



UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ESTUDO QUÍMICO DO SAIBRO COLETADO NA REGIÃO
METROPOLITANA DO RECIFE PARA UTILIZAÇÃO NAS
ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO E REVESTIMENTO EM
ALVENARIA

SERGIO CARVALHO DE PAIVA

ORIENTADORES: Prof. Dr. Sílvio Romero de Melo Ferreira
Prof. Dr. Romilde Almeida de Oliveira

Recife
2008

SERGIO CARVALHO DE PAIVA

**ESTUDO QUÍMICO DO SAIBRO COLETADO NA REGIÃO
METROPOLITANA DO RECIFE PARA UTILIZAÇÃO NAS
ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO E REVESTIMENTO DE
ALVENARIA.**

Dissertação apresentada à Universidade Católica de Pernambuco como requisito parcial, exigida pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil, na área de Concentração em Materiais de Construções, orientada pelos Professores Romilde Almeida de Oliveira e Silvio Romero de Melo Ferreira.

Recife

2008

P149e Paiva, Sérgio Carvalho de
Estudo químico do saibro coletado na região metropolitana do Recife para utilização nas argamassas de assentamento e revestimento de alvenaria / Sérgio Carvalho de Paiva ; orientadores Romilde Almeida de Oliveira e Sílvio Romero de Melo Ferreira, 2008.

132f. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Católica de Pernambuco. Pró-reitoria Acadêmica. Curso de Mestrado em Engenharia Civil. 2008.

1. Argamassa. 2. Solo – Composição. 3. Materiais de construção. 4. Argila – Análise. I. Oliveira, Romilde Almeida. II. Ferreira, Sílvio Romero de Melo. III. Título.

CDU 691.53

SERGIO CARVALHO DE PAIVA

**ESTUDO QUÍMICO DO SAIBRO COLETADO NA REGIÃO
METROPOLITANA DO RECIFE PARA UTILIZAÇÃO NAS ARGAMASSAS
DE ASSENTAMENTO E REVESTIMENTO EM ALVENARIA**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Católica de Pernambuco, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil, na área de Concentração em Engenharia das Construções.

Aprovado por:

Prof. Dr. Silvio Romero de Melo Ferreira.
(Orientador - Engenharia Civil – UNICAP)

Prof. Dr. Romilde Almeida de Oliveira.
(Orientador - Engenharia Civil – UNICAP)

Prof. Dr. Valdemir Alexandre dos Santos.
(Examinador interno - Engenharia Química UNICAP)

Prof.^a Da. Yêda Vieira Póvoas Tavares.
(Examinadora externa – Engenharia Civil – UPE)

Data 18 / 12 / 2008

Recife

2008

DEDICATÓRIA

A Deus, por mais uma etapa da minha vida;

A meu Pai (*em memória*) e minha Mãe, pela educação e criação;

A minha esposa, filha, irmãos, pelo carinho e apoio;

A todos que colaboraram para o sucesso desse trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, o Pai de todos, pela força para conclusão desse trabalho.

Aos meus pais Ernani Canto de Paiva (em memória) e Letice Carvalho de Paiva, pela educação, respeito, honestidade, justiça, dignidade e tudo que sou.

À minha querida família: Maria Rogéria Leite de Paiva (esposa) e Karina Maria Leite Paiva (filhinha) que agüentaram o meu bom humor durante a elaboração dessa dissertação.

Aos meus irmãos Ângela Maria Carvalho de Paiva, Márcia Carvalho de Paiva, Dayse Carvalho de Paiva, Luciane Carvalho de Paiva e Fernando Antonio Carvalho de Paiva, pelo apoio sempre positivo e incentivo para o meu sucesso. E a meus sobrinhos, cunhados e amigos, pela motivação.

Ao meu orientador Romilde Almeida de Oliveira, pela orientação sempre esclarecedora, incentivo pelo trabalho e principalmente amizade.

Ao meu orientador Silvio Romero de Melo Ferreira, pela orientação sempre precisa, motivação, esclarecimento, dedicação ao trabalho e principalmente a amizade.

Ao Professor Valdemir Alexandre dos Santos, pelos conselhos, motivação, orientações, ajudas e principalmente a amizade.

À Universidade Católica de Pernambuco (CATÓLICA), pelo suporte financeiro através da bolsa de mestrado e suporte dos laboratórios, imprescindível para a realização desse trabalho.

