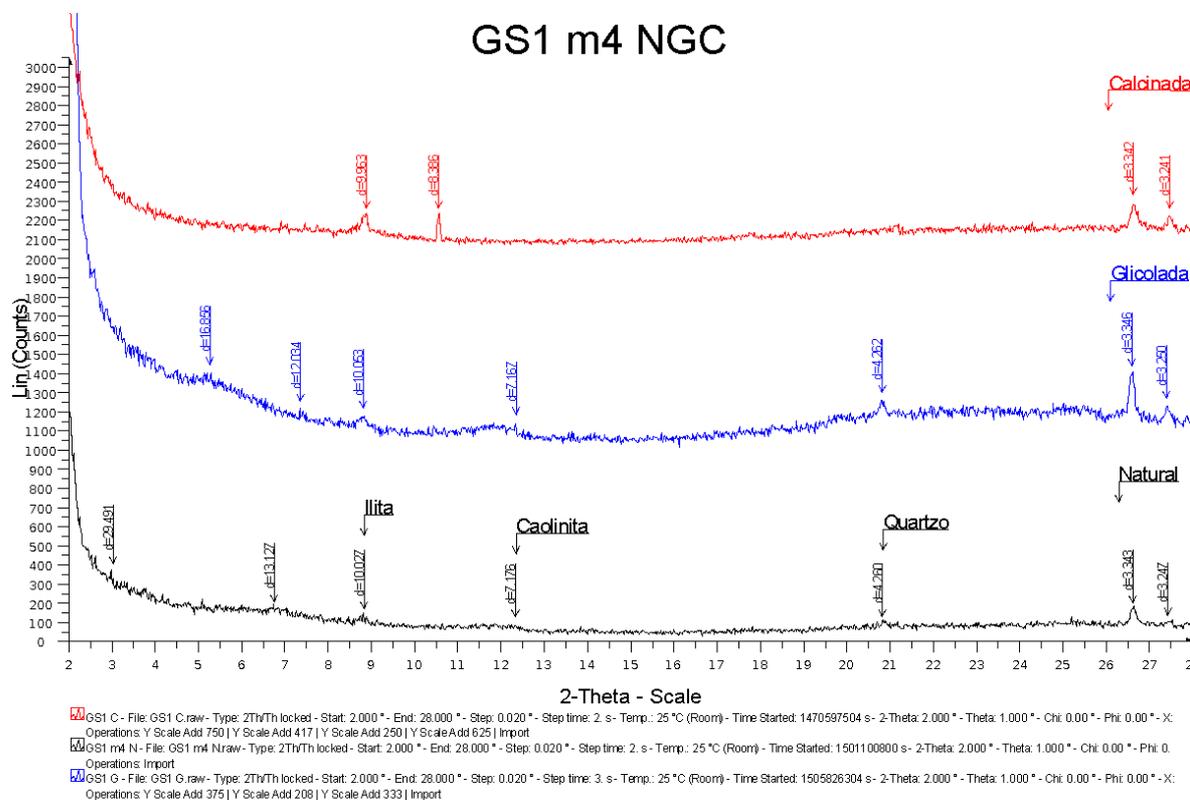
RMS2 ST



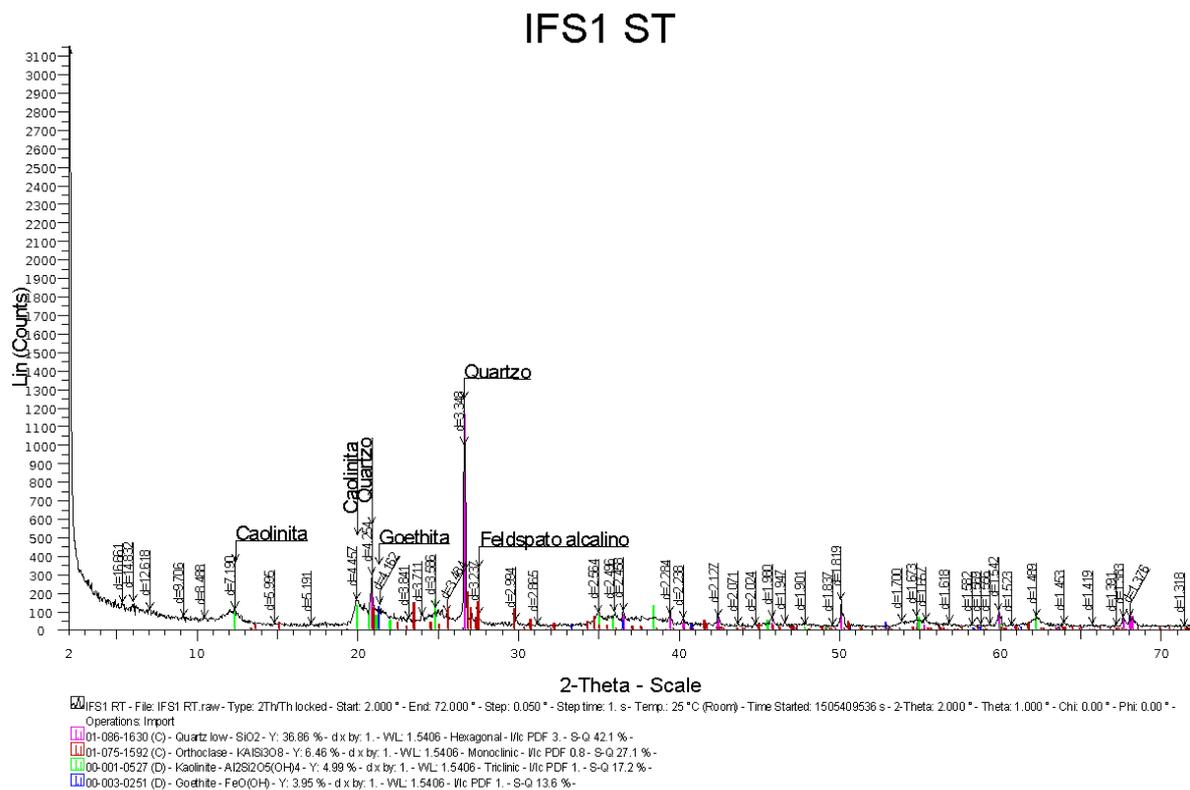
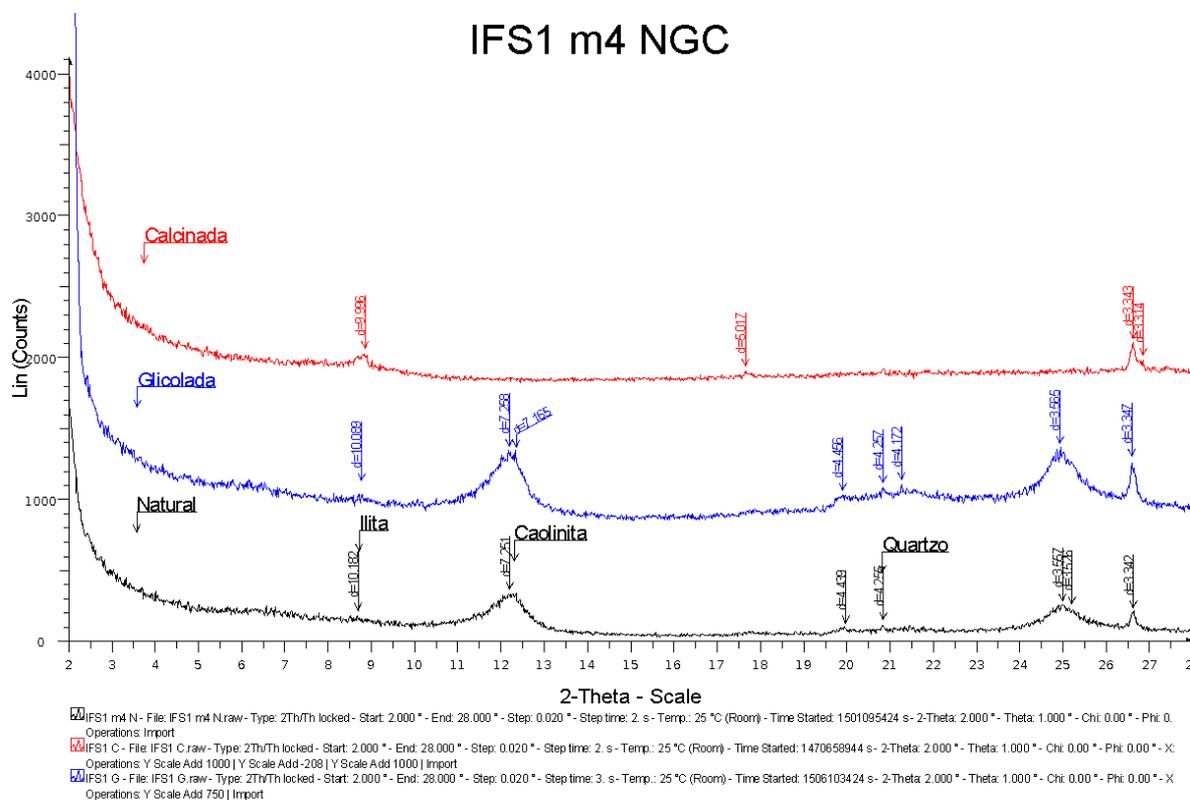
RMS2 m4 NGC



