

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE SOLO-CIMENTO, SOLO-  
CIMENTO-VERMICULITA E SOLO-CIMENTO PLÁSTICO

*CLÁUDIA MÁRCIA COUTINHO GURJÃO*

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

DEZEMBRO/1994

***ESTUDO COMPARATIVO ENTRE SOLO-CIMENTO, SOLO-  
CIMENTO-VERMICULITA E SOLO-CIMENTO-PLÁSTICO***

**CLÁUDIA MÁRCIA COUTINHO GURJÃO**

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE SOLO-CIMENTO, SOLO-  
CIMENTO-VERMICULITA E SOLO-CIMENTO-PLÁSTICO**

*Dissertação apresentada ao curso de  
Mestrado em Engenharia Civil da  
Universidade Federal da Paraíba, em  
cumprimento às exigências para ob-  
tenção do grau de Mestre (M.Sc.).*

**Área de Concentração : GEOTECNIA .**

**Orientadores : Prof. Dr. HEBER CARLOS FERREIRA**

**: Prof<sup>a</sup>. M.Sc. EDNA CELIE DA CUNHA MACHADO**

**CAMPINA GRANDE - PARAÍBA**

**DEZEMBRO/1994**



G978e Gurjao, Claudia Marcia Coutinho.  
Estudo comparativo entre solo-cimento, solo-cimento-vermiculita e solo-cimento plastico / Claudia Marcia Coutinho Gurjao. - Campina Grande, 1994.  
113 f. : il.

Dissertacao (Mestrado em Engenharia Civil) -  
Universidade Federal da Paraiba, Centro de Ciencias e  
Tecnologia.

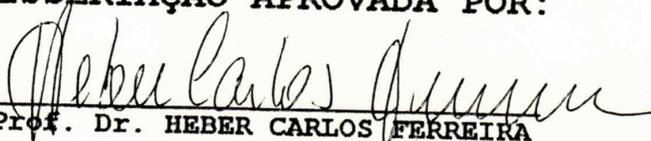
1. Cimento com Propriedades Especiais. 2. Solo - Cimento - Vermiculita. 3. Solo - Cimento - Plastico. 4. Dissertacao - Engenharia Civil. I. Ferreira, Heber Carlos. II. Machado, Edna Celie da Cunha. III. Universidade Federal da Paraiba - Campina Grande (PB). IV. Titulo

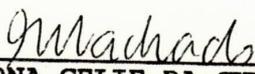
CDU 666.946(043)

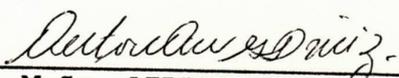
ESTUDO COMPARATIVO ENTRE SOLO-CIMENTO, SOLO-  
CIMENTO-VERMICULITA E SOLO-CIMENTO-PLÁSTICO

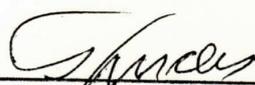
Cláudia Márcia Coutinho Gurjão

DISSERTAÇÃO APROVADA POR:

  
Prof. Dr. HEBER CARLOS FERREIRA  
(Orientador)

  
Prof.ª M.Sc. EDNA CELIE DA CUNHA MACHADO  
(Orientadora)

  
Prof. M.Sc. AILTON ALVES DINIZ  
(Examinador)

  
Prof. M.Sc. FRANCISCO BARBOSA DE LUCENA  
(Examinador)

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA  
DEZEMBRO/1994

**A Deus**

Ao meu esposo Bento, pela compreensão nos  
longos tempos de ausência

A minha filha Letícia, pelo encorajamento  
que me deu para terminar esta dissertação.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar quero expressar a minha gratidão a **DEUS**, que dia a dia nos fortalece para continuarmos sempre firmes, sem desistir.

Aos meus pais **José Lira Ramos** e **Rita Ramos Coutinho** por ter me dado esta estrutura educacional, mostrando-me o quanto é importante esta educação.

Aos meus irmãos, que direta ou indiretamente contribuíram para esta realização.

Ao professor **Heber Carlos Ferreira** pelos ensinamentos e sinceridade que sempre transmitiu.

A professora **Edna Celie da Cunha Machado** pelo incentivo e orientação no andamento desta dissertação.

Ao professor **Edson da Costa Pereira** pela ajuda dada sempre ao ser solicitado.

Ao professor **João Batista Queiroz de Carvalho**, por se tornar uma pessoa amiga, nos momentos de dificuldades.

Ao professor **Francisco Edmar Brasileiro**, pela calma, tranqüilidade e compreensão que sempre teve.

Aos Engenheiros **Jeconias, Solange e Gelmires** pelo auxílio nos ensaios.

A **Washington Franklin Pedreira da Silva** pela dedicação nos trabalhos de digitação.

Aos **funcionários dos Laboratórios do Departamento de Engenharia Civil** que, em menor ou maior grau contribuíram para essa conquista.

Ao Laboratório de Engenharia de Materiais, na pessoa da professora **Suédna Maria Ramos**.

À **Universidade Federal da Paraíba** e à **Associação Técnico-Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior** pelo apoio recebido.

Aos colegas do mestrado, em especial a **JOZILENE e CONCEIÇÃO** que demonstraram como tudo se torna mais fácil quando existe um companheirismo, amizade e união dentro de um grupo de trabalho.

**"A nossa felicidade será naturalmente proporcional em relação à felicidade que fizemos para os outros."**

**André Luiz**

## SUMÁRIO

	Páginas
<b>RESUMO</b> .....	xi
<b>ABSTRACT</b> .....	xii
<b>ABREVIACÕES</b> .....	xiii
<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	3
2.1 - Introdução.....	3
2.2 - O Solo como Material de Construção...	3
2.3 - Estabilização do Solo.....	5
2.3.1 - Estabilização do Solo com Cimento....	6
2.4 - Fatores que Influenciam as Propriedades do Solo-Cimento.....	9
2.5 - Outros Tipos de Estabilização Utilizando o Solo-Cimento.....	13
2.5.1 - Estabilização Solo-Cimento-Vermiculita.....	15
2.5.2 - Estabilização Solo-Cimento-Plástico..	18

	Páginas
<b>CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>21</b>
3.1 - Introdução.....	21
3.2 - Materiais.....	21
3.2.1 - Solo.....	21
3.2.2 - Rejeito Plástico.....	22
3.2.3 - Vermiculita.....	23
3.2.4 - Cimento.....	23
3.2.5 - Água.....	24
3.3 - Métodos.....	24
3.3.1 - Ensaios de Caracterização.....	24
3.3.2 - Tipos de Dosagens.....	25
3.3.2.1 - Dosagem de Solo-Cimento pelo Método Físico-Químico.....	27
3.3.2.2 - Dosagem de Solo-Cimento pelo Método "Experimental".....	28
3.3.3 - Ensaios Tecnológicos.....	29
3.3.3.1 - Resistência à Compressão Simples(RCS)	30
3.3.3.2 - Resistência à Tração Indireta (RTI)..	31
3.3.3.3 - Módulo de Elasticidade (E).....	32
3.3.3.4 - Limite de Proporcionalidade (fel)....	33
3.3.4 - Ensaios nos Tijolos.....	33
3.3.4.1 - Resistência à Compressão Simples(RCS)	35
3.3.4.2 - Absorção (Abs).....	35

	páginas
3.3.4.3 - Massa Específica Aparente (MEA).....	36
<b>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>37</b>
4.1 - Introdução.....	37
4.2 - Ensaaios de Caracterização.....	37
4.2.1 - Análise Granulométrica de Agregados..	37
4.2.2 - Limites de Liquidez e Plasticidade...	39
4.2.3 - Compactação.....	39
4.2.4 - Salinidade.....	39
4.2.5 - Massa Específica Real e Massa Especí- fica Aparente.....	40
4.2.6 - Ensaaios no Cimento.....	40
4.3 - Tipos de Dosagens.....	41
4.3.1 - Dosagens de Solo-Cimento pelo Método Físico-Químico.....	41
4.3.2 - Dosagem de Solo-Cimento pelo Método "Experimental".....	43
4.4 - Ensaaios Tecnológicos.....	46
4.4.1 - Resistência à Compressão Simples (RCS)	46
4.4.2 - Resistência à Tração Indireta (RTI)..	50
4.4.3 - Modelo de Elasticidade (E) e Limite de Proporcionalidade.....	55
4.4.3.1 - Módulo de Elasticidade.....	70
4.4.3.2 - Limite de Proporcionalidade.....	76
4.5 - Ensaio nos Tijolos.....	77

		Páginas
4.5.1	- Resistência à Compressão Simples (RCS)	77
4.5.2	- Absorção (Abs).....	79
4.5.3	- Massa Específica Aparente.....	81
<b>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES.....</b>		<b>83</b>
<b>CAPÍTULO 6 - SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....</b>		<b>85</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>		<b>86</b>
<b>ANEXO 1</b>	<b>- Descrição do Método Físico-Químico Dosagem do Solo-Cimento, proposto por Chadda (1971).....</b>	<b>96</b>
<b>ANEXO 2</b>	<b>- Descrição da Dosagem de Solo-Cimen- to pelo Método Experimental.....</b>	<b>99</b>
<b>ANEXO 3</b>	<b>- Tensão e Deformação.....</b>	<b>100</b>
<b>ANEXO 4</b>	<b>- Descrição do Ensaio de Salinidade dos Solos, Método Proposto pela EMBRAPA (1979).....</b>	<b>104</b>
<b>ANEXO 5</b>	<b>- FOTOGRAFIAS.....</b>	<b>106</b>

GURJÃO, C.M.C., . Estudo Comparativo entre Solo-Cimento, Solo-Cimento-Vermiculita e Solo-Cimento-Plástico, Campina Grande, UFPB, 1994 (135p).

## RESUMO

Esta pesquisa foi desenvolvida tendo em vista os fatos do déficit habitacional brasileiro, que é da ordem de 12 milhões de unidades, a poluição do meio ambiente causada pelo rejeito plástico e a tecnologia alternativa de solo-cimento, que é uma tecnologia simples de baixo custo, bom padrão de qualidade porém elevada massa específica aparente.

Este trabalho propõe o uso da tecnologia de solo-cimento associada ao consumo de rejeitos residenciais de materiais plásticos triturados, usados como agregado leve, em substituição parcial do solo na produção de tijolos de vedação, isto é sem fins estruturais. Através de ensaios de caracterização e tecnológicos foram realizados estudos comparativos com tijolos de solo-cimento, solo-cimento-vermiculita e solo-cimento-plástico.

Os resultados permitiram concluir que é possível a utilização do rejeito plástico residencial triturado como agregado leve para substituir parte do solo na produção de tijolos de solo-cimento-plástico.

## ABSTRACT

This research was developed concerning with the facts of the Brazilian habitational deficit, (that is over 12 million of unities), the pollution caused by residue of plastic and the alternative technology of soil-cement (that is a simple technology of low costs and good quality, however, of high apparent specific mass).

This work proposes the use of the soil-cement technology associated to the utilization of the triturated residential plastic waste materials, used as light weight aggregate that replaces part of the production of closed bricks soil-cement that is, without structural purpose.

Through characterization and technological tests were realized comparative studies with soil-cement, vermiculite soil cement and plastic soil cement bricks.

The results permit to conclude that is possible the utilization of triturated residential plastic waste materials as light weight aggregate for replacing part of the soil in the production of soil-cement plastic bricks.

## ABREVIações

<b>A</b>	- Área
<b>Acor</b>	- Área Corrigida
<b>Ao</b>	- Área Inicial
<b>ABCP</b>	- Associação Brasileira de Cimento Portland
<b>ABNT</b>	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>Abs</b>	- Absorção
<b>AE</b>	- Área Específica
<b>Atecel</b>	- Associação Técnica-Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior
<b>CP</b>	- Cimento Portland
<b>CPIIF</b>	- Cimento Portland composto com Filler
<b>lo</b>	- Comprimento Inicial
<b>oc</b>	- Tensão de Compressão
<b>occor</b>	- Tensão de Compressão Corrigida
<b>ocr</b>	- Tensão de Compressão Reajustada
<b><math>\Delta l</math></b>	- Deformação Vertical
<b><math>\epsilon</math></b>	- Deformação Específica
<b>E</b>	- Módulo de Elasticidade
<b>F</b>	- Força de ruptura
<b>fel</b>	- Limite de Proporcionalidade
<b>LL</b>	- Limite de Liquidez
<b>LP</b>	- Limite de Plasticidade
<b>MEA</b>	- Massa Específica Aparente
<b>MER</b>	- Massa Específica Real

**RCS** - Resistência à Compressão Simples

**RTI** - Resistência à Tração Indireta

## ÍNDICE DE TABELAS

	Páginas
Tabela 1 - Análise Granulométrica dos Solos por Pe- neiramento e Sedimentação.....	38
Tabela 2 - Características Físicas dos Materiais, quanto aos Ensaios de Limites de Atter- berg, Massa Específica Real e Aparente, Finura e Área Específica.....	42
Tabela 3 - Composição Química do Cimento Portland CPIIF-32, utilizado nesta pesquisa.....	43
Tabela 4 - Leituras do Ensaio Físico-Químico para Dosagem de Solo-Cimento realizada com o Solo 1 - Solo do Mutirão.....	44
Tabela 5 - Leituras do Ensaio Físico-Químico para Dosagem de Solo-Cimento realizada com o Solo 2 - Solo do Shopping.....	45
Tabela 6 - Resistência à Compressão Simples de Cor- pos de Prova Cilíndricos (MPa) para o Solo 1 e o Solo 2, no Estado Natural e Solo-Cimento, para os Períodos de Cura de 7, 28 e 60 Dias.....	47
Tabela 7 - Resistência à Compressão Simples de Cor- pos de Prova Cilíndricos (MPa), para o Solo 2, nos Traços, em volume, de Solo-Cimento, Solo-Cimento-Plástico e Solo-Cimento-Vermiculita, para os Pe- ríodos de 7, 28 e 60 Dias de Cura.....	53
Tabela 8 - Resistência à Tração Indireta de Corpos de Prova Cilíndricos (MPa), para o Solo 1 e o Solo 2, de Solo-Cimento, para os Períodos de 7, 28 e 60 Dias.....	54

	Páginas
Tabela 9 - Resistência à Tração Indireta de Corpos de Prova Cilíndricos (MPa), para o Solo 2, nos Traços, em volume, de Solo-Cimento, Solo-Cimento-Plástico e Solo-Cimento-Vermiculita, para os Períodos de 7, 28 e 60 Dias de Cura.....	54
Tabela 10- Tensão e Deformação do Solo 2, para o Traço 1:13 de Solo-Cimento, com Tempo de Cura de 7 Dias.....	56
Tabela 11- Tensão e Deformação do Solo 2, para o Traço 1:13 de Solo-Cimento, com Tempo de Cura de 28 Dias.....	57
Tabela 12- Tensão e Deformação do Solo 2, para o Traço 1:13 de Solo-Cimento, com Tempo de Cura de 60 Dias.....	58
Tabela 13- Tensão e Deformação do Solo 2, para o Traço 1:15 de Solo-Cimento, com Tempo de Cura de 7 Dias.....	58
Tabela 14- Tensão e Deformação do Solo 2, para o Traço 1:15 de Solo-Cimento, com Tempo de Cura de 28 Dias.....	59
Tabela 15- Tensão e Deformação do Solo 2, para o Traço 1:15 de Solo-Cimento, com Tempo de Cura de 60 Dias.....	59
Tabela 16- Tensão e Deformação do Solo 2, para o Traço 1:17 de Solo-Cimento, com Tempo de Cura de 7 Dias.....	60
Tabela 17- Tensão e Deformação de Solo 2, para o Traço 1:17 de Solo-Cimento, com Tempo de Cura de 28 Dias.....	61
Tabela 18- Tensão e Deformação de Solo 2, para o Traço 1:17 de Solo-Cimento, com Tempo de Cura de 60 Dias.....	62

	Páginas
Tabela 19- Módulo de Elasticidade - Solo-Cimento - Traço 1:13, para o Solo 2, nos Períodos de 7, 28 e 60 Dias de Cura.....	72
Tabela 20- Módulo de Elasticidade - Solo-Cimento - Traço 1:15, para o Solo 2, nos Períodos de 7, 28 e 60 Dias de Cura.....	72
Tabela 21- Módulo de Elasticidade - Solo-Cimento - Traço 1:17, para o Solo 2, nos Períodos de 7, 28 e 60 Dias de Cura.....	73
Tabela 22- Módulo de Elasticidade - Solo-Cimento-Plástico - Traço 1:10:3, para o Solo 2, nos Períodos de 7, 28 e 60 Dias de Cura.	73
Tabela 23- Módulo de Elasticidade - Solo-Cimento-Plástico - Traço 1:13:2, para o Solo 2, nos Períodos de 7, 28 e 60 Dias de Cura.	74
Tabela 24- Módulo de Elasticidade - Solo-Cimento-Plástico - Traço 1:16:1, para o Solo 2, nos períodos de 7, 28 e 60 Dias de Cura.	74
Tabela 25- Módulo de Elasticidade - Solo-Cimento-Vermiculita - Traço 1:10:3, para o Solo 2, nos Períodos de 7, 28 e 60 Dias de Cura.....	75
Tabela 26- Módulo de Elasticidade - Solo-Cimento-Vermiculita - Traço 1:13:2, para o Solo 2, nos Períodos de 7, 28 e 60 Dias de Cura.....	75
Tabela 27- Módulo de Elasticidade - Solo-Cimento-Vermiculita - Traço 1:16:1, para o Solo 2, nos Períodos de 7, 28 e 60 Dias de Cura.....	76
Tabela 28- Limite de Proporcionalidade para o Solo 2, de Solo-Cimento, para os Períodos de 7, 28 e 60 Dias de Cura.....	77