Ao Professor e amigo Roberto Cordeiro Pereira Rêgo, pelas ajudas nos experimentos e apoio no laboratório de Química da Católica.

Aos meus colegas de turma do mestrado: Diogo, Aliomar, Almair e Geison, pela amizade e união sempre para o desenvolvimento de todos e especialmente para Wellington Amorim Rêgo e Eduardo Alves Gomes de Oliveira (Dutra Carma) que mais do que colegas, foram amigos e companheiros de vida.

Aos funcionários (colegas) da Católica Geovane Nunes da Silva, Amara Sergio Lima Botelho, Francisco das Chagas dos Santos, Washington Silva Espósito, André Miranda dos Santos e Maria Dilma Silva de Santana, pela dedicação nos experimentos e durante as aulas.

A todos os professores do mestrado Antonio Oscar Cavalcanti da Fonte, Arnaldo Cardin Carvalho Filho, Maria da Graça Ferreira, Paulo Roberto do Lago Helene, Eliana Cristina Barreto Monteiro e Robson Pequeno de Souza, pelo conhecimento, dedicação e amizade.

A Professora e amiga Alexandra Amorim Salgueiro, pela ajuda na correção desse trabalho.

Ao ITEP, por permitir a realização de alguns ensaios nos laboratórios e o apoio material e profissional do engenheiro Carlos Weligton.

Ao geólogo Carlos Pimentel, pelo apoio material e profissional durante as coletas e sondagem no campo e nas jazidas.

Por fim, agradeço a todos que direto ou indiretamente me ajudaram a conquistar mais essa etapa da minha vida e que Deus continue abençoando a todos.

“Somos todos iguais diante das leis divinas e universais e através de nosso conhecimento, da prática do bem, poderemos desenvolver bons exemplos que possibilitem a nossos semelhantes, através da verdade, vencer os erros e os vícios que levam o espírito humano à escuridão e à decadência.”

SOUZA E.

RESUMO

As argamassas para assentamento e revestimento de alvenarias, empregadas nas regiões metropolitanas de vários estados do Brasil, são tradicionalmente constituídas de cimento e areia com adições de argilominerais, denominados de saibro ou arenoso. Essas adições fornecem à argamassa trabalhabilidade, retenção de água e plasticidade semelhantes às da argamassa mista (cimento e cal). Apesar do uso, pouco se conhece quanto às características do saibro para seu emprego em argamassas. A escolha do saibro para uso em argamassa é realizada de forma empírica, ocasionando muitas vezes, patologias nos revestimentos. O objetivo deste trabalho foi analisar amostras de saibro para utilização em argamassas de cimento e saibro (ACS). Foram coletadas 62 amostras de saibros em 24 jazidas, em suas maiorias exploradas comercialmente na Região Metropolitana do Recife (RMR). Foram realizados 21 ensaios de caracterização química na totalidade das amostras de saibros. Foi proposto um índice de qualidade de saibro para argamassa (IQSA) e selecionadas 9 amostras de saibro para utilização em argamassas. Foram realizadas análises em argamassas frescas e ensaios mecânicos em argamassas endurecidas com dois traços. Os resultados foram analisados estatisticamente pela análise de componentes principais (PCA). Os resultados da caracterização química mostraram que os Saibros da RMR de melhor qualidade para argamassas de alvenaria foram coletados na área Norte. As principais características químicas dos Saibros que influenciaram positivamente a qualidade das ACS foram: pH, Capacidade de Troca de Cátions ($CTC < 27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), Superfície específica ($SE < 10 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$), Percentagem de óxido de silício e Percentagem de água no extrato de saturação. Os indicadores que envolvem características químicas e físicas são fundamentais para qualificar o desempenho de argamassas.

Palavras-chave: saibro, caracterização química, argamassa.