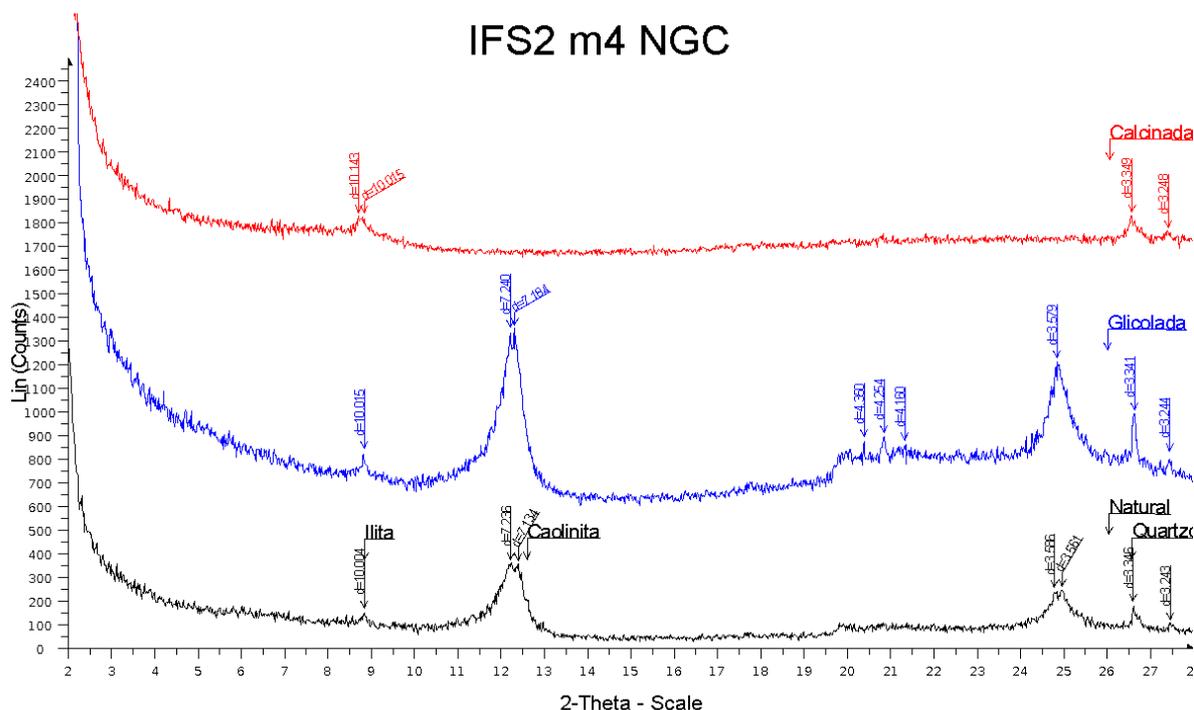
Apêndice I – Difratometria de Raios X de solo de Rolante utilizado para bioconstrução, solo total (ST) e argilominerais (NGC).