Tabela 29- Resistência à Compressão Simples dos Tijolos (MPa), para o Solo 2, de Solo-Cimento-Plástico e Solo-Cimento-Vermiculita, para os Períodos de Cura de 7 e 28 Dias.....	79
Tabela 30- Absorção dos Tijolos de Solo-Cimento, Solo-Cimento-Plástico e Solo-Cimento-Vermiculita, para o Solo 2, com Tempo de Cura de 7 e 28 Dias.....	79
Tabela 31- Massa Específica Aparente dos Tijolos (g/cm <sup>3</sup> ), de Solo-Cimento, Solo-Cimento-Plástico e Solo-Cimento-Vermiculita, para o Solo 2, com Tempo de Cura de 7 e 28 Dias.....	82

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1 - Fluxograma Evolutivo das Misturas Solo-Cimento a partir de um Solo Natural (Cabrera, 1974).....	07
Figura 2 - Fluxograma do Desenvolvimento da Dissertação -"Estudo Comparativo entre Solo-Cimento, Solo-Cimento-Vermiculita e Solo-Cimento-Plástico".....	26
Figura 3 - Gráfico da Variação Volumétrica Máxima x Teor de Cimento para o Solo 1 - Solo de Mutirão.....	44
Figura 4 - Gráfico da Variação Volumétrica Máxima x Teor de Cimento para o Solo 2 - Solo do Shopping.....	45
Figura 5 - Gráfico Tensão x Deformação Específica, do Solo 2, para o Traço 1:13 de Solo-Cimento com Tempo de Cura de 7 Dias....	64
Figura 6 - Gráfico Tensão x Deformação Específica, do Solo 2, para o Traço 1:13 de Solo-Cimento com Tempo de Cura de 28 Dias...	64
Figura 7 - Gráfico Tensão x Deformação Específica, do Solo 2, para o Traço 1:13 de Solo-Cimento com Tempo de Cura de 60 Dias...	65
Figura 8 - Gráfico Tensão x Deformação Específica, do Solo 2, para o Traço 1:15 de Solo-Cimento com Tempo de Cura de 7 Dias....	66
Figura 9 - Gráfico Tensão x Deformação Específica, do Solo 2, para o Traço 1:15 de Solo-Cimento com Tempo de Cura de 28 Dias...	66

Páginas

Figura 10 - Gráfico Tensão x Deformação Específica, do Solo 2, para o Traço 1:15 de Solo-Cimento com Tempo de Cura de 60 Dias...	66
Figura 11 - Gráfico Tensão x Deformação Específica, do Solo 2, para o Traço 1:17 de Solo-Cimento com Tempo de Cura de 7 Dias....	67
Figura 12 - Gráfico Tensão x Deformação Específica, do Solo 2, para o Traço 1:17 de Solo-Cimento com Tempo de Cura de 28 Dias...	67
Figura 13 - Gráfico Tensão x Deformação Específica, do Solo 2, para o Traço 1:17 de Solo-Cimento com Tempo de Cura de 60 Dias...	68

## ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

	Páginas
Fotografia 1 - Prensa Losenhausen para Rompimento dos Corpos de Prova.....	106
Fotografia 2 - Ensaio de Resistência à Compressão Simples nos Corpos de Prova Cilíndricos.....	107
Fotografia 2a- Corpo de Prova após o Rompimento..	108
Fotografia 3 - Ensaio de Resistência à Tração Indireta nos Corpos de Prova Cilíndricos.....	109
Fotografia 4 - Ensaio de Deformação Controlada para Determinação do Módulo de Elasticidade e do Limite de Proporcionalidade.....	110
Fotografia 5 - Prensa Manual para Fabricação dos Tijolos de Solo-Cimento, Solo-Cimento-Plástico e Solo-Cimento-Vermiculita.....	111
Fotografia 6 - Tijolos após Prensagem.....	112
Fotografia 7 - Ensaio de Resistência à Compressão Simples nos Diversos Tijolos.....	113

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

A necessidade de um número cada vez maior de habitações, devido ao crescimento urbano acentuado que se tem verificado nas últimas décadas no Brasil, vem incentivando o desenvolvimento de novos materiais, componentes e sistemas construtivos, visando à busca de alternativas aos produtos e processos tradicionais em utilização na construção civil. Uma tendência verificada na avaliação de novos componentes e sistemas construtivos é aquela que toma o tradicional como referência e por comparação julga-se a aceitação ou não as novas soluções propostas (Souza, 1988).

A construção civil dispõe da tecnologia de solo-cimento, que durante algum tempo não despertou grande interesse. Porém, atualmente, por se tratar de uma tecnologia simples e de baixo custo, ressurgiu na produção de materiais alternativos para habitação popular, na forma de tijolos, telhas e paredes monolíticas, por exemplo.

A tecnologia do emprego de solo-cimento tem demonstrado, através da prática no Brasil e em diversos outros países, que pode ser uma alternativa para a construção de moradias para populações de baixa renda. Ela não é a única, pois existem ainda outras, pouco ou não pesquisadas, que também podem ser consideradas apropriadas, tais como: concreto armado

com bambu ou outras fibras, polpa de bambu, resíduos industriais e agrícolas tais como gesso químico, cinza de palha de arroz, casca de côco, argamassa armada, madeira de reflorestamento, agregado leve a partir de lodo de esgoto (Abiko, 1988).

Partindo-se da premissa de que novas e econômicas técnicas deverão surgir, como alternativas tecnológicas na habitação popular, procurou-se desenvolver esta pesquisa visando um melhor conhecimento do uso do plástico triturado, como agregado leve, na fabricação de tijolos e, com isto, estimular o desenvolvimento de pesquisas similares no intuito de que, a médio prazo, tenha-se subsídios capazes de indicar realmente a necessidade da utilização do rejeito plástico.

O objetivo desta pesquisa foi desenvolver um estudo comparativo entre tijolos de solo-cimento, solo-cimento-vermiculita e solo-cimento-plástico, visando o aproveitamento dos rejeitos de materiais plástico triturados, como agregado leve na fabricação de tijolos.

## **CAPÍTULO 2**

### **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **2.1 - Introdução**

As pessoas de uma forma ou de outra estão resolvendo seus problemas de moradia, isto verificando-se tanto na cidade como no campo. Contudo, não se quer dizer que essas habitações são aceitáveis, o problema é que as populações das classes de baixa renda, como também as de alta, compatibilizam ou procuram compatibilizar o preço das habitações com o seu poder aquisitivo, surgindo assim o mercado "marginal" sendo composto pelas favelas, cortiços e autoconstrução (Abiko, 1988).

Procurando-se soluções para estes problemas, utiliza-se tecnologias apropriadas de construção que deve se utilizar dos recursos existentes na comunidade.

#### **2.2 - O Solo como Material de Construção**

O primeiro uso do solo como material de construção remete o seu emprego na execução das moradias pré-históricas.

As civilizações Persas, Assírias, Egípcias e Babilônicas utilizaram-no em abundância (Houben *et alli*, 1979).

No Egito antigo a madeira era escassa, os blocos de pedra eram encontrados nos topos das montanhas no leste e oeste

do Nilo, mas eram difíceis de extrair, transportar e trabalhar, ficando o seu uso restrito às estruturas de mausoléus e templos. As argilas eram abundantes e naturalmente tornaram-se materiais de construção quando se descobriu que poderiam ser moldados em pequenos elementos, que ficaram conhecidos por adobes, e que após deixados a secar ou cozer sob o calor do sol eram empregados em alvenarias (Spalding et alii, 1926), citado por Oliveira (1994).

Com a expansão do Império Romano as técnicas de construção com terra alcançaram partes da França, Alemanha, Grã-Bretanha e Península Ibérica. Conseqüentemente, espanhóis e portugueses, levaram para suas colônias as técnicas de construção com terra. Na América espanhola foi introduzida a técnica de construção com adobes. No Brasil colonial as construções com terra constituem a grande maioria de nossa arquitetura. Comenta Carlos Cerqueira, em seu estudo sobre a Casa Colonial Paulista, que durante três séculos deste período, a matéria-prima foi a terra e o sistema construtivo a taipa-de-pilão. Segundo este autor as primeiras notícias de casas de tijolos cerâmicos somente aparecem por volta de 1700 (CEPED, 1985).

Com a Revolução Industrial que se iniciou na Grã-Bretanha em 1750, trouxe o surgimento de novas técnicas produtivas, a produção de materiais de construção mais duráveis: aço - Abraham Darby, 1709; cimento Portland - Joseph Aspdin, 1824 e o concreto armado - Joseph Monier, 1861. As técnicas de construção com terra, até então hegemônicas, foram sendo

substituídas por técnicas que adotavam os novos materiais, a alvenaria foi relegada de sua função estrutural para a utilização como componente de vedação (TUDO, 1977).

Embora os solos em si possam ser considerados como razoáveis materiais de construção, apresentando boas características mecânicas e um bom isolamento térmico, muitas vezes não apresentam durabilidade e têm baixa resistência aos efeitos da umidade. Devido a isto, torna-se necessário, acrescentar ao solo qualidades que o tornem mais resistente ao intemperismo. Isto é feito através da adição de materiais estabilizadores (Abiko, 1988).

### **2.3 - Estabilização do Solo**

Segundo Bezerra (1983), o termo "estabilização" é melhor empregado com referência aos vários procedimentos que são usados para melhorar as características do solo, especialmente a resistência. Alterar as propriedades dos solos, criando um solo capaz de suportar as solicitações impostas, tem-se tornado, algumas vezes a solução técnica-econômica para os solos que nem sempre atendem às especificações de serviços quando utilizados "in natura". Este melhoramento é conhecido como estabilização dos solos que é um processo de natureza física, química, físico-química ou mecânica que permite obter propriedades desejáveis nos solos empregados nos diversos tipos de obras.

Dentre os métodos de estabilização, os mais comumente usados são: estabilização mecânica, estabilização com cimento, estabilização com betume e estabilização com cal (Costa, 1992).

### **2.3.1- Estabilização do Solo com Cimento**

Este método consiste em se adicionar a um solo natural ou previamente tratado com algum aditivo, quantidades variadas de cimento e água com finalidade de melhorar suas características, visando transformá-lo num material de construção com múltiplas aplicações na engenharia.

A toda e qualquer mistura de solo tratado com cimento é, muitas vezes, erroneamente chamada de solo-cimento. Na verdade há três tipos de misturas de solo com cimento reconhecidas pela indústria americana de rodovias: solo-cimento modificado, solo-cimento compactado, solo-cimento plástico (Winterkorn, 1975).

Não confundir solo-cimento plástico que é uma mistura onde apresenta uma viscosidade elevada com o solo-cimento-plástico, usado nesta pesquisa, que é a utilização dos rejeitos de materiais plásticos triturados, como agregado leve, na fabricação de tijolos.

Segundo Cabrera (1974), a Figura 1 representa o fluxograma evolutivo das misturas solo-cimento a partir de um solo natural.

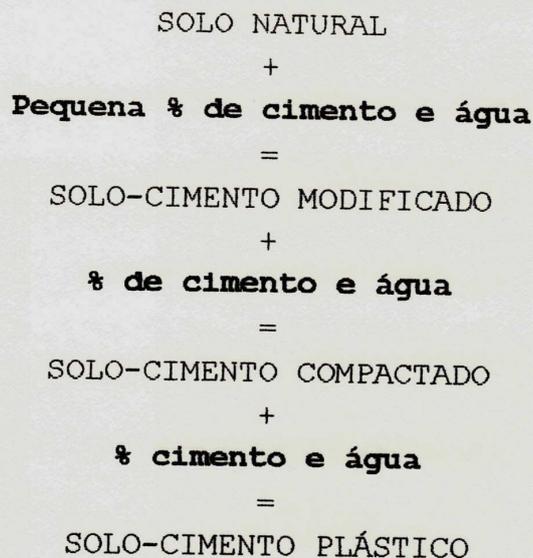


Figura 1 - Fluxograma Evolutivo das Misturas Solo-Cimento a partir de um Solo Natural (Cabrera, 1974).

A estabilização de solo-cimento foi empregada, inicialmente, na execução de estradas. Começou a ser experimentado em 1915 nos EUA pelo engenheiro Bert Reno, sendo que em 1933 o governo dos Estados Unidos aceitou o seu emprego generalizado. Desde então tem sido usado em diversos países sob várias formas, como pavimentação, fundações, contrapisos, paredes de edificações simples, telhas, blocos e painéis, revestimento de canais, diques, reservatórios e, a mais recente, em revestimento de taludes de aterros. Segundo Basílio (1955), citado por Bezerra (1983), a Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP, desde a sua fundação em 1936, vem estudando o emprego de estruturas de pavimento de solo-cimento. O primeiro pavimento usando solo-cimento executado em nosso país, foi construído no Aeroporto Santos Dumont no ano de 1940.

Em 1948, a ABCP publicou seu boletim n 54 - Casas de Paredes de Solo-Cimento, onde propõe a utilização desse material na construção de paredes monolíticas, a partir do êxito obtido na pavimentação e das experiências com algumas construções.

A partir de 1950 também desenvolviam-se projetos-pilotos na Argentina e Bolívia e estudos no Chile e em Israel (Guimarães, 1981).

Na Paraíba, desde 1970, quando o Departamento de Engenharia Civil do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba ofereceu, em convênio com o BNH, curso sobre o assunto, o interesse de engenheiros, professores e estudantes pelo emprego do solo-cimento tem sido cada vez maior a ponto de a ATECEL (Associação Técnico-Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior), se dispor a divulgá-lo, promovendo cursos e/ou executando obras, em convênio com órgãos interessados. Entre as várias obras realizadas, destacam-se a da Escola Técnico-Agrícola Federal de Cuité, com 500 m<sup>2</sup> e da Associação dos Docentes da UFPB - Campus II com 440 m<sup>2</sup>.

Atualmente, estudos vêm sendo desenvolvidos com o solo-cimento, empregando novos materiais substituindo parte do solo ou do cimento, devido ao elevado custo, como por exemplo: a cal pozolânica como aglomerante, a vermiculita e resíduos de materiais plásticos triturados como agregados, no intuito de minimizar os custos na Construção Civil, e obter algumas características essenciais.

## **2.4 - Fatores que Influenciam as Propriedades do Solo-Cimento.**

Inúmeros são os fatores que afetam as propriedades do solo-cimento, enumerá-los e discutí-los torna-se um pouco difícil pela existência da grande quantidade de solos com características diferentes, proporcionando um número elevado de combinações nas misturas. Entretanto, serão relacionados a seguir os fatores que primeiramente, afetam o solo-cimento (O'Flaherty, 1974, citado por Bezerra, 1983).

### **a) Natureza e Tipo de Solo**

O solo é o elemento que entra em maior proporção na mistura, devendo ser selecionado de modo que permita o uso da menor quantidade possível de cimento. Normalmente, os solos mais arenosos estabilizam-se com menores quantidades de cimento. Todavia, é válido ressaltar que a presença de argila na composição é necessária para dar à mistura de solo e cimento, quando umedecida e compactada, coesão suficiente para imediata retirada das fôrmas, além da resistência inicial, entretanto esta quantidade é limitada (DEPEA, 1985).

Qualquer solo, com exceção dos altamente orgânicos, pois a presença de matéria orgânica interfere na hidratação do cimento, enfraquecendo a mistura, pode ser estabilizado com cimento. Entretanto solos muito argilosos são difíceis de serem

misturados, causam problemas de pulverização e compactação (Guimarães, 1981).

A seleção do solo pode ser feita em laboratório ou no próprio local da obra. É evidente que o resultado de laboratório é mais confiável, uma vez que é feito em condições mais adequadas.

De maneira geral, segundo DEPEA (1985), os solos mais adequados para serem utilizados em solo-cimento, são os que possuem as seguintes características:

- % passando na peneira ABNT n 4 (abertura 4,8 mm)..100%
- % passando na peneira ABNT n 200 (abertura 2,0 mm).10 a 50%
- Limite de Liquidez..... 45
- Índice de Plasticidade..... 18%

Segundo Leonards (1962), quanto maior a superfície específica de um solo, maior será a quantidade de cimento para estabilizá-lo.

#### **b) Quantidade e Tipo de Cimento**

Segundo Bofinger (1965), quanto maior a quantidade de cimento adicionada a um solo, tanto mais resistente resultará o solo-cimento. Por outro lado, o cimento com grande resistência inicial é usualmente mais efetivo do que o cimento comum. A adequada escolha do tipo de cimento para a estabilização solo-cimento pode acarretar consideráveis economias no preço total do cimento a utilizar.

Segundo Ingles e Metcalf (1972), citado por Costa (1992), a adição de pequenas quantidades de cimento modificam as propriedades do solo, visto que grandes quantidades alteram radicalmente essas propriedades. •

#### **c) Teor de Umidade**

A presença de água é necessária para hidratar o cimento, melhorar a trabalhabilidade e facilitar a compactação, porém uma quantidade inadequada de água pode ocasionar uma queda na resistência do solo-cimento. Segundo El-Rawi *et alli* (1967), citado por Bezerra (1983), relataram a importância da relação água/cimento quanto ao seu efeito sobre a resistência do material formado.