ABSTRACT

The mortars used in many parts of Brazil to set blocks or to cover masonry are normally prepared with cement and sand with clay minerals additions, called “saibro” or “arenoso” (a clayey sand). These additions provide workability, water retention and plasticity to the mortars, similarly as in the mixed mortars (cement, sand and lime). The properties of “saibro” are poorly known, in spite of its large use. Therefore, the choice of “saibro” to use in mortars has been empirical, and the mortars quality is not guaranteed, what may cause some pathology in the masonry covers. The objective of this work was to analyze “saibro” samples to be used in cement and “saibro” mortars (CSM). Sixty two samples of “saibro” were collected from 24 of the most commercially explored fields in the Recife’s Metropolitan Area. Chemical “saibro” characterization tests, with 21 determinations, were applied to all samples. A quality index of “saibro” for mortars (QISM) was proposed and nine samples of “saibro” were selected to be used in mortars. Chemical analysis for fresh mortars and mechanical tests for the hardened ones were provided for two different compositions. The results were statistically analyzed by principal components analysis (PCA). The chemical characterization tests showed that the best “saibros” for masonry mortars were collected in the northern part of the studied region. The “saibro” main chemical characteristics that influenced positively the quality of the CSM were: pH, Cations Exchange Capacity ($CEC < 27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), Surface Area ($SA < 10^2 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$), Silicon Oxide Percentage and Water Percentage in the Saturation Extract. The physical and chemical indicators are fundamental to qualify the mortars performance.

Keyword: clayey sand, chemical characterization, mortar

LISTA DE TABELAS

		Página
Tabela 2.1	Vantagens e desvantagens das Argamassas	9
Tabela 2.2	Características químicas e físicas de cales	11
Tabela 2.3	Características químicas e físicas de saibros em vários locais do Brasil.....	20
Tabela 2.4	Atividade dos solos argilo-minerais.....	21
Tabela 2.5	Relação entre a superfície específica e CTC dos componentes da fração argila do solo.....	23
Tabela 2.6	Relação entre a CTC e superfície específica dos principais argilominerais e frações de silte.....	24
Tabela 2.7	Classificação dos municípios dos tipos de solo da RMR	32
Tabela 3.1	Critérios de avaliação das jazidas de saibro.....	48
Tabela 4.1	Município, nº de jazidas, nº de amostra e localização na RMR.....	50
Tabela 4.2	Classificação pedológica das jazidas de Saibro.....	54
Tabela 4.3	Classificação pedológica detalhada das jazidas de Saibro.....	54
Tabela 4.4	Classificação geológica detalhada das jazidas selecionadas de Saibro	57
Tabela 4.5	Variâncias explicada e acumulada.....	58
Tabela 5.1	Caracterizações física e química dos Saibros selecionados, por grupo, para os ensaios das argamassas.....	73
Tabela A.1	Classificação pedológica dos solos da RMR.....	90
Tabela D.1	Médias dos resultados das análises químicas dos Saibros da RMR....	124
Tabela E.1	Resultados das análises químicas selecionados por área da RMR, destacando os valores mínimos e máximos, as médias e os desvios padrões.....	130
Tabela F.1	Resultados das análises físicas (RÊGO, 2008).....	132
Tabela G.1	IQSA para Saibro da RMR.....	134

LISTA DE FIGURAS

		Página
Figura 2.1	Argamassa preparada com cimento e areia	10
Figura 2.2	Possíveis distribuições de uma pedra de CaCO_3 calcinada	12
Figura 2.3	Aspecto visível de uma Argamassa de Cimento e Cal	13
Figura 2.4	Argamassa de Cimento e Saibro	15
Figura 2.5	Aspectos visuais de diferentes tipos de argamassas: (a) Argamassas de Cimento, (b) Argamassa de Cimento e Saibro e (c) Argamassa de Cimento e Cal	16
Figura 2.6	Jazida de Saibro no município do Recife	17
Figura 2.7	Transformação de minerais de argila ao longo do tempo	18
Figura 2.8	Guia de grupamentos de classes de textura	19
Figura 2.9	Relação grau de saturação e o pH para minerais de argila	21
Figura 2.10	Grau de atividade da fração argila dos solos	22
Figura 2.11	Mapa do Brasil com destaque ao Estado de Pernambuco e à RMR	25
Figura 2.12	Principais áreas geológicas da RMR	26
Figura 2.13	Mapa geológico detalhado da RMR	28
Figura 2.14	Mapa pedológico de Pernambuco e suas escalas	30
Figura 2.15	Mapa pedológico da RMR	31
Figura 3.1	Jazidas de Saibro da RMR: (a) Remoção com trator, (b) Coleta com picareta, (c) Colocação do Saibro no saco, (d) Remoção na parte superior, (e) Jazida na zona Sul e (f) Jazida na zona Norte	35
Figura 3.2	Laboratórios da Católica onde foram realizados os experimentos: (a) Laboratório de Análises Químicas, (b) Laboratório de Analítica, (c) Laboratório de Geotecnia e (d) Laboratório de Materiais de Construção	36
Figura 3.3	Amostras no laboratório para secagem ao ar	37
Figura 3.4	Amostra após a separação da terra fina e fração grosseira	38
Figura 3.5	Determinação do pH em água, KCl e CaCl_2	39
Figura 3.6	Determinação do carbono orgânico e matéria orgânica no solo no bloco digestor	40
Figura 3.7	Determinação de sódio e potássio com o fotômetro de chama	41
Figura 3.8	Determinação do cálcio e magnésio por complexometria com EDTA ..	41
Figura 3.9	Determinação do SiO_2 por extração sulfúrica	42
Figura 3.10	Determinação do Al_2O_3 por volumetria	43
Figura 3.11	Determinação da acidez trocável	43
Figura 3.12	Determinação da condutividade elétrica	44