Apêndice J – Difratometria de Raios X de solos de arenito, solo total (ST) e argilominerais (NGC).

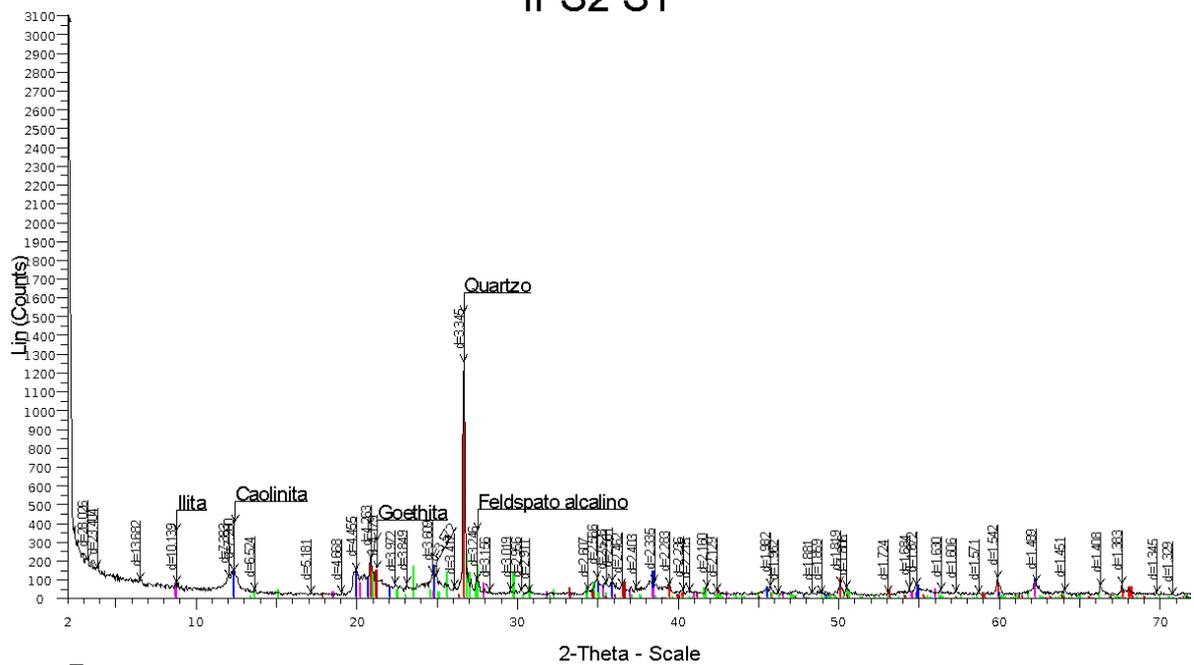


IFS2 m4 NGC



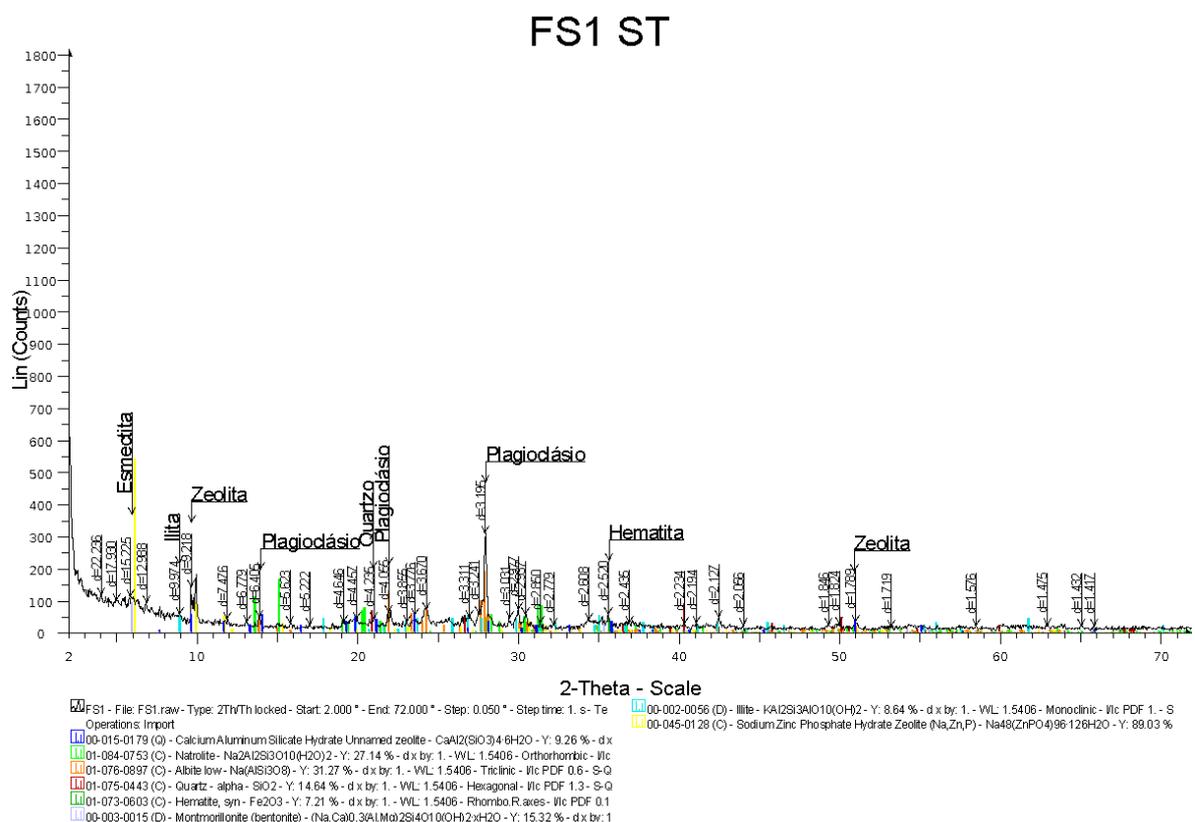
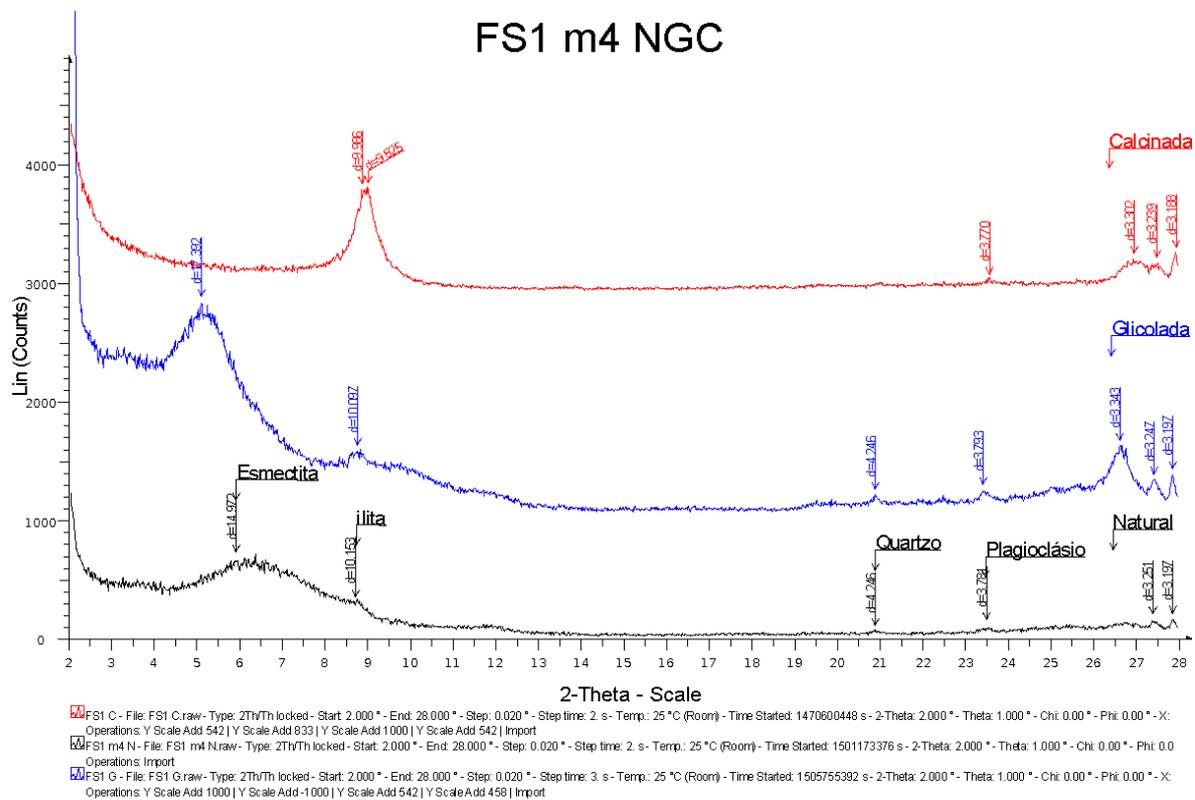
IFS2 m4 N - File: IFS2 m4 N.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 28.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 2. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Stated: 1501088976 s - 2-Theta: 2.000 ° - Theta: 1.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: Operations: Import
 IFS2 C - File: IFS2 C.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 28.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 2. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Stated: 1470665344 s - 2-Theta: 2.000 ° - Theta: 1.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.00 ° - Operations: Y Scale Add 167 | Y Scale Add 167 | Y Scale Add 125 | Y Scale Add 167 | Y Scale Add 500 | Y Scale Add 500 | Import
 IFS2 m4 G - File: IFS2 m4 G.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 28.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 3. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Stated: 1506359552 s - 2-Theta: 2.000 ° - Theta: 1.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: Operations: Y Scale Add 167 | Y Scale Add 63 | Y Scale Add 250 | Import