#### **d) Mistura**

Segundo Leonards (1962), quanto mais íntima a mistura solo-cimento-água, maior será a resistência e durabilidade do solo-cimento resultante.

Dois fatores importantes ocorrem na mistura: o grau e o tempo.

O grau da mistura, também denominado uniformidade da mistura ou eficiência da mistura, diz respeito a distribuição uniforme do cimento durante a preparação da mistura solo-cimento-água.

O tempo de mistura úmida tem influência marcante sobre a compactação, podendo modificar completamente a massa específica seca máxima de moldagem, a umidade ótima, além de afetar a resistência e a durabilidade do solo-cimento (Cabrera, 1974).

#### **e) Compactação**

Segundo Terzaghi *et alli* (1955), a maioria dos métodos em uso para determinar o conteúdo ótimo de umidade do solo são idênticos ou derivados do procedimento conhecido como "Método de Proctor".

O trabalho de R. R. Proctor no ano de 1934, citado por Hough (1957), contribuiu para despertar a atenção sobre a influência que a umidade do solo exerce na massa específica aparente, e que pode perceber mediante a compactação (Bezerra, 1983).

Stanton *et alli* (1943), mostraram que um decréscimo de 5% na massa específica aparente ocasionou, para o solo em estudo, uma diminuição de resistência igual a provocada por redução de 10 a 15% na quantidade de cimento.

#### **f) Cura**

A resistência do solo-cimento aumenta com a idade. Este deve permanecer em período de cura durante os estágios

iniciais de sua vida, a fim de que a hidratação do cimento se processe totalmente.

Segundo O'Flaherty (1974), citado por Bezerra (1983), a temperatura tem um efeito marcante, ou seja, quanto maior a temperatura, mais rápido se processará a cura.

#### **g) Aditivos Químicos**

Segundo Moh *et alli* (1962), os aditivos sódicos aumentam consideravelmente a resistência de todos os tipos de solo-cimento ao ataque de sulfatos, sais comumente presentes na água, os quais de acordo com Mehra *et alli* (1955), Sherwood (1957) e Uppal *et alli* (1957), reagem com o aluminato tricálcio do cimento hidratado provocando aumento de volume e, conseqüentemente, desagregação do solo-cimento.

Mateos *et alli* (1963), chamaram a atenção para o fato de que, em condições normais, o uso de aditivos químicos em solo-cimento pode ser anti-econômico, relacionado com os efeitos sobre a resistência da mistura.

#### **2.5 - Outros Tipos de Estabilização Utilizando o Solo-Cimento.**

Apesar da estabilização do tipo solo-cimento apresentar uma vasta bibliografia, o mesmo não acontece com o solo-cimento-plástico onde se verifica a não existência de referências à reciclagem do plástico na produção de tijolos,

principalmente em pesquisas envolvendo materiais alternativos. Deste modo, torna-se necessário a realização de pesquisas em nosso país e, especialmente na Região Nordeste, utilizando os resíduos de materiais plásticos para que se obtenha um amplo conhecimento sobre tal assunto, dando ênfase ao seu aproveitamento para uso em habitações populares, e na procura de uma nova e eficiente tecnologia de reciclagem.

Trabalhos desenvolvidos com o solo-cimento (Pinto, 1980, ABCP, 1981, Pitta e Nascimento, 1983, ABCP, 1985, ABCP, 1986, ABCP, 1987, Abiko, 1988, CEBRACE, 1980, DEPEA, 1985 a,b), têm mostrado as vantagens técnicas do solo-cimento, porém, há também desvantagens. Uma dessas desvantagens é a elevada massa específica aparente que pode ser reduzida com o uso de um agregado leve. Os agregados leves apresentam uma característica essencial, que é a elevada porosidade, resultando numa massa específica aparente baixa e proporcionando adequada isolação térmica e boa durabilidade.

Segundo Oliveira (1965), o concreto de baixa massa específica tem massa específica entre 0,60 a 1,4 t/m<sup>3</sup> e é usado para elementos não estruturais, como paredes, tijolos, isolantes e elementos estruturais menores, como pranchas para lajes e vigas secundárias.

Agregado leve, é utilizado para a manufatura de "concreto leve", não existe uma definição geral para concreto leve, no sentido mais amplo, o termo pode ser aplicado a qualquer concreto em que tenha sido feita uma tentativa para

obter uma massa específica inferior à do "concreto denso normal", que é da ordem de  $1,40 \text{ t/m}^3$  (Santos, 1975).

Os agregados não participam das reações de endurecimento dos aglomerantes, porém, desempenham funções técnicas e econômicas importantes.

Numa análise da utilização de resíduos e subprodutos na construção civil, observa-se que diversos resíduos podem ser utilizados como agregado leve na produção de tijolos, tais como: cinzas de carvão, papel, resíduo de mineração, serragem e cavacos e casca de arroz. O resíduo urbano plástico, obtido do lixo doméstico, é indicado para utilização em concreto asfáltico (Cincotto, 1988).

Segundo Machado e Pereira (1990), a solução para a ampliação de um espaço físico, sem comprometer a estrutura anterior, foi o uso da tecnologia do solo-cimento associada à prática da substituição de parte do solo por um agregado leve. Neste caso, foi usado a vermiculita na construção de paredes divisórias compostas por painéis monolíticos e tijolos.

#### **2.5.1- Estabilização Solo-Cimento-Vermiculita**

A vermiculita é um silicato hidratado de magnésio, alumínio e ferro, em proporções variáveis, dependendo da origem e do processo geológico de formação, que apresenta uma estrutura cristalina micácea, lamelar e com clivagem basal e que contém cátions trocáveis em posições interlamelares (Santos, 1975).

As vermiculitas podem ser de dois tipos:

**a) Macroscópicas ou macrovermiculitas** - constituída de cristais grandes, bem desenvolvidos e são trioctaédricas.

**b) Microscópicas ou microvermiculitas** - possui as dimensões de argilomineral, podem ser di ou trioctaédricas e são muito mais variáveis em composição o que torna difícil distinguí-las das montmorilonitas.

As propriedades que dão atual interesse industrial às vermiculitas estão relacionadas ao tamanho das partículas, sendo úteis, essencialmente na utilização industrial, na forma expandida, que pode ser feito de duas maneiras: a) pela ação do calor, que recebe o nome de piroexpansão e b) através de produtos químicos.

A vermiculita expandida apresenta uma faixa muito ampla de aplicações, as quais são decorrentes de suas características seguintes: baixa massa específica aparente, baixa condutividade térmica, forma granular solta, à prova de som, moderada refratariedade (1100 - 1200 °C), não deteriora, quimicamente inerte, incombustível e apresenta ainda elevada capacidade de absorção de líquidos e de troca iônica (Campos, 1985).

Cada aplicação requer uma faixa granulométrica apropriada, de modo geral à de granulometria mais grossa é considerada mais nobre, pois apresenta valores mais baixos de massa específica aparente (Rosenburg, 1969). Os três maiores usos da vermiculita expandida são: na sua forma granular solta como um material de enchimento isolante, como um agregado leve

em concretos e como um agregado em argamassa isolantes e à prova de som.

Estima-se que 80% das vendas de vermiculitas expandidas são para aplicação na indústria de construção civil, usada como um material para isolar paredes, tetos e pisos de construções residenciais e industriais contra calor, frio e som. Para concreto leve, é usada para redução no peso das paredes, pisos e tetos, proporcionando apreciável economia na quantidade de aço necessária e conseqüentemente no custo global da estrutura, outras vantagens é proporcionar isolamento térmico, acústico e de proteção anti-chama.

As ocorrências brasileiras de vermiculita, estão distribuídas em pelo menos dez Estados. De acordo com o Anuário Mineral Brasileiro de 1982, nossas reservas representam 8% das reservas mundiais.

Minas Gerais - Jazida de níquel em liberdade no Município de Ubá, Pomba e Tocantins e, na jazida de níquel de Ipanema, Ponte Nova e Dores do Turvo, Mercês.

Goiás - São José do Tocantins, Niquelândia, Catalão, Juçara, Santa Fé.

Pernambuco - Arcoverde, Município de Floresta (localidade de Marie) e Orocó (localidade do Serrote do Gato).

Alagoas - Arapiraca.

Bahia - Juazeiro, Santa Inês, Jequié, Brumado, Capira Grosso, Angico.

Paraná - Campo Largo, Município de Campina Grande do Sul.

São Paulo - Tatuí (bairro do Congonhal), Jacupiranga e Ipanema.

Ceará - Granjeiro.

Piauí - Paulistana.

Paraíba - Povoado de Santo Antonio no Município de São Vicente de Seridó, Fazenda do Serrote Preto no Município de Soledade e no Município de Serra Branca, Sítio Barra no Município de Santa Luzia.

Apesar das inúmeras vantagens do uso da vermiculita na construção civil, esta apresenta uma grande desvantagem que é o elevado custo, e devido a isto, surgiu a idéia de triturar o rejeito plástico residencial e tentar usá-lo como agregado leve.

#### **2.5.2- Estabilização Solo-Cimento-Plástico**

Os materiais plásticos são na sua totalidade de origem sintética, produzidos por processos químicos de custo de produção baixo, e de larga aplicação. São materiais leves, muito resistentes, bons isolantes térmicos e elétricos e são duráveis. Na construção civil, são empregados em laminados decorativos, pisos, vidraças e clarabóias, isolantes acessórios de iluminação, painéis, tubos, conexões e condutores, encanamentos e acessórios de banheiros.

Nos últimos anos, os plásticos tornaram-se úteis em quase todas as atividades, competindo com diversos tipos de

materiais. No Brasil, os plásticos representam aproximadamente 7% do lixo sólido e 20% do volume (Ferreira, 1991).

O grande consumo de materiais plásticos, têm aumentado muito a poluição do meio ambiente, e a preocupação com o rejeito plástico aumentou nos últimos anos. Devido a isto, estudos vêm sendo desenvolvidos visando uma tecnologia de reciclagem com o máximo de aplicações. Entretanto, a reciclagem dos materiais plásticos não atingiu taxas próximas daquelas obtidas para outros materiais, tais como: metais e vidro.

Segundo Cincotto (1988), existem três razões que motivam os estudos de aproveitamento geral dos resíduos industriais e urbano, de acordo com pesquisas com utilização de subprodutos e resíduos na indústria da construção civil. Primeiro, a preocupação com o esgotamento das reservas de matéria-prima, segundo, a preservação do meio ambiente, afetado pelo volume crescente de resíduos sólidos descartáveis e terceiro, em países carentes de matérias-primas, a necessidade de compensar o desequilíbrio econômico, provocado pela alta do petróleo reciclando resíduos sólidos.

Segundo Machado (1992), o emprego do plástico triturado, como agregado leve, na produção de tijolos, é viável tanto sob o aspecto técnico quanto econômico, além de apresentar uma maneira definitiva de aproveitar um material altamente poluente com a conseqüente melhora do meio ambiente.

A introdução do resíduo plástico na construção de tijolos tem como objetivo a diminuição do peso, a redução de custo nas obras executadas, além de reciclar um dos maiores

poluentes do meio ambiente. Os tijolos convencionalmente fabricados com solo-cimento são pesados, difíceis de transportar e confeccionados com materiais de custo alto.

## **CAPÍTULO 3**

### **MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 - Introdução**

Os ensaios desta pesquisa foram realizados nos laboratórios de solos do Departamento de Engenharia Civil - **DEC** do Centro de Ciências e Tecnologia - **CCT** da Universidade Federal da Paraíba - **UFPB**, em Campina Grande/PB.

#### **3.2 - Materiais**

Foram utilizados solos arenosos, rejeitos plásticos triturados, vermiculita e cimento Portland que juntamente com a água, representam os elementos básicos desta pesquisa. A seguir descreve-se as características destes materiais.

##### **3.2.1- Solo**

Foram utilizados dois solos, um proveniente do bairro do Mutirão denominado de SOLO 1 e outro da área de construção do "Shopping Center" na Avenida Manoel Tavares denominado de SOLO 2, ambos da cidade de Campina Grande-PB. Os solos foram peneirados na peneira ABNT n° 4 (abertura 4,8 mm).

Após a identificação do local de coleta, realizou-se o corte da vegetação rala e a imediata retirada da parte mais superficial do solo, para assegurar uma coleta de material com o menor teor possível de matéria orgânica.

Nos locais de coleta, pôde-se observar visualmente a homogeneidade do "top-soil", nitidamente uniforme no que diz respeito às características físicas, tais como: cor, textura, estrutura e consistência.

Os solos foram armazenados em sacos de lona grossa, para não permitir a perda de material fino durante o transporte até o laboratório.

### **3.2.2- Rejeito Plástico**

O rejeito plástico foi obtido em algumas residências como material imprestável na forma de embalagem de "shampoo", detergentes, água sanitária e água mineral. A coleta nas residências permite a obtenção de um plástico mais limpo e selecionado.

Os plásticos foram lavados e a seguir triturados em um moinho da Indústria LIMPAR - Ind. e Comércio Ltda, no bairro do Cruzeiro - Campina Grande-PB. Após sua moagem, o material foi submetido a uma nova trituração em um pequeno moinho de facas, com peneiras acopladas, fabricado em Campina Grande-PB, pela Indústria IVEL Ltda. O moinho está localizado no laboratório de Engenharia de Materiais da Universidade Federal da Paraíba. No laboratório, o plástico moído foi peneirado nas

peneiras ABNT n° 4 (abertura 4,8 mm) e n° 10 (abertura 2,0 mm). O material que passou na peneira ABNT n° 4 foi designado de composição 1 (C1) e o que passou na peneira ABNT n° 10 foi designado de composição 2 (C2). Nos ensaios foi usado plástico triturado numa composição, denominada C3, com 50% da composição 1 (C1) e 50% da composição 2 (C2).

### **3.2.3- Vermiculita**

Adquirida no comércio local da cidade de Campina Grande-PB acondicionada em sacos de 20 kg. No laboratório foi peneirada nas peneiras ABNT n° 4 (abertura 4,8 mm) e n° 10 (abertura 2,0 mm) e designados como composição 1 (C1) e composição 2 (C2), respectivamente. Nos ensaios foi usado a vermiculita na composição 3 (C3), ou seja, 50% da composição 1 (C1) e 50% da composição 2 (C2).

### **3.2.4- Cimento**

Utilizada uma amostra de cimento Portland CPIIF-32, marca ZEBÚ, adquirido no comércio local. Foi usado um cimento comprovadamente novo, a fim de que suas propriedades originais não estivessem alteradas. O cimento chegou ao laboratório em sacos de papel "Kraft", 3 camadas, tendo sido retirado da embalagem original e a seguir colocado em sacos plásticos lacrados com a finalidade de evitar a hidratação, devido o contato com a umidade do ar. Para se obter eficiência na

pesquisa, os sacos eram abertos apenas no momento em que se utilizava seu conteúdo nos ensaios.

### **3.2.5- Água**

Foi utilizada água potável fornecida pela CAGEPA para o sistema de abastecimento local da cidade de Campina Grande - PB.

### **3.3 - Métodos**

Os ensaios executados durante a pesquisa são mostrados esquematicamente no Fluxograma da Figura 2. Foram realizados ensaios de caracterização e ensaios tecnológicos dos diversos corpos de prova, conforme descritos a seguir:

#### **3.3.1- Ensaios de Caracterização**

Os ensaios de caracterização foram realizados nos solos, no plástico, na vermiculita e no cimento.

Com o SOLO foram feitos os seguintes ensaios:

- Análise Granulométrica por Peneiramento e Sedimentação, ABNT-NBR 7181 (1984);
- Limites de Liquidez, ABNT-NBR 6459 (1984), e Plasticidade, ABNT-NBR 7180 (1984);
- Compactação, ABNT-NBR 6457 (1986);
- Salinidade, EMBRAPA (1979);

- Massa Específica Real, ABNT-NBR 6508 (1984);
- Massa Específica Aparente, ABNT-NBR 10838 (1988).

Com o PLÁSTICO e a VERMICULITA foram realizados os ensaios de:

- Análise Granulométrica por Peneiramento, ABNT-NBR 7181 (1984);

- Massa Específica Real, ABNT-NBR 6508 (1984);
- Massa Específica Aparente, ABNT-NBR 10838 (1988).

Com relação ao CIMENTO, foram realizados os ensaios tradicionais de:

- Finura, ABNT-NBR 11579 (1991);
- Área Específica (Blaine), ABNT-NBR 7224 (1984);
- Massa Específica Real, ABNT-NBR 6474 (1984);
- Massa Específica Aparente, ABNT-NBR 10838 (1988);
- Análise Química (LAM-UFPB), Campina Grande-PB;
- Resistência à Compressão Simples, ABNT - NBR 7215 (1991).

### **3.3.2- Tipos de Dosagens**

Na fabricação dos corpos de prova cilíndricos para os ensaios tecnológicos, adotou-se dois tipos de dosagens, na determinação dos traços.