	Página
Figura 3.13	Determinação do percentual de água no extrato de saturação 44
Figura 3.14	Determinação da CTC com azul de metileno 45
Figura 4.1	Mapa com localização dos municípios da RMR e posicionamento das jazidas 49
Figura 4.2	Fotografia de trecho da jazida em Jabotão dos Guararapes 51
Figura 4.3	Jazida em Jabotão dos Guararapes próximo à BR101 em janeiro de 2008 52
Figura 4.4	Jazida em Jabotão dos Guararapes próximo à BR101 em outubro de 2008 52
Figura 4.5	Mapa pedológico da RMR e posicionamento das jazidas 53
Figura 4.6	Mapa geológico da RMR e posicionamento das jazidas 56
Figura 4.7	Gráficos para as duas primeiras componentes principais: (a) Pesos e (b) Escores para as amostras de solo 59
Figura 4.8	Correlações das propriedades: (a) Escores e (b) Pesos 60
Figura 4.9	Caracterização química de Saibros: (a) pH e acidez; (b) CO e MO; (c) Na ⁺ , K ⁺ , Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ e Al ⁺⁺⁺ ; (d) valor de S, T; (e) % bases, % sódio e % alumínio; (f) % Fe ₂ O ₃ , % SiO ₂ e % Al ₂ O ₃ ; (g) % água e CE; (h) SE 63
Figura 4.10	Relação entre o pH e o grau de saturação por base em vários minerais de argila 66
Figura 4.11	Amostras de Saibro saturadas em água e secas ao ar para verificação da cor 68
Figura 4.12	Classes de textura para as 62 amostras de Saibro da RMR 69
Figura 4.13	Atividades da fração argila dos minerais 71
Figura 5.1	Resultados dos ensaios nos traços, 1:3:5 e 1:1:7: a) índice de vazios, b) velocidade de propagação da onda, c) resistência a tração pro compressão diametral, d) absorção de água por imersão, e) relação água / cimento, f) resistência à compressão, g) consistência e h) massa específica, 74
Figura 5.2	Pesos para as duas primeiras componentes principais da matriz: a) Traço 1:3:5 e (b) Traço 1:1:7 76
Figura 5.3	Pesos para as duas primeiras componentes principais da matriz: a) Caracterização química e mecânica traço 1:3:5; (b) Caracterização química e mecânica traço 1:1:7 77
Figura B.1 a	Esquemas para as determinações químicas 98-109
Figura B.21	
Figura C.1 a	Foto das jazidas de Saibro da RMR 111-122
Figura C.24	

SUMÁRIO

	Página
AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
CAPÍTULO 1	
INTRODUÇÃO	1
1.1 Importância e Relevância do Trabalho	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo Geral	2
1.2.2 Objetivos Específicos	2
1.3 Conteúdo	3
CAPÍTULO 2	
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 Argamassas	4
2.2 Histórico das Argamassas	5
2.3 Propriedades das Argamassas	6
2.3.1 Propriedades das Argamassas no estado fresco	6
2.3.2 Propriedades das Argamassas no estado endurecido	8
2.4 Tipos de Argamassas	8
2.4.1 Argamassa de Cimento	9
2.4.2 Argamassa de Cal	10
2.4.3 Argamassa de Cimento e Cal	10
2.4.4 Argamassa de Cimento e Saibro	13
2.5 Características físicas, químicas e mineralógicas recomendáveis para um solo ser utilizado como Saibro para argamassas	16
2.5.1 Saibro	16
2.5.2 Caracterização de minerais argílicos com relação entre o pH e o grau de saturação de bases	21
2.5.3 Relação da fração argila com a superfície específica e a Capacidade de Troca de Cátions	22
2.6 Caracterizações morfológica, geológica e pedológica de Saibros	24
2.6.1 Região Metropolitana do Recife	24
2.6.2 Geologia da RMR	25