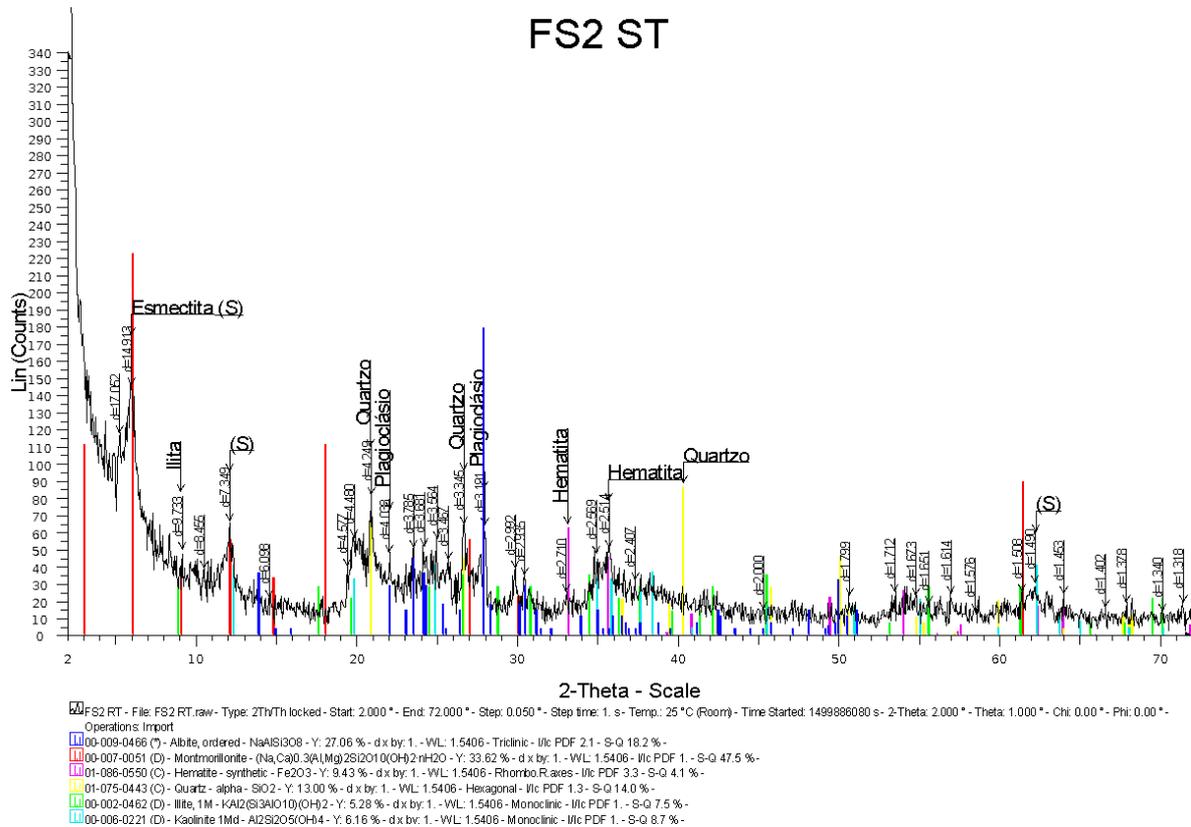
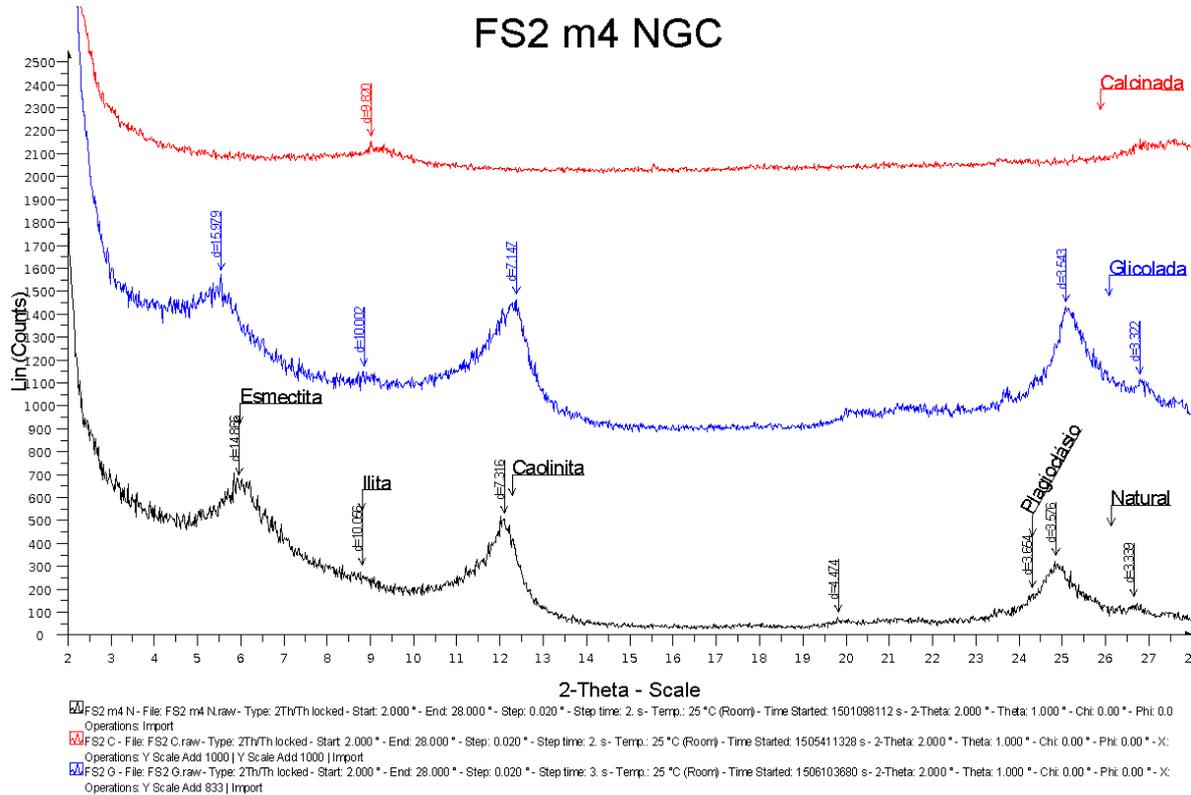
IFS2 ST