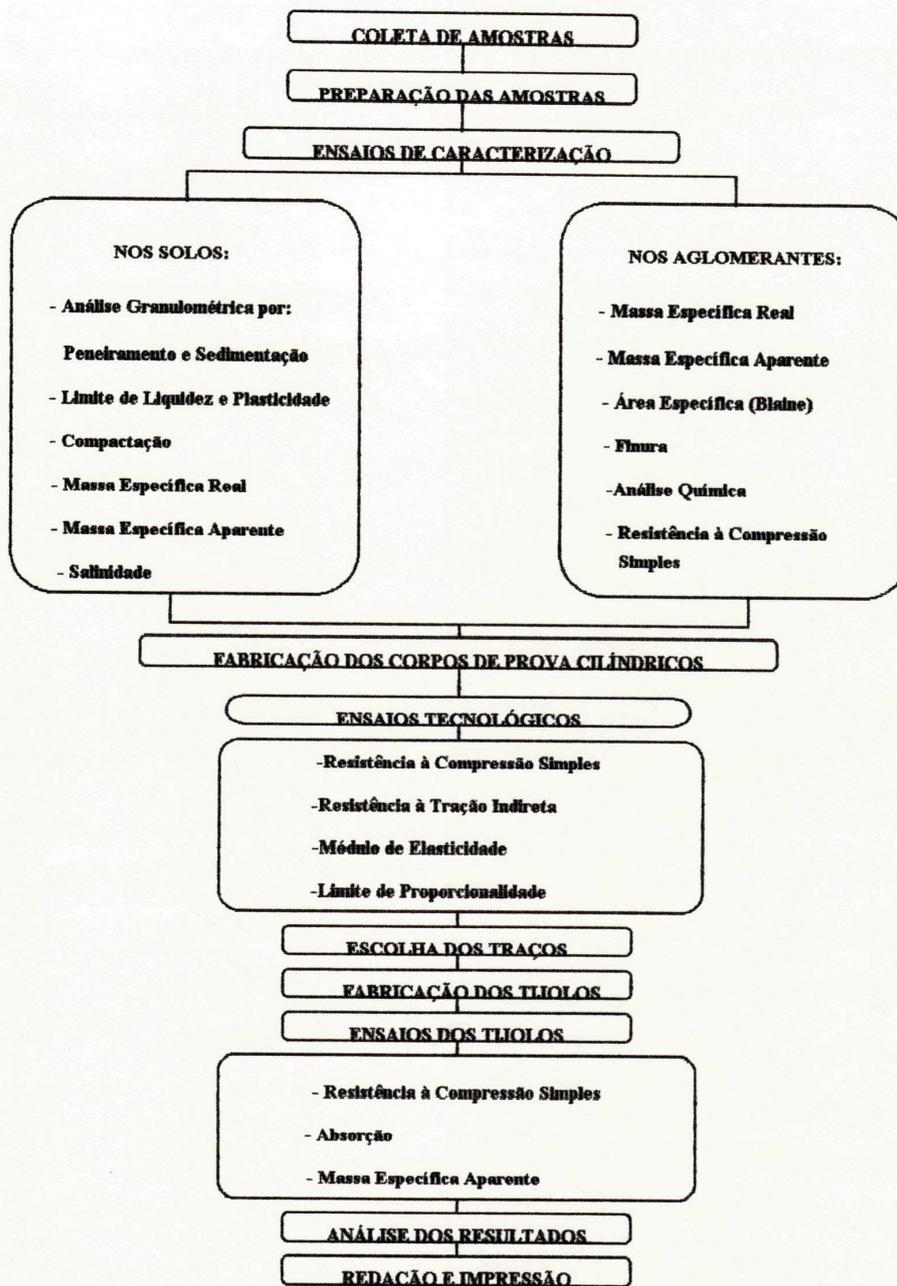


Figura 2 - Fluxograma do Desenvolvimento da Dissertação - "Estudo comparativo entre Solo-Cimento, Solo-Cimento-Vermiculita e Solo-Cimento-Plástico".

### **3.3.2.1- Dosagem de Solo-Cimento pelo Método Físico-Químico**

Os métodos usuais para determinação de teores de cimento são trabalhosos e consomem um tempo relativamente longo, necessitando de equipamento especial e pessoal treinado. Alguns métodos rápidos tem sido propostos.

A partir do método sugerido por Diamond e Kinter (1968), em que o teor de cimento era determinado através de uma correlação deste com a superfície específica do solo, o pesquisador, indiano Chadda (1971) desenvolveu um método rápido para a determinação do teor de cimento. Em trabalho anterior Chadda (1954), citado por Oliveira (1994), demonstrou que nas misturas solo-cimento, as partículas de cimento comportam-se como carregadas eletricamente e sua presença no solo aumenta a condutividade elétrica da massa solo-cimento compactada. Essa interação em colóides negativamente carregadas, juntamente com a hidratação do cimento, produz mudanças físico-químicas rápidas no sistema. Consequentemente, há produção de variações volumétricas substanciais quando a mistura é suspensa em água.

O método proposto por Chadda compreende um único ensaio onde várias provetas contendo uma suspensão em água de misturas de quantidades iguais de solo em todas as provetas e teores crescentes de cimento em peso. São observadas as variações volumétricas do sedimento de solo-cimento na suspensão e o sedimento da suspensão contendo somente solo ao longo do tempo. A proveta cujo teor de cimento produzir a

máxima variação volumétrica percentual, com relação ao volume de sedimento da proveta sem adição de cimento, contém o teor mínimo requerido à estabilização do solo ensaiado. Este fenômeno se deve ao aumento gradual do sedimento de solo-cimento causado pela rápida interação do cimento e das partículas de solo, que cessa tão logo o teor de cimento atinja um limite de saturação requerido para a produção de uma mistura estável. Um aumento do teor acima desse limite pode implicar em ganho de resistência mecânica da mistura compactada, porém não produzirá mais nenhuma interação com a fração argila (Chadda, 1971).

Tomando conhecimento desta publicação Casanova e Ceratti (1986), iniciaram, na COPPE/UFRJ, estudos do método testando-o em trinta solos. Outro trabalho (Casanova e Ceratti, 1988), ensaiaram doze solos e compararam os resultados do método físico-químico com os do método da ABCP, concluindo que há razoável concordância entre os dois métodos e que a maioria dos solos alcançou boa resistência à compressão com o teor indicado pelo método Físico-Químico.

Neste método as principais vantagens consistem em: rapidez de execução, pouca quantidade de material e pessoal tecnicamente não especializado (Anexo 1).

### **3.3.2.2- Dosagem de Solo-Cimento pelo Método "Experimental"**

Partindo-se do traço usual de solo-cimento, 1:15, em volume, que corresponde a 6,3% em peso de cimento, usou-se dois

percentuais acima e abaixo deste traço, ou seja 1:17 e 1:13, respectivamente, para confecção dos corpos de prova (DEPEA, 1985).

Para cada teor, moldou-se nove corpos de prova, os quais foram colocados em câmara úmida, durante os períodos de cura de 7, 28 e 60 dias e, finalmente ensaiado à compressão simples.

O teor recomendado é o menor dentre os testados, que confira a resistência mínima de 2 MPa, de modo que nenhum dos valores individuais estejam abaixo de 1,7 MPa, com idade mínima de 7 dias (Anexo 2).

### **3.3.3- Ensaios Tecnológicos**

Os ensaios tecnológicos foram realizados em corpos de prova cilíndricos, com dimensões de 10 cm x 12,5 cm, no Proctor Normal, segundo a ABNT, MB-3360 (1990).

Foi feita dosagem nos traços, em volume, 1:13, 1:15 e 1:17 de cimento:solo, que correspondem respectivamente a 7,0%, 6,3% e 5,6% de cimento em peso, e substituindo-se parte do solo por agregado leve, nos traços correspondentes em volume, 1:12:1, 1:11:2, 1:10:3, 1:9:4 e 1:14:1, 1:13:2, 1:12:3 e 1:11:4 e 1:16:1, 1:15:2, 1:14:3 e 1:13:4 de cimento:solo:agregado leve, ou seja cimento:solo:plástico e cimento:solo:vermiculita.

Os corpos de prova foram colocados dentro de um tanque cheio de areia saturada, até total imersão, para garantir a cura necessária. Após os períodos de cura, os corpos

de prova foram retirados e rompidos em uma prensa Losenhausen (Anexo 5). A seguir foram realizados ensaios de:

- Resistência à Compressão Simples (RCS);
- Resistência à Tração Indireta (RTI);
- Módulo de Elasticidade (E);
- Limite de Proporcionalidade (fel).

### 3.3.3.1- Resistência à Compressão Simples (RCS)

O ensaio de RCS foi realizado segundo o método da ABNT, MB-3361 (1990) com os solos no estado natural, nos corpos de prova de solo-cimento, solo-cimento-vermiculita e solo-cimento-plástico. Foram preparados três corpos de prova para cada período de cura, a saber: 7,28 e 60 dias.

A **RCS** foi obtida pela equação:

$$RCS = F/A$$

onde:

RCS = resistência à compressão simples,  $\text{kgf/cm}^2$ ; \*

F = força axial de ruptura que atua no corpo de prova,  $\text{kgf}$ ;

A =  $\pi d^2/4$ ;

d = diâmetro do corpo de prova,  $\text{cm}$ ;

A = área do corpo de prova,  $\text{cm}^2$ .

-----

\*  $1 \text{ kgf/cm}^2 = 10^{-1} \text{ MPa}$

Dos três resultados obtidos, foi tirada a média do valor da resistência à compressão simples e calculado o desvio relativo máximo de 10%. Quando um dos valores de resistência diferia da média de 10%, ele seria eliminado e tomava-se a média dos dois restantes. Se mais de dois valores se afastassem de 10% da média, não eram considerados e procedia-se a novo ensaio. Os resultados estão expressos em MPa e com uma precisão de duas casas decimais.

### 3.3.3.2- Resistência à Tração Indireta (RTI)

Os ensaios de RTI foram realizados segundo o método da ABNT, NBR 7222 (1983), com os corpos de prova de solo-cimento, solo-cimento-vermiculita e solo-cimento-plástico. Foram preparados quinze corpos de prova, sendo cinco para cada período de cura, ou seja, 7, 28 e 60 dias.

O valor da **RTI** foi obtido pela equação:

$$RTI = (2F) / (\pi \cdot d \cdot l)$$

onde:

RTI = resistência à tração indireta por compressão diametral,  $\text{kgf/cm}^2$  \*;

F = força de ruptura que atua no corpo de prova, kgf;

d = diâmetro do corpo de prova, cm;

l = comprimento do corpo de prova, cm.

-----  
\*  $1 \text{ kgf/cm}^2 = 10^{-1} \text{ MPa}$

De todos os resultados foi tirada a média e calculados os desvios relativos máximos de 10% dos resultados dos cinco corpos de prova. Os resultados estão expressos em MPa e com uma precisão de duas casas decimais.

### 3.3.3.3- Módulo de Elasticidade (E)

O módulo de elasticidade do solo-cimento foi determinado através dos gráficos de tensão-deformação representado pela inclinação da linha reta, partindo-se da origem até um ponto onde é válida a lei de Hooke (Anexo 3).

O valor do **E** foi obtido pela equação:

$$\sigma = E \times \varepsilon \text{ , onde:}$$

$\sigma$  = tensão normal, kg/cm<sup>2</sup>; \*

$\varepsilon$  = deformação específica;

E = módulo de elasticidade, kg/cm<sup>2</sup>. \*

Após a determinação dos módulos de elasticidade, estes foram comparados com os módulos de elasticidade encontrados pelas fórmulas, recomendadas pela ABNT, NB-1 (1978) e CEB (Comité Euro-Internacional do Béton):

$$E = 6600 \sqrt{f_{cj}} - \text{MPa} - \text{NB} - 1$$

$$E = 18000 \sqrt{\gamma^3 f_{cj}} - \text{N} / \text{cm}^2 - \text{CEB}$$

-----  
 $1 \text{ N/cm}^2 = 10^{-2} \text{ MPa}$

onde:

$f_{cj}$  = resistência à compressão simples aos  $j$  dias de idade,  
MPa (NB-1) e  $N/cm^2$  (CEB);

$\gamma$  = massa específico do concreto,  $tf/m^3$ .

Para o solo-cimento-plástico e solo-cimento-vermiculita, os módulos de elasticidade foram calculados através das fórmulas da ABNT, NB-1 e CEB e os valores foram comparados com o solo-cimento.

#### **3.3.3.4- Limite de Proporcionalidade (fel)**

O limite de proporcionalidade para o solo-cimento foi determinado, através dos gráficos de tensão-deformação, que é o maior valor da tensão desenvolvida durante o ensaio, de forma que a tensão seja uma função linear da deformação, isto é, o ponto em que a lei de Hooke é válida (Anexo 3).

#### **3.3.4- Ensaio nos Tijolos**

Na fabricação de tijolos ou blocos prensados, não existe um método de dosagem específico para este fim. O método experimental, inspirados nas normas da ABCP, foram adaptados para a aplicação em paredes monolíticas (CEPED 1985). O método físico-químico, segundo mensão feita nos trabalhos de Chadda (1954 & 1971), seria um método rápido de dosagem de misturas de

solo-cimento destinada a construção rodoviária na época de sua publicação.

Para escolha do traço, na fabricação dos tijolos, partiu-se dos valores da resistência à compressão simples obtida nos corpos de prova cilíndricos. Os tijolos foram moldados nos traços, em volume, 1:13, 1:15 e 1:17 de cimento:solo e 1:10:3, 1:13:2 e 1:16:1 de cimento:solo:vermiculita e cimento:solo:plástico.

Os tijolos foram feitos em prensa manual, com capacidade para fabricação de três tijolos a cada prensagem, com dimensões denominada de tipo II, segundo a ABNT-NBR 10832 (1984), ou seja, de 23 x 11 x 5 cm.

Foram colocados na sombra e após 6 horas de moldagem e durante os 7 primeiros dias, mantidos úmidos por meio de sucessivas molhagens, a fim de garantir a cura necessária. Em seguida, foram realizados os ensaios de:

- Resistência à Compressão Simples (RCS);
- Absorção (Abs);
- Massa Específica Aparente (MEA).

Foram preparados dez corpos de prova para cada ensaio, cada traço e para os períodos de 7 e 28 dias.

De todos os resultados foi calculada a média e determinados os desvios relativos máximos de 10%, dos resultados dos dez tijolos. Os valores estão expressos em MPa com uma precisão de duas casas decimais.

#### 3.3.4.1- Resistência à Compressão Simples (RCS)

O ensaio de RCS foi realizado segundo o método da ABNT-NBR 8492 (1984).

O valor da **RCS** foi obtido pela fórmula:

$$\mathbf{RCS = F/A}$$

onde:

RCS = resistêncçia à compressão simples, kgf/cm<sup>2</sup>; \*

F = força de ruptura que atua no tijolo, kgf,

$$\mathbf{A = (b/2) \times h}$$

onde:

A = área do tijolo, cm<sup>2</sup>;

b = base do tijolo, cm;

h = altura do tijolo, cm.

#### 3.3.4.2- Absorção (Abs)

O ensaio de absorção foi realizado de acordo com o método da ABNT-NBR 8492 (1984).

A **Abs** foi determinada pela equação:

$$\mathbf{Abs = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100}$$

-----  
\* 1 kgf/cm<sup>2</sup> = 10<sup>-1</sup> MPa

onde:

Abs = absorção de água, em porcentagem, %;

M<sub>1</sub> = massa do tijolo seco em estufa, g;

M<sub>2</sub> = massa do tijolo saturado, g.

#### **3.3.4.3- Massa Específica Aparente (MEA)**

A massa específica aparente seguiu o método da ABNT-NBR 10838(1988), obtida da seguinte forma:

$$MEA = \frac{P}{V},$$

onde:

MEA = massa específica aparente, g/cm<sup>3</sup>;

P=M<sub>1</sub> = massa do tijolo seco em estufa, g;

V = volume do tijolo, cm<sup>3</sup>;

$$V = l \times h \times c$$

Onde:

l = largura do tijolo, cm;

h = altura do tijolo, cm;

c = comprimento do tijolo, cm;

## **CAPÍTULO 4**

### **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

#### **4.1 - Introdução**

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos, dos ensaios de caracterização, tecnológicos e nos tijolos efetuados no decorrer desta pesquisa.

#### **4.2 - Ensaio de Caracterização**

##### **4.2.1- Análise Granulométrica de Agregados**

Os solos, de acordo com os dados do ensaio de análise granulométrica por peneiramento e sedimentação, Tabela 1, foram classificados como solo SM, ou seja, areias siltosas, segundo a Classificação Unificada dos solos.

**Solo 1 - Solo do Mutirão**, areia siltosa (SM), com 99% de material passando na peneira ABNT n 4 (abertura 4,8 mm), e 31% passando na peneira ABNT n 200 (abertura 0,074 mm), com relação à amostra total.

**Solo 2 - Solo do Shopping**, areia siltosa (SM), com quase 100% de material passando na peneira ABNT n 4 (abertura

4,8 mm) e 19,3% passando na peneira ABNT n 200 (abertura 0,074 mm) com relação a amostra total.

Na análise granulométrica dos solos por peneiramento e sedimentação foram encontradas as seguintes frações do solo, em função de seus diâmetros:

<b>ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAMENTO E SEDIMENTAÇÃO</b>		
<b>RESUMO DA GRANULOMETRIA</b>	<b>SOLO 1</b>	<b>SOLO 2</b>
Pedregulho (acima de 4,8 mm)	1,0 %	1,0 %
Areia grossa (4,8 a 0,84 mm)	11,0 %	34,0 %
Areia média (0,84 a 0,25 mm)	22,0 %	27,0 %
Areia fina (0,25 a 0,05 mm)	47,0 %	28,0 %
Silte + argila (abaixo de 0,05 mm)	19,0 %	10,0 %
<b>TOTAL</b>	<b>100,0 %</b>	<b>100,0 %</b>
Retido entre 2,0 e 0,074 mm	65,0 %	76,0 %
Argila (abaixo de 0,005 mm)	8,0 %	5,0 %
Classificação dos Solos	<b>SM</b>	<b>SM</b>

Tabela 1 - Análise Granulométrica dos Solos por Peneiramento e Sedimentação.  
**Solo 1** - Solo do Mutirão  
**Solo 2** - Solo do Shopping  
**SM** - Areias Siltosas.