		Página
2.6.3	Pedologia da RMR	27
CAPÍTULO 3		
3	MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1	Introdução	33
3.2	Identificações das unidades geológicas e pedológicas dos locais de coleta de saibro	34
3.3	Coletas das Amostras	34
3.3.1	Preparação das Amostras para Ensaio Químico	37
3.3.2	Métodos e ensaios	38
3.3.2.1	Determinação do pH	39
3.3.2.2	Determinação de carbono orgânico e matéria orgânica	40
3.3.2.3	Determinação da CTC	40
3.3.2.4	Determinações de dióxido de silício, óxido de alumínio e óxido férrico	42
3.3.2.5	Determinação da acidez trocável	43
3.3.2.6	Determinações da condutividade elétrica e do percentual de água no extrato de saturação	44
3.3.2.7	Determinação da superfície específica e adsorção de azul de metileno	45
3.3.2.8	Determinações realizadas através de combinações de resultados	46
3.4	Análises dos componentes principais	46
3.5	Critérios de escolhas das jazidas dos saibros para os ensaios das argamassas	47
CAPÍTULO 4		
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4.1	Resultados	49
4.1.1	Local de coleta e exploração comercial das jazidas	49
4.1.2	Identificação e classificação pedológica das jazidas coletadas na RMR	52
4.1.3	Identificação e classificação geológica das jazidas coletadas na RMR	53
4.1.4	Ensaio químico das jazidas	57
4.2	Discussão dos Resultados	58
4.2.1	Análise de Componentes Principais dos ensaios químicos	58
4.2.2	Avaliação dos resultados pedológicos e geológicos	61
4.2.3	Avaliação dos resultados das análises da composição química dos ensaios químicos	62
4.2.3.1	Acidez	64

		Página
4.2.3.2	Carbono orgânico	64
4.2.3.3	Cátions trocáveis	65
4.2.3.4	Avaliação dos resultados da CTC	65
4.2.3.5	Saturação por base	66
4.2.3.6	Saturação de sódio e alumínio	67
4.2.3.7	Óxido férrico, óxido de alumínio e óxido de silício no extrato sulfúrico	67
4.2.3.8	Porcentagem de água no extrato de saturação	69
4.2.3.9	Condutividade elétrica	70
4.2.3.10	Superfície específica e adsorção de azul de metileno	70
CAPÍTULO 5		
5	CARACTERIZAÇÕES QUÍMICAS, FÍSICAS E MECÂNICAS RELACIONADAS COM AS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS FRESCAS E ENDURECIDAS	72
5.1	Caracterizações químicas e físicas dos Saibros e das argamassas frescas e mecânicas das argamassas endurecidas	72
5.2	Caracterização química dos Saibros utilizados nos ensaios das argamassas	75
CAPÍTULO 6		
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.	79
6.1	CONCLUSÕES	79
6.2	SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	80
CAPÍTULO 7		
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
APÊNDICE A	CLASSIFICAÇÃO PEDOLÓGICA DOS SOLOS DA RMR	89
APÊNDICE B	METODOLOGIAS PARA AS CARACTERIZAÇÕES QUÍMICAS DO SOLO	96
APÊNDICE C	FOTOS E LOCALIZAÇÕES DAS JAZIDAS DA RMR	110
APÊNDICE D	MÉDIAS DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS DOS SAIBROS DA RMR	123
APÊNDICE E	RESULTADO DAS ANÁLISES QUÍMICAS SELECIONADOS POR ÁREA DA RMR, DESTACANDO OS VALORES MÍNIMOS E MÁXIMOS, AS MÉDIAS E OS DESVIOS PADRÕES	129
ANEXO F	RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICAS DOS SAIBROS DA RMR	131
ANEXO G	IQSA PARA SAIBRO DA RMR	133