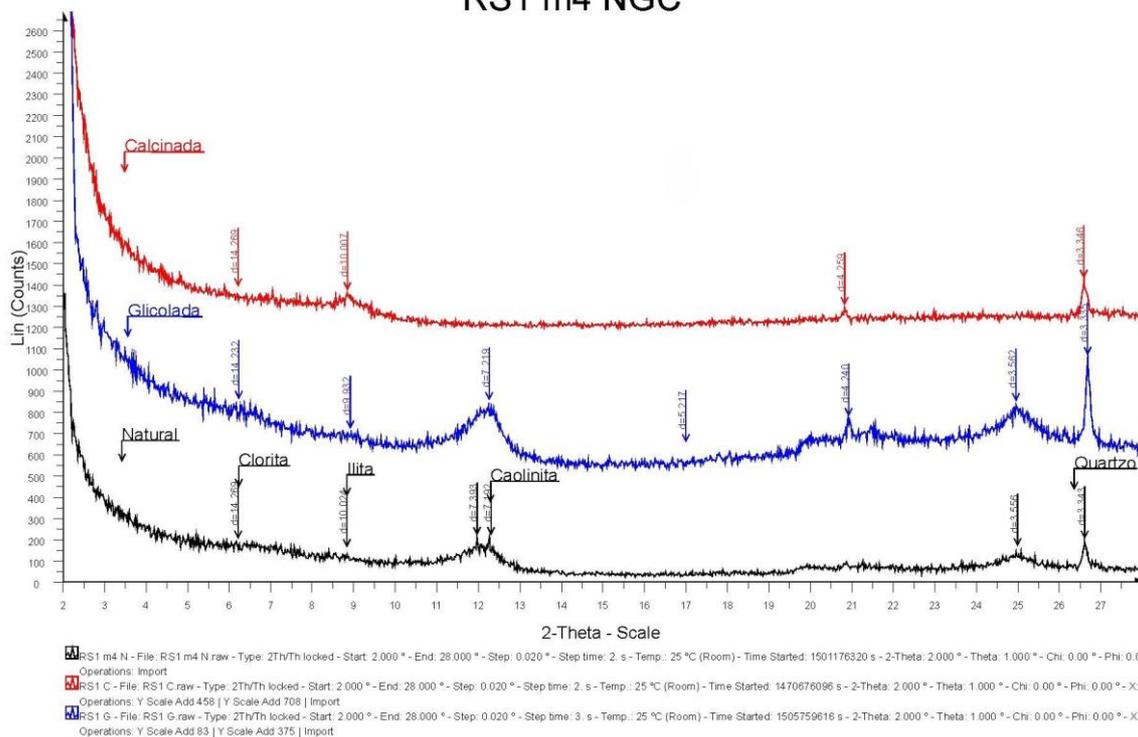
IFS2 RT - File: IFS2 RT.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 72.000 ° - Step: 0.050 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Stated: 1505408000 s - 2-Theta: 2.000 ° - Theta: 1.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.00 ° - Operations: Import
 01-086-1630 (C) - Quartz low- SiO₂ - Y: 30.41 % - d x by: 1. - W-L: 1.5406 - Hexagonal - I/c PDF 3 - S-Q 34.5 % -
 00-001-0527 (D) - Kaolinite - Al₂Si₂O₅(OH)₄ - Y: 5.65 % - d x by: 1. - W-L: 1.5406 - Triclinic - I/c PDF 1 - S-Q 19.4 % -
 01-075-1592 (C) - Orthoclase - KAlSi₃O₈ - Y: 7.56 % - d x by: 1. - W-L: 1.5406 - Monoclinic - I/c PDF 0.8 - S-Q 31.6 % -
 00-025-0001 (D) - Ilite, sodian brammalite - (Na,K)1-x(Al,Mg,Fe)2(Si,Al)4O10(OH)2 - Y: 2.54 % - d x by: 1. - W-L: 1.5406 - I/c PDF 1 - S-Q 8.7 % -
 01-081-0463 (C) - Goethite, syn - FeO(OH) - Y: 4.75 % - d x by: 1. - W-L: 1.5406 - Orthorhombic - I/c PDF 2.8 - S-Q 5.8 % -

Apêndice K – Difratometria de Raios X de solos de encosta basáltica, solo total (ST) e argilominerais (NGC).