Na Tabela 2 são apresentados os valores de Limites de Atterberg, ensaio de Compactação, Salinidade, Massa Específica Real, Massa Específica Aparente, Finura e Área Específica (Blaine) para os diversos materiais.

#### 4.2.2- Limites de Liquidez e Plasticidade

Os Limites de Atterberg, foram determinados e segundo o método de ensaio, os solos apresentam as características de um solo **não líquido (NL)** e **não plástico (NP)**, isto indicando que trata-se de solos arenosos.

#### 4.2.3- Compactação

No ensaio de compactação foi obtido valores de massa específica máxima de  $1,970 \text{ g/cm}^3$  e  $1,990 \text{ g/cm}^3$  para teores ótimos de umidade de 10,0% e 6,2%, para o solo 1 e o solo 2, respectivamente. Estes valores mostram que o solo 2 apresenta valor de massa específica máxima maior que o solo 1 e o teor ótimo de umidade inferior.

#### 4.2.4- Salinidade

Quanto ao ensaio de salinidade, os solos apresentam um percentual abaixo de 0,05% que é considerado um baixo teor. Quando o grau de salinidade é elevado, ou seja, acima de 4% (EMBRAPA, 1979), determina-se a porcentagem de cátions (Ca, Mg, Na e K) e ânions ( $\text{Cl}$ ,  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{CO}_3$  e  $\text{SO}_4$ ) (Anexo 4).

Nos solos em estudos, verificou-se que o grau de salinidade apresentou valores abaixo de 4% não sendo necessário calcular a porcentagem de cátions e ânions.

#### 4.2.5- Massa Específica Real e Massa Específica Aparente

Nos ensaios de massa específica real e massa específica aparente foram obtidos os valores de  $2,630 \text{ g/cm}^3$  e  $1,40 \text{ g/cm}^3$ , para o solo 1,  $2,670 \text{ g/cm}^3$  e  $1,44 \text{ g/cm}^3$ , para o solo 2,  $0,970 \text{ g/cm}^3$  e  $0,32 \text{ g/cm}^3$ , para o plástico e finalmente  $0,714 \text{ g/cm}^3$  e  $0,25 \text{ g/cm}^3$  para a vermiculita.

Observa-se que o solo 2 apresenta valores, tanto de massa específica real quanto de massa específica aparente superiores aos do solo 1. O plástico apresenta valores superiores e próximos da vermiculita e bem inferiores aos valores dos solos.

#### 4.2.6- Ensaios no Cimento

O cimento Portland CPIIF-32 apresenta valores de massa específica real de  $3,065 \text{ g/cm}^3$ , de massa específica aparente  $1,15 \text{ g/cm}^3$ , de finura de 1,7% de porcentagem retida e uma área específica (Blaine) de  $558,8 \text{ m}^2/\text{kg}$ .

Segundo a ABNT-EB 2138 (1991), prescreve um Limite de retenção inferior a 12% na peneira ABNT n 200 (abertura  $0,074\text{mm}$ ), para o cimento Portland composto - CPIIF-32 área específica (Blaine) no mínimo de  $260 \text{ m}^2/\text{kg}$ .

No ensaio para determinação da resistência à compressão do cimento foi utilizado um traço 1:3 em peso, com fator água/cimento de 0,48 segundo a norma da ABNT-NBR 7215 (1991). De acordo com este ensaio, o cimento apresentou

resistência aos 28 dias de cura superior a 32 MPa, resistência mínima exigida para este tipo de cimento conforme a especificação EB-2138 (1991).

A Tabela 3, apresenta a análise química do cimento utilizado. Esta análise foi determinada segundo o método de análise química do Laboratório de Análises Mineraias do CCT/PRAI/UFPB, LAM-CG. Observando-se esta tabela e comparando os valores de óxido de magnésio e perda ao fogo, segundo a EB-2138 (1991), estes valores não poderiam ser superiores a 6,5% enquanto que os resultados encontrados foram de 7,44 e 8,22%, respectivamente.

### **4.3 - Tipos de Dosagens**

#### **4.3.1- Dosagens de Solo-Cimento pelo Método Físico-Químico**

Na tentativa de simplificar a dosagem do cimento, outra metodologia tem sido estudada que é o método físico-químico de dosagem do solo-cimento o qual foi feito visando comparar os resultados com a dosagem "experimental" e comprovar a eficiência do método.

Nas Tabelas 4 e 5, complementados pelos gráficos das Figuras 3 e 4, estão apresentados os valores das leituras obtidas nas provetas, para cada teor de cimento e as respectivas variações volumétricas. Ao valor máximo da variação volumétrica corresponde ao teor de cimento mínimo necessário para estabilizar o solo.

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS MATERIAIS**

AMOSTRAS	SOLO 1	SOLO 2	PLÁSTICO	VERMICULITA	CIMENTO
<b>ENSAIOS</b>					
LL	NL	NL	-	-	-
LP	NP	NP	-	-	-
COMPACTAÇÃO (g/cm <sup>3</sup> )	dmáx=1,97 hót =10%	dmáx=1,99 hót =6,2%	-	-	-
SALINIDADE (%)	0,030	0,030	-	-	-
MASSA ESPECÍFICA REAL (g/cm <sup>3</sup> )	2,630	2,670	0,970	0,714	3,065
MASSA ESPECÍFICA APARENTE (g/cm <sup>3</sup> )	1,40	1,44	0,32	0,25	1,15
FINURA (%)	-	-	-	-	1,7
ÁREA ESPECÍFICA (m <sup>2</sup> /kg)	-	-	-	-	558,8

Tabela 2 - Características Físicas dos Materiais, quanto aos Ensaio de Limites de Atterberg, Massa Específica Real e Aparente, Finura e Área Específica.

**Solo 1** - Solo do Mutirão

**Solo 2** - Solo do Shopping

**LL** - Limite de Liquidez

**LP** - Limite de Plasticidade

**NL** - Não Líquido

**dmáx** - Densidade Máxima

**hót** - Umidade Ótima

### COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO CIMENTO PORTLAND - CPIIF-32

COMPONENTES	%
PR (Perda de Fogo)	8,22
RI (Resíduo Insolúvel)	0,80
SiO <sub>2</sub> (Óxido de Silício)	17,48
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Óxido de Ferro)	2,31
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Óxido de Alumínio)	6,89
CaO (Óxido de Cálcio)	56,55
MgO (Óxido de Magnésio)	7,44
K <sub>2</sub> O (Óxido de Potássio)	0,24
Na <sub>2</sub> O (Óxido de Sódio)	0,06

Tabela 3 - Composição Química do Cimento Portland CPIIF-32, utilizado nesta pesquisa.

Para o solo 1, representado pela Tabela 4 e Figura 3, o teor mínimo de cimento é de 7% em peso, que corresponde ao traço, em volume, 1:13 de cimento:solo. Para o solo 2, representado pela Tabela 5 e Figura 4, o teor mínimo é de 5%, em peso de cimento que equivale ao traço, em volume, 1:19 de cimento:solo.

#### 4.3.2- Dosagem de Solo-Cimento pelo Método "Experimental"

Foi feita dosagem nos traços de 1:13, 1:15 e 1:17 de cimento e solo, que corresponde a 7,0%, 6,3% e 5,6% de cimento, em peso, para cada tipo de solo. Foram feitos corpos de prova cilíndricos de 10,0 cm x 12,5 cm, com os resultados do ensaio de compactação, ou seja, com a máxima massa específica e umidade ótima de cada solo e com a mesma energia de compactação, isto é, Proctor Normal.

DOSAGEM FÍSICO-QUÍMICA - SOLO 1								
Cimento	Leituras nas Provetas (ml)							Varição Volumétrica
(%)	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	(%)
0	20	21	19	21	20	20	20	0
3	35	45	50	50	49	48	47	138
5	39	54	60	60	60	58	57	185
<b>7</b>	41	59	63	61	63	60	59	<b>200</b>
9	40	51	54	54	55	54	53	162
11	36	46	49	49	49	49	49	133
13	36	45	46	46	46	46	45	119

Tabela 4 - Leituras do Ensaio Físico-Químico para Dosagem de Solo-Cimento realizada com o Solo 1 - Solo do Mutirão.

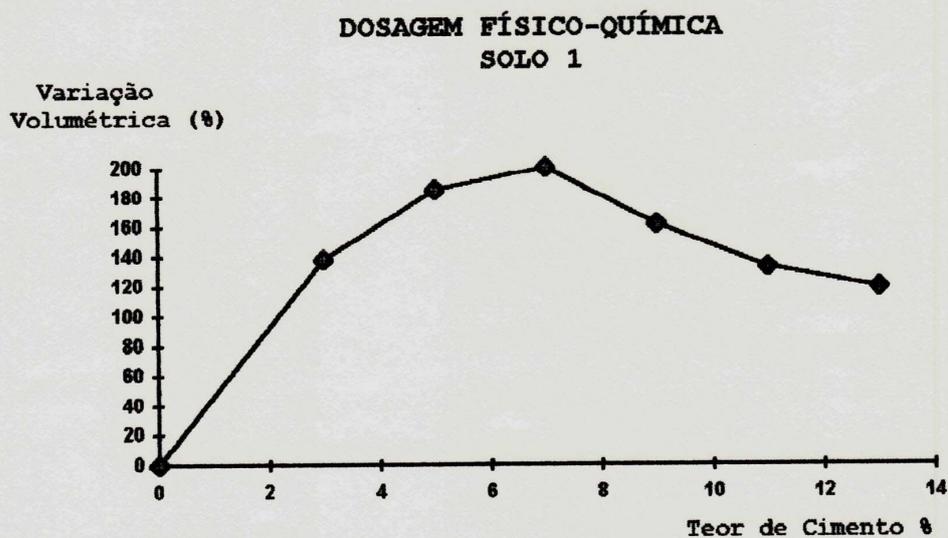


Figura 3 - Gráfico da Variação Volumétrica Máxima x Teor de Cimento para o Solo 1 - Solo do Mutirão.

DOSAGEM FÍSICO-QUÍMICA - SOLO 1								
Cimento (%)	Leituras nas Provetas (mL)							Variação Volumétrica (%)
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	
0	18	16	18	18	18	18	16	0
3	34	40	46	48	46	44	44	167
<b>5</b>	42	56	58	60	58	58	57	<b>233</b>
7	45	55	56	58	55	57	57	222
9	43	54	55	56	56	56	56	211
11	43	52	53	55	55	55	55	206
13	37	48	50	50	50	50	51	183

Tabela 5 - Leituras do Ensaio Físico-Químico para Dosagem de Solo-Cimento realizada com o Solo 2 - Solo do Shopping.

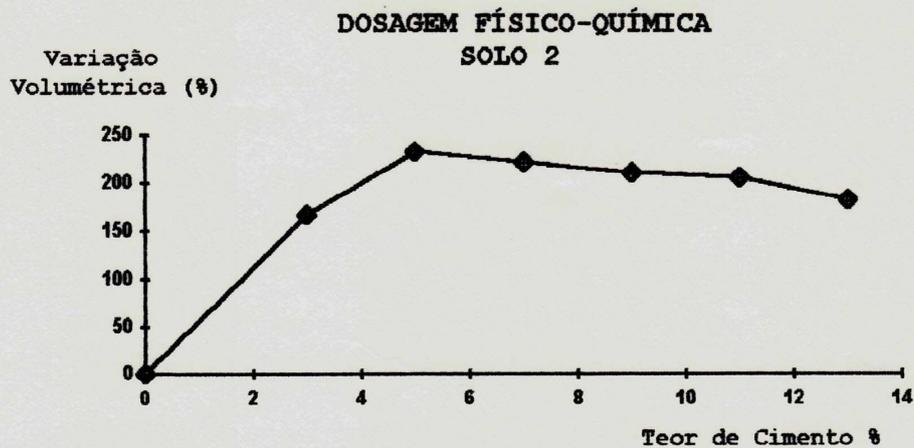


Figura 4 - Gráfico da Variação Volumétrica Máxima x Teor de Cimento para o Solo 2 - Solo do Shopping.

#### 4.4 - Ensaaios Tecnológicos

##### 4.4.1- Resistência à Compressão Simples (RCS)

Na Tabela 6 são apresentados os valores de resistência à compressão simples de corpos de prova cilíndricos, com o solo no estado natural e nos traços em volume, de 1:13, 1:15 e 1:17 de cimento:solo para o solo 1 e o solo 2.

Através dos valores de resistência à compressão simples, observa-se que os valores aumentaram com o respectivo aumento do período de cura de 7, 28 e 60 dias, e diminuíram com a diminuição da porcentagem de cimento, com conseqüente aumento do solo na mistura.

O solo 1 no estado natural, foram obtidos os valores de 0,70, 0,80 e 1,00 MPa e para o solo 2 de 0,90, 1,00 e 1,10 MPa para 7, 28 e 60 dias de cura respectivamente. Quando da adição de cimento, o solo 1 apresenta valores de 1,50, 1,60, e 2,00 MPa e o solo 2 de 2,00, 3,00 e 3,10 MPa, no traço 1:13, para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura respectivamente; no traço 1:15 os valores foram de 1,30, 1,40 e 1,50 MPa para o solo 1 e 1,60, 2,60 e 2,70 MPa para o solo 2 e finalmente no traço 1:17 foram de 0,90, 1,00 e 1,10 MPa e 1,40, 1,80 e 1,90 MPa, para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura, para o solo 1 e o solo 2 respectivamente. Devido o solo 2 apresentar desempenho mecânico superior ao solo 1, a pesquisa foi continuada com o **solo 2**. Observa-se também, que os resultados

da resistência confirmam os teores encontrados na dosagem físico-químico, ou seja, para o solo 1 com o teor de 7% em peso de cimento, que corresponde a 1:13 de cimento e solo, em volume, apresentou resultados variando de 1,50, 1,60 e 2,00 MPa, para os períodos de 7, 28 e 60 dias, respectivamente, que é equivalente a valores obtidos em pesquisas de Guimarães (1981), Pinto (1980), entre outros. Para o solo 2, um teor de 5,6%, que corresponde ao traço 1:17 de cimento e solo, em volume, a resistência variou de 1,40, 1,90 e 1,80 MPa para os períodos de cura de 7, 28 e 60 dias.

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES (MPa)						
Cura (dias)	7	28	60	7	28	60
Traços (em volume)	Solo 1			Solo 2		
Solo natural	0,70	0,80	1,00	0,90	1,00	1,10
1:13 (solo-cimento)	1,50	1,60	2,00	2,00	3,00	3,10
1:15 (solo-cimento)	1,30	1,40	1,50	1,60	2,60	2,70
1:17 (solo-cimento)	0,90	1,00	1,10	1,40	1,80	1,90

Tabela 6 - Resistência à Compressão Simples de Corpos de Prova Cilíndricos (MPa) para o Solo 1 e o Solo 2, no Estado Natural e Solo-Cimento, para os Períodos de Cura de 7, 28 e 60 dias.

**Solo 1** - Solo do Mutirão.

**Solo 2** - Solo do Shopping.

A Tabela 7 apresenta os valores de resistência à compressão simples para os corpos de prova cilíndricos, preparados com o solo 2, nos traços em volume de 1:13, 1:15 e 1:17 de cimento:solo e os traços equivalentes 1:12:1, 1:11:2, 1:10:3, 1:9:4, 1:14:1, 1:13:2, 1:12:3, 1:11:4 e 1:16:1, 1:15:2, 1:14:3 e 1:13:4 de cimento:solo:agregado leve, ou seja cimento:solo:plástico e cimento:solo:vermiculita.

Observa-se que os valores da RCS dos corpos de prova de solo-cimento variaram de 1,40 Mpa a 3,10 MPa para os traços de 1:17 (com 7 dias de cura) e 1:13 (com 60 dias de cura), respectivamente, ou seja, no traço 1:13, os valores foram de 2,00, 3,00, 3,10 MPa, no traço 1:15 foram de 1,60, 2,60 e 2,70 MPa e finalmente no traço 1:17 foram de 1,40, 1,80 e 1,90 MPa, para os períodos de cura de 7, 28 e 60 dias, respectivamente. Para os corpos de prova de solo-cimento-plástico (SCP) e solo-cimento-vermiculita (SCV) nos traços equivalentes a 1:13 (1:12:1, 1:11:2, 1:10:3 e 1:9:4) os valores da RCS do SCP, variaram de 0,86 MPa (traço 1:9:4 aos 7 dias) a 2,81 MPa (traço 1:12:1 aos 60 dias) para os corpos de prova de SCV, variaram de 0,78 MPa (traço 1:9:4 aos 7 dias) a 2,37 MPa (traço 1:12:1 aos 60 dias), ou seja, para os corpos de prova de SCP os valores foram de 1,57, 2,08, e 2,81 MPa no traço 1:12:1; de 1,36, 1,72 e 2,15 MPa no traço 1:11:2; de 1,09, 1,25 e 1,77 MPa no traço 1:10:3; e de 0,86, 1,01, e 1,52 MPa no traço 1:9:4 e para SCV os valores foram de 1,39, 1,91, 2,37 MPa no traço 1:12:1; de 0,90, 1,23, 1,66 MPa no traço 1:11:2; de 0,83, 1,05 e 1,61 MPa no traço 1:10:3, e de 0,78, 0,91 e 1,18 MPa no traço 1:9:4,

para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura, respectivamente. Nos traços equivalentes a 1:15 (1:14:1, 1:13:2, 1:12:3 e 1:11:4) os valores variaram de 0,62 MPa e 0,59 MPa (no traço 1:11:4 aos 7 dias) a 2,53 MPa e 2,10 MPa (no traço 1:14:1 aos 60 dias), para o SCP e SCV, respectivamente, ou seja, para o SCP os valores foram de 1,55, 1,94 e 2,53 MPa no traço 1:14:1; de 1,20, 1,45 e 1,96 MPa no traço 1:13:2; de 0,93, 1,27 e 1,71 MPa no traço 1:12:3; e de 0,62, 0,98 e 1,48 MPa no traço 1:11:4 e para o SCV foram de 1,10, 1,45 e 2,10 MPa no traço 1:14:1; de 0,93, 0,99 e 1,88 MPa no traço 1:13:2; de 0,67, 0,69 e 1,42 MPa no traço 1:12:3 e de 0,59, 0,79 e 1,29 MPa no traço 1:11:4, para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura, respectivamente. Nos traços equivalentes a 1:17 (1:16:1, 1:15:2, 1:14:3 e 1:13:4) os valores variaram de 0,60 MPa (traço 1:13:4 aos 7 dias) a 1,86 MPa (traço 1:16:1 aos 60 dias) para o SCP e 0,50 MPa (traço 1:13:4 aos 7 dias) a 1,48 MPa (traço 1:16:1 aos 60 dias), para os corpos de prova de SCV, ou seja, para o SCP os valores foram de 1,13, 1,80 e 1,86 MPa no traço 1:16:1; de 0,97, 1,72 e 1,78 MPa no traço 1:15:2; de 0,65, 1,20 e 1,61 MPa no traço 1:14:3 e de 0,60, 0,91 e 1,32 MPa no traço 1:13:4 e para o SCV foram de 0,95, 1,11 e 1,48 MPa no traço 1:16:1; de 0,73, 0,97 e 1,45 MPa no traço 1:15:2; de 0,57, 0,62 e 1,40 MPa no traço 1:14:3 e finalmente de 0,50, 0,61 e 1,18 MPa no traço 1:13:4, para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura, respectivamente. Com estes valores, observa-se que os corpos de prova de solo-cimento-plástico apresentam valores superiores aos de solo-cimento-vermiculita em todos os traços, e que com o

aumento do agregado leve, com conseqüente diminuição do solo na composição, os valores diminuíram para todos os períodos de cura.

#### **4.4.2- Resistência à Tração Indireta (RTI)**

Na Tabela 8 são mostrados os valores de resistência à tração indireta, do solo 1 e do solo 2, para os traços, em volume, 1:13, 1:15 e 1:17 de cimento:solo.

Observa-se que os valores de RTI dos corpos de prova cilíndricos, aumentaram com o respectivo aumento dos períodos de cura de 7, 28 e 60 dias e diminuíram quando da diminuição da porcentagem de cimento na composição, ou seja para os traços 1:13, 1:15 e 1:17, em volume, que correspondem a 7,0, 6,3 e 5,6% de cimento, em peso. Para o solo 1, os valores foram de 0,13, 0,17 e 0,28 MPa, no traço 1:13; de 0,12, 0,15 e 0,21 MPa no traço 1:15 e de 0,07, 0,13 e 0,18 MPa no traço 1:17 para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura, respectivamente. Para o solo 2, os valores foram de 0,15, 0,24, 0,28 MPa, no traço 1:13; de 0,14, 0,18 e 0,25 MPa no traço 1:15 e de 0,09, 0,15 e 0,19 MPa no traço 1:17 para os períodos de 7, 28 e 60 dias, respectivamente. Com estes valores, observa-se que a medida que se diminuiu a proporção de aglomerante, com conseqüente aumento do solo na mistura, os valores da RTI diminuíram, observada tanto para o solo 1 como para o solo 2, e que o solo 2 apresenta valores superiores ao solo 1 em todos os traços. Todos os valores se encontram abaixo de 0,30 MPa.

A Tabela 9 apresenta os valores de resistência à tração indireta para os corpos de prova cilíndricos, preparados com o solo 2, nos traços em volume, de 1:13, 1:15 e 1:17 de cimento:solo e os traços equivalentes 1:12:1, 1:11:2, 1:10:3, 1:9:4, 1:14:1, 1:13:2, 1:12:3, 1:11:4 e 1:16:1, 1:15:2, 1:14:3 e 1:13:4 de cimento:solo:plástico e cimento:solo:vermiculita.

Observa-se que os valores da RTI dos corpos de prova de solo-cimento (SC) variaram de 0,15, 0,24 e 0,27 MPa, no traço 1:13, de 0,14, 0,15 e 0,28 MPa no traço 1:15 e de 0,09, 0,18 e 0,19 MPa no traço 1:17, para os períodos de 7, 28 e 60 dias, respectivamente. Verifica-se que o menor valor para os corpos de prova de SC foi de 0,09 MPa para o traço 1:17 (com 7 dias de cura) e o maior foi de 0,28 MPa, no traço 1:15 (com 60 dias de cura). Para os corpos de prova de solo-cimento-plástico (SCP) e solo-cimento-vermiculita (SCV), nos traços equivalentes a 1:13 (1:12:1, 1:11:2, 1:10:3 e 1:9:4), os valores da RCS do SCP variaram de 0,09 MPa (traço 1:9:4 aos 7 dias) a 0,25 MPa (traço 1:12:1 aos 60 dias) e do SCV variaram de 0,07 MPa (traço 1:9:4 aos 7 dias) a 0,22 MPa (traço 1:12:1 aos 60 dias), ou seja, para os corpos de prova de SCP os valores foram de 0,14, 0,19 e 0,25 MPa no traço 1:12:1; de 0,12, 0,18 e 0,24 MPa no traço 1:11:2; de 0,11, 0,15 e 0,20 MPa no traço 1:10:3 e de 0,09, 0,11 e 0,17 MPa no traço 1:9:4, para o SCV foram de 0,11, 0,17 e 0,22 MPa no traço 1:12:1; de 0,09, 0,15 e 0,20 MPa no traço 1:11:2; de 0,08, 0,13 e 0,17 MPa no traço 1:10:3 e de 0,07, 0,10 e 0,14 MPa no traço 1:9:4, para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura, respectivamente. Nos traços equivalentes a

1:15 (1:14:1, 1:13:2, 1:12:3 e 1:11:4), os valores variaram de 0,07 MPa e 0,05 MPa (traço 1:11:4 aos 7 dias) a 0,22 MPa e 0,21 MPa (traço 1:14:1 aos 60 dias), para os corpos de prova de SCP e SCV, respectivamente, ou seja, para o SCP os valores foram de 0,13, 0,16 e 0,22 MPa no traço 1:14:1; de 0,11, 0,15 e 0,20 MPa no traço 1:13:2; de 0,09, 0,13 e 0,18 MPa no traço 1:12:3 e de 0,07, 0,12 e 0,15 MPa no traço 1:11:4, para o SCV foram de 0,10, 0,15 e 0,21 MPa no traço 1:14:1; de 0,08, 0,13 e 0,18 MPa no traço 1:13:2; de 0,07, 0,12 e 0,16 MPa no traço 1:12:3 e de 0,05, 0,10 e 0,13 MPa no traço 1:11:4, para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura, respectivamente. Nos traços equivalentes a 1:17 (1:16, 1:15:2, 1:14:3 e 1:13:4) os valores variaram de 0,04 MPa (traço 1:13:4 aos 7 dias) a 0,16 MPa (traço 1:16:1 aos 60 dias) para o SCP e 0,01 MPa (traço 1:13:4 aos 7 dias) a 0,15 MPa (traço 1:16:1 aos 60 dias) para os corpos de prova de SCV, ou seja, para o SCP os valores foram de 0,07, 0,12 e 0,16 MPa no traço 1:16:1; de 0,06, 0,10 e 0,15 MPa no traço 1:15:2; de 0,05, 0,09 e 0,13 MPa no traço 1:14:3 e de 0,04, 0,08 e 0,10 MPa no traço 1:13:4, para o SCV foram de 0,06, 0,10 e 0,15 MPa no traço 1:16:1; de 0,05, 0,09 e 0,14 MPa no traço 1:15:2; de 0,03, 0,07 e 0,12 MPa no traço 1:14:3 e finalmente de 0,01, 0,05 e 0,09 MPa no traço 1:13:4, para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura, respectivamente. Com estes resultados, observa-se que os corpos de prova de solo-cimento-plástico apresentam valores superiores aos de solo-cimento-vermiculita, para todos os períodos de cura e todos os traços. Os valores da RTI, diminuíram com a diminuição da quantidade de aglomerante na

mistura e com conseqüente aumento do solo. Os valores encontrados estão em torno de 10% da resistência à compressão simples.

RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES (MPa) - SOLO 2										
Cura (dias)		7	28	60	7	28	60	7	28	60
Traços (em Volume) SOLO-CIMENTO	Traços: SOLO-CIMENTO- AGREGADO LEVE	SOLO-CIMENTO (SC)			SOLO-CIMENTO- PLÁSTICO (SCP)			SOLO-CIMENTO- VERMICULITA (SCV)		
1:13	1:12:1				1,57	2,08	2,81	1,39	1,91	2,37
	1:11:2	2,00	3,00	3,10	1,36	1,72	2,15	0,90	1,23	1,66
	1:10:3				1,09	1,25	1,77	0,83	1,05	1,61
	1:9:4				0,86	1,01	1,52	0,78	0,91	1,18
1:15	1:14:1				1,55	1,94	2,53	1,10	1,45	2,10
	1:13:2	1,60	2,60	2,70	1,20	1,45	1,96	0,93	0,99	1,88
	1:12:3				0,93	1,27	1,71	0,67	0,69	1,42
	1:11:4				0,62	0,98	1,48	0,59	0,79	1,29
1:17	1:16:1				1,13	1,80	1,86	0,95	1,11	1,48
	1:15:2	1,40	1,80	1,90	0,97	1,72	1,78	0,73	0,97	1,45
	1:14:3				0,65	1,20	1,61	0,57	0,62	1,40
	1:13:4				0,60	0,91	1,32	0,50	0,61	1,18

Tabela 7 - Resistência à Compressão Simples de Corpos de Prova Cilíndricos (MPa), para o Solo 2, nos Traços, em volume, Solo-Cimento-Plástico e Solo-Cimento-Vermiculita, para os Períodos de 7, 28 e 60 Dias de Cura. **Solo 2** - Solo do Shopping.

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO INDIRETA (MPa) - SOLO-CIMENTO						
Cura (dias)	7	28	60	7	28	60
Traços (em volume)	Solo 1			Solo 2		
1:13	0,13	0,17	0,28	0,15	0,24	0,28
1:15	0,12	0,15	0,21	0,14	0,18	0,25
1:17	0,07	0,13	0,18	0,09	0,15	0,19

Tabela 8 - Resistência à Tração Indireta de Corpos de Prova Cilíndricos (MPa), para o Solo 1 e o Solo 2, de Solo-Cimento, para os Períodos de 7, 28 e 60 Dias.

**Solo 1** - Solo do Mutirão

**Solo 2** - Solo do Shopping

RESISTÊNCIA A TRAÇÃO INDIRETA (MPa) - SOLO 2										
Cura (dias)		7	28	60	7	28	60	7	28	60
Traços (em Volume) SOLO-CIMENTO	Traços: SOLO-CIMENTO-AGREGADO LEVE	SOLO-CIMENTO (SC)			SOLO-CIMENTO-PLÁSTICO (SCP)			SOLO-CIMENTO-VERMICULITA (SCV)		
1:13	1:12:1				0,14	0,19	0,25	0,11	0,17	0,22
	1:11:2	0,15	0,24	0,27	0,12	0,18	0,24	0,09	0,15	0,20
	1:10:3				0,11	0,15	0,20	0,08	0,13	0,17
	1:9:4				0,09	0,11	0,17	0,07	0,10	0,14
1:15	1:14:1				0,13	0,16	0,22	0,10	0,15	0,21
	1:13:2	0,14	0,15	0,28	0,11	0,15	0,20	0,08	0,13	0,18
	1:12:3				0,09	0,13	0,18	0,07	0,12	0,16
	1:11:4				0,07	0,12	0,15	0,05	0,10	0,13
1:17	1:16:1				0,07	0,12	0,16	0,06	0,10	0,15
	1:15:2	0,09	0,18	0,19	0,06	0,10	0,15	0,05	0,09	0,14
	1:14:3				0,05	0,09	0,13	0,03	0,07	0,12
	1:13:4				0,04	0,08	0,10	0,01	0,05	0,09

Tabela 9 - Resistência à Tração Indireta de Corpos de Prova Cilíndricos (MPa), para o Solo 2, nos Traços, em volume, de Solo-Cimento, Solo-Cimento-Plástico e Solo-Cimento-Vermiculita, para os Períodos de 7, 28 e 60 Dias de Cura.

**Solo 2** - Solo do Shopping.

#### **4.4.3- Módulo de Elasticidade (E) e Limite de Proporcionalidade (fel)**

As Tabelas de 10 a 18 que correspondem às Figuras de 5 a 13, apresentam os valores de tensões e deformações, para solo-cimento nos traços, em volume, 1:13, 1:15 e 1:17 para os períodos de cura de 7, 28 e 60 dias, obtidos através da variação volumétrica ocorrido nos corpos de prova cilíndricos quando submetidos a um aumento de carga, à velocidade constante, até a sua ruptura. Após a obtenção destes valores foram confeccionados gráficos para determinação do limite de proporcionalidade que a última tensão que o corpo de prova pode sofrer sem deformação permanente e do módulo de elasticidade que é representado pela inclinação da reta do gráfico Tensão x Deformação (Anexo 3). Estes valores foram comparados com os resultados obtidos pelas fórmulas da NB-1 e do CEB, fórmulas empíricas para o cálculo de módulo de elasticidade do concreto.

Nas Tabelas 10, 11 e 12 que correspondem as Figuras 5, 6 e 7 são apresentados os valores de tensão x deformação do solo-cimento, no traço, em volume, 1:13 para os períodos de cura de 7, 28 e 60 dias, respectivamente, as Tabelas 13, 14 e 15 que correspondem as Figuras 8, 9 e 10 apresentam os valores de tensão x deformação do solo-cimento, no traço 1:15 para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura, respectivamente e nas Tabelas 16, 17 e 18 que correspondem as Figuras 11, 12 e 13 estão apresentados os valores de tensão x deformação do solo-

cimento, no traço 1:17, em volume, para os períodos de cura de 7, 28 e 60 dias, respectivamente.

Através destes gráficos, determinou-se o módulo de elasticidade (Tabelas 19, 20 e 21) e o limite de proporcionalidade (Tabela 28), para os traços 1:13, 1:15 e 1:17 de solo-cimento para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura.

TENSÃO E DEFORMAÇÃO - SOLO 2									
Corpo de Prova	F (kgf)	$\Delta l$ (mm)	$\epsilon$	1- $\epsilon$	$A_{cor}$ (cm <sup>2</sup> )	$\sigma_c$ (MPa)	$\sigma_{ccor}$ (MPa)	$\sigma_{cr}$ (MPa)	$\epsilon$ (%)
CP 01	0	0,00	0,000	1,000	78,54	0,000	0,000	0,000	0,000
	100	0,02	1,60E-04	0,9998	78,56	0,127	0,127	0,056	0,016
	200	0,08	6,40E-04	0,9994	78,59	0,255	0,254	0,223	0,064
	300	0,13	1,00E-03	0,9990	78,62	0,382	0,382	0,349	0,100
	400	0,18	1,40E-03	0,9986	78,65	0,509	0,509	0,488	0,140
	500	0,21	1,70E-03	0,9983	78,67	0,637	0,636	0,593	0,170
	600	0,26	2,10E-03	0,9979	78,71	0,764	0,762	0,732	0,210
	700	0,42	3,40E-03	0,9966	78,81	0,891	0,888	0,888	0,340
	800	0,53	4,20E-03	0,9958	78,87	1,019	1,014	1,014	0,420
	900	0,66	5,30E-03	0,9947	78,96	1,146	1,140	1,140	0,530
	1000	0,87	7,00E-03	0,9930	79,09	1,273	1,264	1,264	0,700
	1100	1,30	1,00E-02	0,9900	79,33	1,401	1,387	1,387	1,000

Tabela 10 - Tensão e Deformação do Solo 2, para o Traço 1:13 de Solo-Cimento, com Tempo de Cura de 7 Dias.