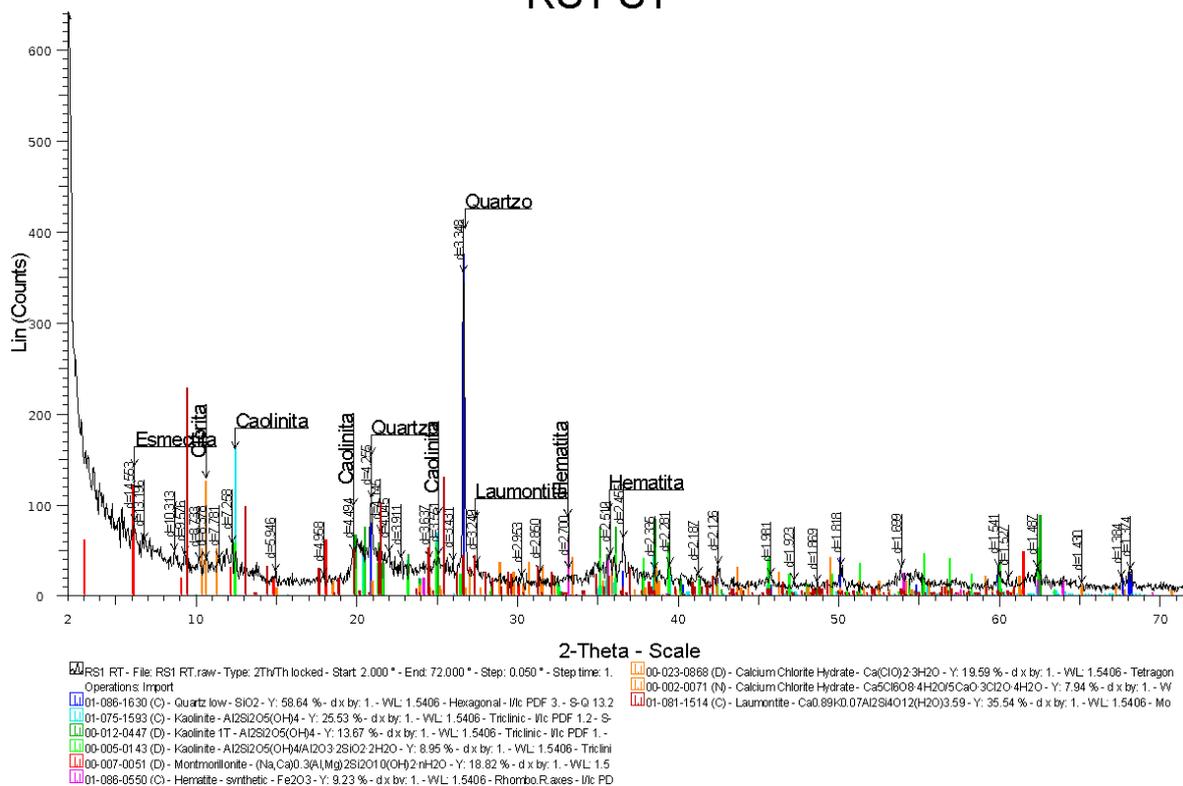




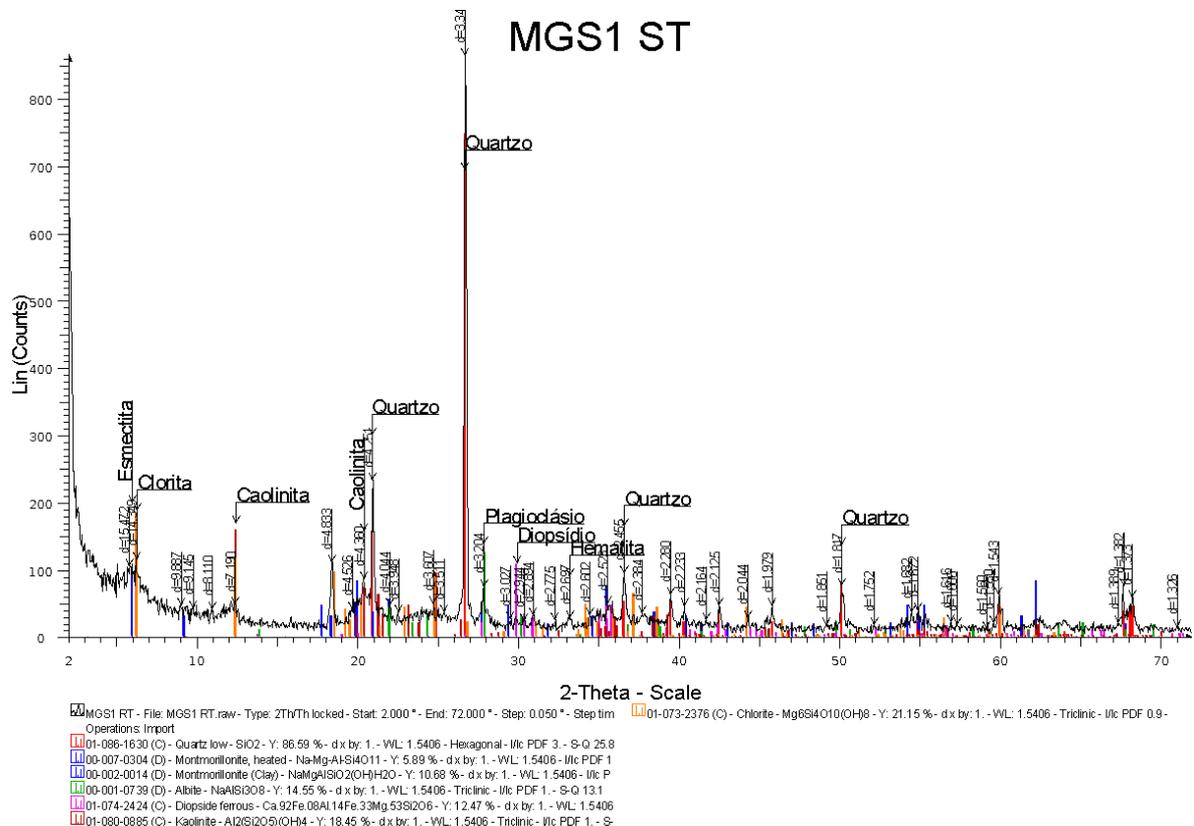
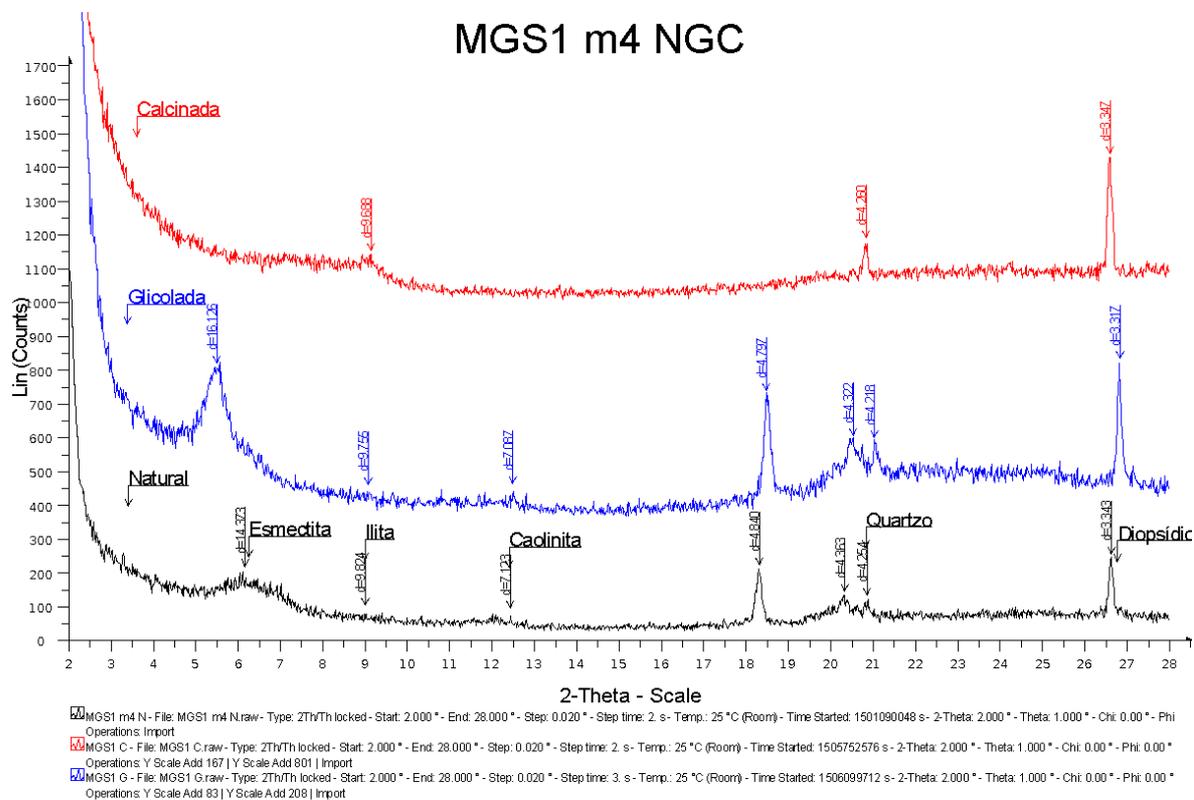
RS1 m4 NGC



RS1 ST



Apêndice L – Difratometria de Raios X de solos de encosta de rocha ácida, solo total (ST) e argilominerais (NGC).