**Solo 2** - Solo do Shopping.

TENSÃO E DEFORMAÇÃO - SOLO 2									
Corpo de Prova	F (kgf)	$\Delta l$ (mm)	$\epsilon$	1- $\epsilon$	$A_{cor}$ (cm <sup>2</sup> )	$\sigma_c$ (MPa)	$\sigma_{c_{cor}}$ (MPa)	$\sigma_{cr}$ (MPa)	$\epsilon$ (%)
	0	0,00	0,000	1,000	78,54	0,000	0,000	0,000	0,000
	100	0,02	1,60E-04	0,9998	78,55	0,127	0,127	0,057	0,016
	200	0,04	3,20E-04	0,9997	78,56	0,255	0,255	0,114	0,032
	300	0,10	8,00E-04	0,9992	78,60	0,382	0,382	0,285	0,080
	400	0,15	1,20E-03	0,9988	78,63	0,509	0,509	0,427	0,120
CP 01	500	0,20	1,60E-03	0,9984	78,67	0,637	0,636	0,569	0,160
	600	0,25	2,00E-03	0,9980	78,70	0,764	0,762	0,712	0,200
	700	0,30	2,40E-03	0,9976	78,73	0,891	0,889	0,854	0,240
	800	0,36	2,88E-03	0,9971	78,77	1,019	1,016	1,016	0,288
	900	0,42	3,36E-03	0,9966	78,80	1,146	1,142	1,142	0,336
	1000	0,57	4,56E-03	0,9954	78,90	1,273	1,267	1,267	0,456
	1100	0,72	5,76E-02	0,9942	78,99	1,401	1,392	1,392	0,576

Tabela 11 - Tensão e Deformação do Solo 2, para o Traço 1:13 de Solo-Cimento, com Tempo de Cura de 28 Dias.  
**Solo 2** - Solo do Shopping.

TENSÃO E DEFORMAÇÃO - SOLO 2									
Corpo de Prova	F (kgf)	$\Delta l$ (mm)	$\epsilon$	1- $\epsilon$	$A_{cor}$ (cm <sup>2</sup> )	$\sigma_c$ (MPa)	$\sigma_{c_{cor}}$ (MPa)	$\sigma_{cr}$ (MPa)	$\epsilon$ (%)
CP 01	0	0,00	0,000	1,0000	78,54	0,000	0,000	0,000	0,000
	100	0,04	3,20E-04	0,9997	78,56	0,127	0,127	0,217	0,032
	200	0,07	5,60E-04	0,9994	78,59	0,255	0,254	0,380	0,056
	300	0,09	7,20E-04	0,9993	78,60	0,382	0,381	0,489	0,072
	400	0,10	8,00E-04	0,9992	78,60	0,509	0,509	0,543	0,080
	500	0,13	1,04E-03	0,9990	78,62	0,637	0,636	0,706	0,104
	600	0,15	1,20E-03	0,9988	78,63	0,764	0,763	0,815	0,120
	700	0,17	1,36E-03	0,9986	78,65	0,891	0,890	0,924	0,136
	800	0,20	1,60E-03	0,9984	78,67	1,019	1,017	1,017	0,160
	900	0,25	2,00E-03	0,9980	78,70	1,146	1,144	1,144	0,200
	1000	0,36	2,88E-03	0,9971	78,77	1,273	1,270	1,270	0,288
1100	0,70	5,60E-03	0,9944	78,98	1,401	1,393	1,393	0,560	

Tabela 12 - Tensão e Deformação do Solo 2, para o Traço 1:13 de Solo-Cimento, com Tempo de Cura de 60 Dias.  
Solo 2 - Solo do Shopping

TENSÃO E DEFORMAÇÃO - SOLO 2									
Corpo de Prova	F (kgf)	$\Delta l$ (mm)	$\epsilon$	1- $\epsilon$	$A_{cor}$ (cm <sup>2</sup> )	$\sigma_c$ (MPa)	$\sigma_{c_{cor}}$ (MPa)	$\sigma_{cr}$ (MPa)	$\epsilon$ (%)
CP 01	0	0,00	0,000	1,000	78,54	0,000	0,000	0,000	0,000
	100	0,12	9,60E-04	0,9990	78,62	0,127	0,127	0,192	0,096
	200	0,16	1,28E-03	0,9987	78,64	0,255	0,254	0,256	0,128
	300	0,22	1,76E-03	0,9982	78,68	0,382	0,381	0,352	0,176
	400	0,26	2,08E-03	0,9979	78,70	0,509	0,508	0,416	0,208
	500	0,37	2,96E-03	0,9970	78,77	0,637	0,635	0,592	0,296
	600	0,51	4,08E-03	0,9959	78,86	0,764	0,761	0,761	0,408
	700	0,75	6,00E-03	0,9940	79,01	0,891	0,886	0,886	0,600
780	1,60	1,28E-02	0,9872	79,56	0,993	0,980	0,980	1,280	

Tabela 13 - Tensão e Deformação do Solo 2, para o Traço 1:15 de Solo-Cimento, com Tempo de Cura de 7 Dias.  
Solo 2 - Solo do Shopping.

**TENSÃO E DEFORMAÇÃO - SOLO 2**

Corpo de Prova	F (kgf)	$\Delta l$ (mm)	$\epsilon$	1- $\epsilon$	$\lambda_{cor}$ (cm <sup>-1</sup> )	$\sigma_c$ (MPa)	$\sigma_{c_{cor}}$ (MPa)	$\sigma_{CF}$ (MPa)	$\epsilon$ (%)
	0	0,00	-	1,000	78,54	0,000	0,000	0,000	0,000
	100	0,20	1,60E-03	0,9984	78,67	0,127	0,127	0,335	0,160
	200	0,35	2,80E-03	0,9972	78,76	0,255	0,254	0,585	0,280
	300	0,43	3,44E-03	0,9966	78,81	0,382	0,381	0,719	0,344
	400	0,49	3,92E-03	0,9961	78,85	0,509	0,507	0,820	0,392
	500	0,53	4,24E-03	0,9958	78,87	0,637	0,634	0,887	0,424
	600	0,57	4,56E-03	0,9954	78,90	0,764	0,760	0,953	0,456
CP 01	700	0,61	4,88E-03	0,9951	78,93	0,891	0,887	1,020	0,488
	800	0,65	5,20E-03	0,9948	78,95	1,019	1,013	1,087	0,520
	900	0,69	5,52E-03	0,9945	78,98	1,146	1,140	1,154	0,552
	1000	0,75	6,00E-03	0,9940	79,01	1,273	1,266	1,266	0,600
	1100	0,81	6,48E-03	0,9935	79,05	1,401	1,391	1,391	0,648
	1200	0,87	6,96E-03	0,9930	79,09	1,528	1,517	1,517	0,696
	1300	0,95	7,60E-03	0,9924	79,14	1,655	1,643	1,643	0,760
	1400	1,03	8,24E-03	0,9918	79,19	1,783	1,768	1,768	0,824
	1500	1,38	1,10E-02	0,9890	79,41	1,910	1,889	1,889	1,100

Tabela 14 - Tensão e Deformação do Solo 2, para o Traço 1:15 de Solo-Cimento, com Tempo de Cura de 28 Dias.  
**Solo 2** - Solo do Shopping.

TENSÃO E DEFORMAÇÃO - SOLO 2									
Corpo de Prova	F (kgf)	$\Delta l$ (mm)	$\epsilon$	1- $\epsilon$	$A_{cor}$ (cm <sup>2</sup> )	$\sigma_c$ (MPa)	$\sigma_{c_{cor}}$ (MPa)	$\sigma_{cr}$ (MPa)	$\epsilon$ (%)
CP 01	0	0,00	0,000	1,000	78,54	0,000	0,000	0,000	0,000
	100	0,14	1,12E-03	0,9989	78,63	0,127	0,127	0,375	0,112
	200	0,20	1,60E-03	0,9984	78,67	0,255	0,254	0,535	0,160
	300	0,25	2,00E-03	0,9980	78,70	0,382	0,381	0,669	0,200
	400	0,29	2,32E-03	0,9977	78,72	0,509	0,508	0,776	0,232
	500	0,33	2,64E-03	0,9974	78,74	0,637	0,635	0,883	0,264
	600	0,36	2,88E-03	0,9971	78,77	0,764	0,762	0,963	0,288
	700	0,40	3,20E-03	0,9968	78,79	0,891	0,888	1,070	0,320
	800	0,42	3,36E-03	0,9966	78,81	1,019	1,015	1,124	0,336
	900	0,47	3,76E-03	0,9962	78,84	1,146	1,142	1,258	0,376
	1000	0,55	4,40E-03	0,9956	78,89	1,273	1,268	1,268	0,440
	1100	0,57	4,56E-03	0,9954	78,90	1,401	1,394	1,394	0,456
	1200	0,63	5,04E-03	0,9950	78,93	1,528	1,520	1,520	0,504
	1300	0,70	5,60E-03	0,9944	78,98	1,655	1,646	1,646	0,560
	1400	0,79	6,32E-03	0,9937	79,04	1,783	1,771	1,771	0,632
	1480	1,10	8,80E-03	0,9912	79,24	1,884	1,868	1,868	0,880

Tabela 15 - Tensão e Deformação do Solo 2, para o Traço 1:15 de Solo-Cimento, com Tempo de Cura de 60 Dias.  
**Solo 2** - Solo do Shopping

TENSÃO E DEFORMAÇÃO - SOLO 2									
Corpo de Prova	F (kgf)	$\Delta l$ (mm)	$\epsilon$	1- $\epsilon$	$A_{cor}$ (cm <sup>2</sup> )	$\sigma_c$ (MPa)	$\sigma_{c,cor}$ (MPa)	$\sigma_{cr}$ (MPa)	$\epsilon$ (%)
CP 01	0	0,00	0,000	1,0000	78,54	0,000	0,000	0,000	0,000
	100	0,19	1,52E-03	0,9985	78,66	0,127	0,127	0,254	0,152
	200	0,25	2,00E-03	0,9980	78,70	0,255	0,254	0,334	0,200
	300	0,32	2,56E-03	0,9974	78,74	0,382	0,381	0,428	0,256
	400	0,40	3,20E-03	0,9968	78,79	0,509	0,508	0,535	0,320
	500	0,50	4,00E-03	0,9960	78,86	0,637	0,634	0,669	0,400
	600	0,63	5,04E-03	0,9950	78,93	0,764	0,760	0,760	0,504
	700	0,78	6,24E-03	0,9938	79,03	0,891	0,886	0,886	0,624
	760	1,12	8,96E-03	0,9910	79,25	0,968	0,959	0,959	0,896

Tabela 16 - Tensão e Deformação do Solo 2, para o Traço 1:17 de Solo-Cimento, com Tempo de Cura de 7 Dias.  
**Solo 2** - Solo do Shopping.

TENSÃO E DEFORMAÇÃO - SOLO 2									
Corpo de Prova	F (kgf)	$\Delta l$ (mm)	$\epsilon$	1- $\epsilon$	$A_{cor}$ (cm <sup>2</sup> )	$\sigma_c$ (MPa)	$\sigma_{cor}$ (MPa)	$\sigma_{cr}$ (MPa)	$\epsilon$ (%)
CP 01	0	0,00	0,000	1,000	78,54	0,000	0,000	0,000	0,000
	100	0,20	1,60E-03	0,9984	78,67	0,127	0,127	0,328	0,160
	200	0,35	2,80E-03	0,9972	78,76	0,255	0,254	0,574	0,280
	300	0,40	3,20E-03	0,9968	78,79	0,382	0,381	0,656	0,320
	400	0,46	3,68E-03	0,9963	78,83	0,509	0,507	0,755	0,368
	500	0,51	4,08E-03	0,9959	78,86	0,637	0,634	0,837	0,408
	600	0,56	4,48E-03	0,9955	78,89	0,764	0,761	0,919	0,448
	700	0,62	4,96E-03	0,9950	78,93	0,891	0,887	1,017	0,496
	800	0,68	5,44E-03	0,9946	78,97	1,019	1,013	1,013	0,544
	900	0,74	5,92E-03	0,9941	79,01	1,146	1,139	1,139	0,592
	1000	0,83	6,64E-03	0,9934	79,06	1,273	1,265	1,265	0,664
	1100	0,94	7,52E-03	0,9925	79,14	1,401	1,390	1,390	0,752
	1200	1,06	8,48E-03	0,9915	79,21	1,528	1,515	1,515	0,848
	1300	1,25	1,00E-02	0,9900	79,33	1,655	1,639	1,639	1,000
	1400	1,45	1,16E-02	0,9884	79,46	1,783	1,762	1,762	1,160
	1500	1,75	1,40E-02	0,9860	79,66	1,910	1,883	1,883	1,400

Tabela 17 - Tensão e Deformação do Solo 2, para o Traço 1:17 de Solo-Cimento, com Tempo de Cura de 28 Dias.  
Solo 2 - Solo do Shopping.

TENSÃO E DEFORMAÇÃO - SOLO 2									
Corpo de Prova	F (kgf)	$\Delta l$ (mm)	$\epsilon$	1- $\epsilon$	$A_{cor}$ (cm <sup>2</sup> )	$\sigma_c$ (MPa)	$\sigma_{cor}$ (MPa)	$\sigma_{cr}$ (MPa)	$\epsilon$ (%)
CP 01	0	0,00	0,000	1,000	78,54	0,000	0,000	0,000	0,000
	100	0,10	8,00E-04	0,9992	78,60	0,127	0,127	0,204	0,080
	200	0,19	1,52E-03	0,9985	78,66	0,255	0,254	0,387	0,152
	300	0,25	2,00E-03	0,9980	78,70	0,382	0,381	0,510	0,200
	400	0,29	2,32E-03	0,9977	78,72	0,509	0,508	0,591	0,232
	500	0,36	2,88E-03	0,9971	78,77	0,637	0,635	0,734	0,288
	600	0,38	3,04E-03	0,9970	78,78	0,764	0,762	0,775	0,304
	700	0,45	3,60E-03	0,9964	78,82	0,891	0,888	0,918	0,360
	800	0,53	4,24E-03	0,9958	78,87	1,019	1,014	1,081	0,424
	900	0,72	5,76E-03	0,9942	78,99	1,146	1,139	1,139	0,576
	1000	0,90	7,20E-03	0,9928	79,11	1,273	1,264	1,264	0,720
	1100	1,10	8,80E-03	0,9912	79,24	1,401	1,388	1,388	0,880
	1200	1,70	1,36E-02	0,9864	79,62	1,528	1,507	1,507	1,360

Tabela 18 - Tensão e Deformação do Solo 2, para o Traço 1:17 de Solo-Cimento, com Tempo de Cura de 60 Dias.  
Solo 2 - Solo do Shopping

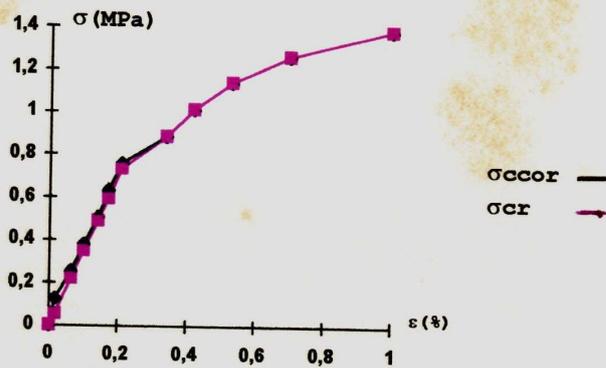


Figura 5 - Gráfico Tensão x Deformação Específica, do Solo 2, para o Traço 1:13 de Solo-Cimento com Tempo de Cura de 7 Dias.

**Solo 2** - Solo do Shopping.

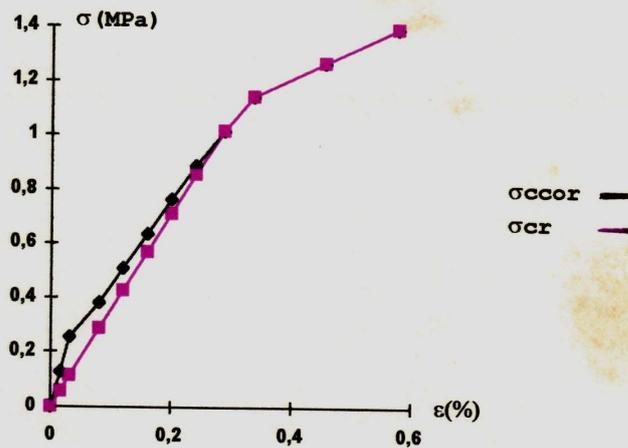


Figura 6 - Gráfico Tensão x Deformação Específica, do Solo 2, para o Traço 1:13 de Solo-Cimento com Tempo de Cura de 28 Dias.

**Solo 2** - Solo do Shopping.

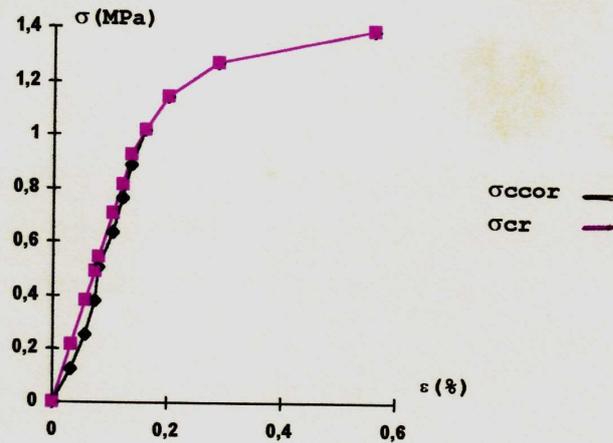


Figura 7 - Gráfico Tensão x Deformação Específica, do Solo 2, para o Traço 1:13 de Solo-Cimento com Tempo de Cura de 60 Dias.  
Solo 2 - Solo do Shopping

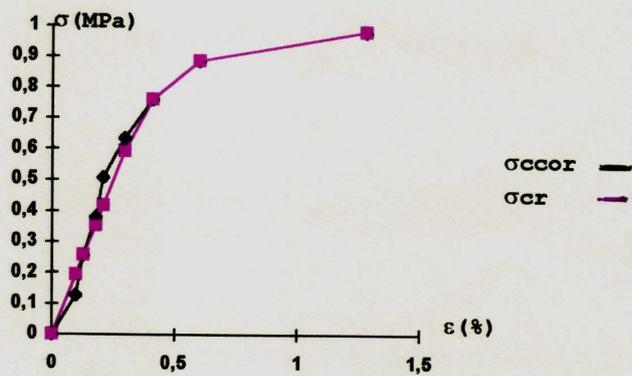


Figura 8 - Gráfico Tensão x Deformação Específica, do Solo 2, para o Traço 1:15 de Solo-Cimento com Tempo de Cura de 7 Dias.  
Solo 2 - Solo do Shopping.