Apêndice M – Tabela de resultados dos ensaios de campo.

	Táctil-visual[1]:	Queda da bola[2]:	Cordão[3]:	Fita[4]:	Rolo[5]:	Resistência seca[6]:
AVS1	Preto, arenoso, brilhoso	NE - 25%	Suave e esponjoso	8	10,3	5
AVS2	Marrom escuro, silto argiloso, brilhoso e opaco	NE - 0%	Duro / suave	14	8	5
AVS3	Amarelo, arenoso,	E	-----	-----	-----	1
AVM	Marrom, areno siltoso, opaco	NE - 40%	Suave	10	6,5	4
FS1	Marrom, areno argiloso, opaco	NE - 0%	-----	-----	7	5
FS2	Marrom avermelhado, argilo arenoso, brilhoso e opaco	NE - 2,5%	Duro / suave	14,5	9,5	5
IFS1	Marrom escuro, argiloso, opaco / 15% brilhoso	NE - 2,5%	Suave	16	11	5
IFS2	Marrom amarelado, areno argiloso, opaco / 3% brilhoso	NE - 13%	Suave / frágil	5	9	5
GS1	Marrom amarelado, areno siltoso, opaco	E - 31,5%	-----	-----	4	5
MGS1	Marrom escuro, areno siltoso, brilhoso e opaco	NE - 22%	Suave / suave esponjoso	4	6,7	2
RMS1	Marrom amarelado, argiloso, brilhoso	NE - 0%	Duro	10,3	14	5
RMS2	Marrom escuro, silto arenoso, opaco	NE - 18,4%	Suave	5,5	7,5	3
RMM	Marrom escuro, argilo arenoso, opaco / 10% brilhoso	NE - 13%	Suave	5	9,5	4
RS1	Marrom escuro, argiloso, opaco / 20% brilhoso	NE - 10,5%	Suave	12	9,5	5

[1] características baseadas em análise táctil-visual; [2] NE= não esfarela, E=esfarela, percentual de aumento no diâmetro pós quedas; [3] tipo de cordão; [4] comprimento da fita formada (cm); [5] comprimento do segmento rompido (cm); e [6] grau de resistência.

Apêndice N – Tabela de comparação dos resultados obtidos com adobes úmidos e secos da mistura de terra G, AV e RM, mostrando diferenças na retração e densidade de cada mistura de terra.

	AV					
	1	2	3	4	5	Média
Úmido (Kg)	6,9	6,9	6,9	6,6	7,0	6,86
Seco (Kg)	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4
m1 (cm)	10,8	10,1	11,2	10,1	11,7	10,78
m2 (cm)	21,0	21,0	21,0	21,2	21,0	21,04
h (cm)	13,9	13,5	13,5	13,6	13,5	13,6
Vol. Seco (cm ³)	3153	2863	3175	2912	3317	3084
Contração volumétrica	-9,02%	-17,36%	-8,36%	-15,96%	-4,27%	-11,00%
Densidade úmido (Kg/m ³)	1991	1991	1991	1905	2020	1980
Densidade seco (Kg/m ³)	1713	1886	1701	1854	1628	1756
Variação na densidade	-13,98%	-5,29%	-14,60%	-2,65%	-19,41%	-11,19%
	G					
	1	2	3	4	5	Média
Úmido (Kg)	6,0	6,4	6,3	6,3	6,3	6,26
Seco (Kg)	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
m1 (cm)	12,5	11,6	12,0	11,8	12,2	12,02
m2 (cm)	21,5	25,5	21,5	24,0	29,0	24,3
h (cm)	11,5	9,4	12,5	9,4	8,0	10,16
Vol. Seco (cm ³)	3091	2781	3225	2662	2830	2918
Contração volumétrica	-10,80%	-19,75%	-6,93%	-23,17%	-18,31%	-15,79%
Densidade úmido (Kg/cm ³)	1732	1847	1818	1818	1818	1807
Densidade seco (Kg/cm ³)	1359	1511	1302	1578	1484	1447
Variação na densidade	-21,52%	-18,22%	-28,37%	-13,23%	-18,39%	-19,94%

densidade						
	RM					
	1	2	3	4	5	Média
Úmido (Kg)	5,4	5,4	5,1	5,1	5,1	5,22
Seco (Kg)	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
m1 (cm)	9,3	9,9	9,5	9,8	10,5	9,8
m2 (cm)	19,3	19,5	19	19	20,6	19,48
h (cm)	11,7	11,9	11,5	12,4	10,4	11,58
Vol. Seco (cm ³)	2100	2297	2076	2309	2250	2206
Contração volumétrica	-39,39%	-33,70%	-40,09%	-33,37%	-35,08%	-36,33%
Densidade úmido (Kg/cm ³)	1558	1558	1472	1472	1472	1506
Densidade seco (Kg/cm ³)	1571	1436	1590	1429	1467	1499
Variação na densidade	0,83%	-7,83%	8,01%	-2,89%	-0,33%	-0,44%

Medidas da forma (cm)			Volume úmido (cm ³)
m1	m2	h	
11	21	15	3465

ANEXOS

TABELA DE ANÁLISES SOLICITADAS E REALIZADAS NO IGEO

Laboratório	Solicitadas	Realizadas
MEV	Duas sessões	Nenhuma
Laboratório de sedimentologia	12 análises granulométricas	14
Laboratório de preparação de amostras e laminação	5 lâminas delgadas polidas e uso do espaço para preparação de amostras	Uso do espaço para preparação de amostras
Laboratório de Difração de Raios X	Análises completas (RT, natural, glicolada e calcinada) de 25 amostras de solo	Análise completa de 12 amostras