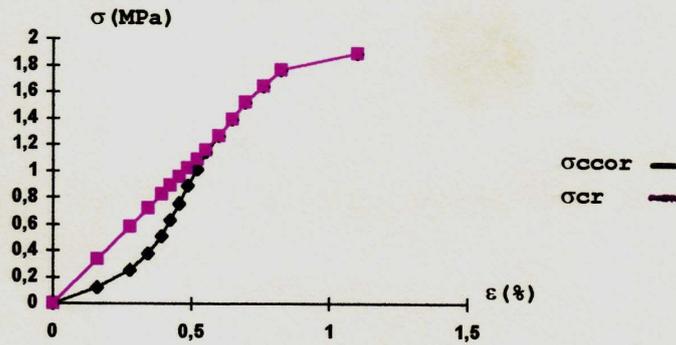


Figura 9 - Gráfico Tensão x Deformação Específica, do Solo 2, para o Traço 1:15 de Solo-Cimento com Tempo de Cura de 28 Dias.

**Solo 2** - Solo do Shopping.

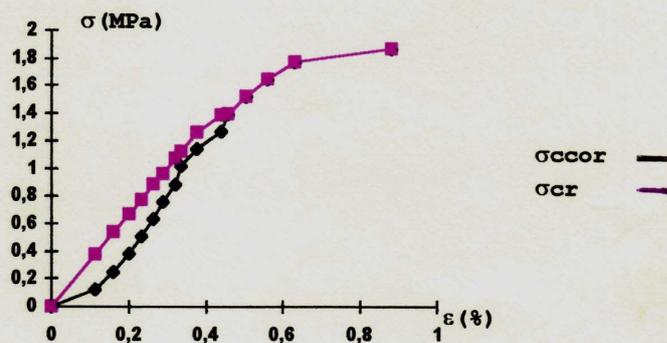


Figura 10 - Gráfico Tensão x Deformação Específica, do Solo 2, para o Traço 1:15 de Solo-Cimento com Tempo de Cura de 60 Dias.

**Solo 2** - Solo do Shopping.

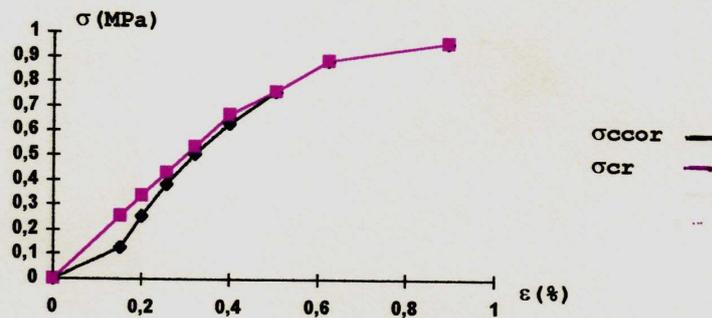


Figura 11 - Gráfico Tensão x Deformação Específica, do Solo 2, para o Traço 1:17 de Solo-Cimento com Tempo de Cura de 7 Dias.

**Solo 2** - Solo do Shopping.

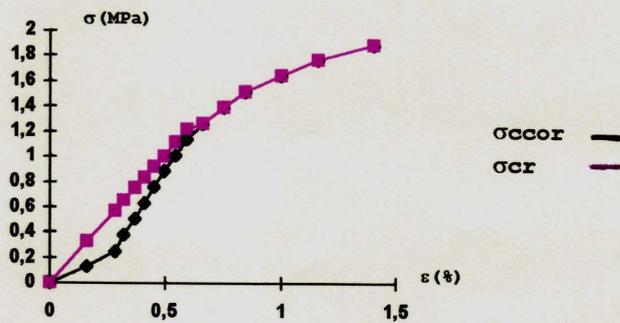


Figura 12 - Gráfico Tensão x Deformação Específica, do Solo 2, para o Traço 1:17 de Solo-Cimento com Tempo de Cura de 28 Dias.

**Solo 2** - Solo do Shopping.

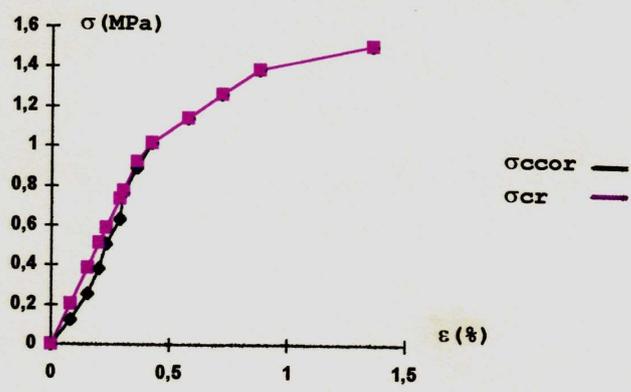


Figura 13 - Gráfico Tensão x Deformação Específica, do Solo 2, para o Traço 1:17 de Solo-Cimento com Tempo de Cura de 60 Dias.  
**Solo 2** - Solo do Shopping.

Nos cálculos das Tabelas de 10 a 18, foram utilizadas as seguintes fórmulas:

$$1) \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

onde:

= Deformação vertical

$l_0$  = Comprimento Inicial = 125 ml

= Deformação Específica.

$$2) \quad A_{cor} = \frac{A_0}{1 - \varepsilon}$$

onde:

$A_0$  = Área inicial = 78,54 cm<sup>2</sup>

$$3) \quad \sigma_c = \frac{F}{A_0}, \quad *$$

onde:

F = Aumento de carga até a ruptura do corpo de prova

$\sigma_c$  = Tensão de Compressão

$$4) \quad \sigma_{c_{cor}} = \frac{F}{A_{cor}}, \quad *$$

Onde:

$\sigma_{c_{cor}}$  = Tensão de Compressão Corrigida.

$$5) \quad \sigma_{cr} = \text{Tensão de Compressão Reajustada}$$

Foi feito um reajuste nas curvas dos gráficos Tensão x Deformação na fase elástica, devido ter-se evidenciado que houve influência da água presente nos corpos de prova. Este reajuste foi feito por correlações lineares simples processadas em computador IBM, utilizando-se o programa SPSS (Statistical Package for the Social Science), versão H (Nie et alli, 1975).

#### **4.4.3.1- Módulo de Elasticidade**

Os valores para o módulo de elasticidade, estão mostrados nas Tabelas 19, 20 e 21 para os traços 1:13, 1:15 e 1:17, respectivamente, de solo-cimento, de acordo com as fórmulas da NB-1, do CEB e graficamente, os quais foram calculados a partir dos gráficos das Figuras de 5 a 13, que correspondem as Tabelas 10 a 18, conforme anexo 3. Para o solo-cimento-plástico, os valores encontram-se nas Tabelas 22, 23 e 24 e para o solo-cimento-vermiculita nas Tabelas 25, 26 e 27, para os traços 1:10:3, 1:13:2 e 1:16:1, respectivamente, os quais foram calculados pelas fórmulas da NB-1 e CEB, para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura.

Na Tabela 19 são mostrados os valores do módulo de elasticidade para o solo2, do solo-cimento, para o traço 1:13, em volume, para os períodos de cura de 7, 28 e 60 dias, de acordo com as fórmulas da NB-1, do CEB e graficamente. Os valores aumentaram com o aumento do tempo de cura e da resistência, que era o esperado, pois quanto maior o módulo de elasticidade, melhor o material e maior a resistência.

Graficamente, obteve-se valores muito inferiores aos obtidos pelas fórmulas, mas esta discrepância não é de surpreender, visto que são fórmulas empíricas deduzidas para o concreto.

A Tabela 20 apresenta os valores do módulo de elasticidade, do solo 2, para o solo-cimento no traço 1:15, para o período de cura de 7, 28 e 60 dias, de acordo com as fórmulas da NB-1, do CEB e graficamente. Observa-se que os valores aumentaram com o aumento do tempo de cura e da resistência, segundo a NB-1, o CEB e graficamente.

Na Tabela 21 são mostrados os valores do módulo de elasticidade, para o traço 1:17 de solo-cimento, do solo 2, para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura. Segundo as fórmulas da NB-1 do CEB e graficamente, os valores aumentaram com o aumento da resistência e dos períodos de cura.

Nas Tabelas 22, 23 e 24 estão apresentados os valores do módulo de elasticidade para o solo-cimento-plástico e nas Tabelas 25, 26 e 27 os valores para o solo-cimento-vermiculita. Observa-se que os valores na composição solo-cimento-plástico foram superiores aos de solo-cimento vermiculita em todos os traços, e estes valores aumentaram com o período de cura nas duas composições.

Com relação aos valores encontrados graficamente terem sido muito inferiores aos das fórmulas não é de se surpreender, visto que são fórmulas empíricas e foram deduzidas para o concreto.

MÓDULO DE ELASTICIDADE (N/cm <sup>2</sup> )				
SOLO-CIMENTO - TRAÇO 1:13 - SOLO 2				
Cura (dias)	RCS	NB-1	CEB	Graficamente
7	200	933381,0	774669,5	34900,0
28	300	1143153,5	948772,5	35600,0
60	330	1198949,5	995081,0	67900,0

Tabela 19 - Módulo de Elasticidade - Solo-Cimento - Traço 1:13, para o Solo 2, nos Períodos de 7, 28 e 60 Dias de Cura.

**Solo 2** - Solo do Shopping  
 $1 \text{ N/cm}^2 = 10^{-2} \text{ MPa}$

MÓDULO DE ELASTICIDADE (N/cm <sup>2</sup> )				
SOLO-CIMENTO - TRAÇO 1:15 - SOLO 2				
Cura (dias)	RCS	NB-1	CEB	Graficamente
7	160	834841,3	692885,4	20000,0
28	260	1064218,0	883259,1	20900,0
60	270	1084490,7	900084,6	33500,0

Tabela 20 - Módulo de Elasticidade - Solo-Cimento - Traço 1:15, para o Solo 2, nos Períodos de 7, 28 e 60 Dias de Cura.

**Solo 2** - Solo do Shopping  
 $1 \text{ N/cm}^2 = 10^{-2} \text{ MPa}$

MÓDULO DE ELASTICIDADE (N/cm <sup>2</sup> )				
SOLO-CIMENTO - TRAÇO 1:17 - SOLO 2				
Cura (dias)	RCS	NB-1	CEB	Graficamente
7	140	780922,3	648135,0	16700,0
28	180	885482,9	734916,0	20500,0
60	190	909747,2	755054,4	25500,0

Tabela 21- Módulo de Elasticidade - Solo-Cimento - Traço 1:17, para o Solo 2, nos Períodos de 7, 28 e 60 Dias de Cura.

**Solo 2** - Solo do Shopping

1 N/cm<sup>2</sup> = 10<sup>-2</sup> MPa

MÓDULO DE ELASTICIDADE (N/cm <sup>2</sup> )			
SOLO-CIMENTO-PLÁSTICO - TRAÇO 1:10:3 - SOLO 2			
Cura (dias)	RCS	NB-1	CEB
7	109	689060,2	571892,9
28	125	737902,4	612430,0
60	177	878072,9	728766,0

Tabela 22 - Módulo de Elasticidade - Solo-Cimento-Plástico Traço 1:10:3, para o Solo 2, nos Períodos de 7, 28 e 60 Dias de Cura.

**Solo 2** - Solo do Shopping

1 N/cm<sup>2</sup> = 10<sup>-2</sup> MPa

MÓDULO DE ELASTICIDADE (N/cm <sup>2</sup> )			
SOLO-CIMENTO-PLÁSTICO - TRAÇO 1:13:2 - SOLO 2			
Cura (dias)	RCS	NB-1	CEB
7	120	722993,8	600056,4
28	145	794745,2	659607,3
60	196	924000,0	766883,7

Tabela 23 - Módulo de Elasticidade - Solo-Cimento-Plástico  
Traço 1:13:2, para o Solo 2, nos Períodos de 7, 28  
e 60 Dias de Cura.

**Solo 2** - Solo do Shopping

1 N/cm<sup>2</sup> = 10<sup>-2</sup> MPa

MÓDULO DE ELASTICIDADE (N/cm <sup>2</sup> )			
SOLO-CIMENTO-PLÁSTICO - TRAÇO 1:16:1 - SOLO 2			
Cura (dias)	RCS	NB-1	CEB
7	113	701589,6	582291,8
28	180	885482,9	734916,0
60	186	900120,0	747064,2

Tabela 24 - Módulo de Elasticidade - Solo-Cimento-Plástico  
Traço 1:16:1, para o Solo 2, nos Períodos de 7, 28  
e 60 Dias de Cura.

**Solo 2** - Solo do Shopping

1 N/cm<sup>2</sup> = 10<sup>-2</sup> MPa

MÓDULO DE ELASTICIDADE (N/cm <sup>2</sup> )			
SOLO-CIMENTO-VERMICULITA - TRAÇO 1:10:3 - SOLO 2			
Cura (dias)	RCS	NB-1	CEB
7	83	601288,6	499045,9
28	105	676298,8	561301,4
60	161	837446,1	695047,3

Tabela 25 - Módulo de Elasticidade - Solo-Cimento-Vermiculita  
Traço 1:10:3, para o Solo 2, nos Períodos de 7, 28  
e 60 Dias de Cura.

**Solo 2** - Solo do Shopping

1 N/cm<sup>2</sup> = 10<sup>-2</sup> MPa

MÓDULO DE ELASTICIDADE (N/cm <sup>2</sup> )			
SOLO-CIMENTO-VERMICULITA - TRAÇO 1:13:2 - SOLO 2			
Cura (dias)	RCS	NB-1	CEB
7	93	636480,9	528254,2
28	99	656691,7	545028,3
60	188	904946,4	751069,9

Tabela 26 - Módulo de Elasticidade - Solo-Cimento-Vermiculita  
Traço 1:13:2, para o Solo 2, nos Períodos de 7, 28  
e 60 Dias de Cura.

**Solo 2** - Solo do Shopping

1 N/cm<sup>2</sup> = 10<sup>-2</sup> MPa

MÓDULO DE ELASTICIDADE (N/cm <sup>2</sup> )			
SOLO-CIMENTO-VERMICULITA - TRAÇO 1:16:1 - SOLO 2			
Cura (dias)	RCS	NB-1	CEB
7	95	643288,4	533904,1
28	111	695353,1	577115,8
60	148	802924,6	666395,9

Tabela 27 - Módulo de Elasticidade - Solo-Cimento-Vermiculita Traço 1:16:1, para o Solo 2, nos Períodos de 7, 28 e 60 Dias de Cura.

**Solo 2** - Solo do Shopping

1 N/cm<sup>2</sup> = 10<sup>-2</sup> MPa

#### 4.4.3.2 - Limite de Proporcionalidade

A Tabela 28 apresenta os valores de limite de proporcionalidade para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura, para o solo 2, nos traços 1:13, 1:15 e 1:17 de solo-cimento. Estes valores foram obtidos apartir dos gráficos das Figuras de 5 a 13 e das Tabelas 10 a 18, conforme anexo 3.

Observa-se que tais valores, no traço 1:13 aumentaram, variando de 73,2, 85,4 e 94,4 N/cm<sup>2</sup>, aos 7, 28 e 60 dias de cura, respectivamente, no traço 1:15, os valores aumentaram, variando de 59,2, 115,4 e 130,0 N/cm<sup>2</sup> para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura; finalmente no traço 1:17 os valores obtidos foram de 66,9, 101,7 e 108,1 N/cm<sup>2</sup> para 7, 28 e 60 dias de cura, respectivamente. Em todos os traços, observa-se que houve um aumento do limite de proporcionalidade com o respectivo aumento do período de cura.

<b>LIMITE DE PROPORCIONALIDADE (N/cm<sup>2</sup>)</b>			
<b>SOLO-CIMENTO - SOLO 2</b>			
<b>Cura (dias)</b>	<b>7</b>	<b>28</b>	<b>60</b>
<b>Traços (volume)</b>			
1:13	73,2	85,4	92,4
1:15	59,2	115,4	130,0
1:17	66,9	101,7	108,1

Tabela 28 - Limite de Proporcionalidade para o Solo 2, de Solo-Cimento, para os Períodos de 7, 28 e 60 Dias de Cura.

**Solo 2** - Solo do Shopping.

1 N/cm<sup>2</sup> = 10<sup>-2</sup> MPa

#### 4.5 - Ensaio nos Tijolos

##### 4.5.1- Resistência à Compressão Simples (RCS)

Na Tabela 29 são apresentados os valores de resistência à compressão simples dos tijolos, para o solo 2 nos traços em volume 1:13, 1:15 e 1:17 de cimento:solo e os traços equivalentes a 1:13, 1:15 e 1:17, respectivamente 1:10:3, 1:13:2 e 1:16:1 de cimento:solo:agregado leve, ou seja, cimento:solo:plástico e cimento:solo:vermiculita, para o período de cura de 7 e 28 dias. Para escolha destes traços, partiu-se dos valores de resistência à compressão simples obtidos nos corpos de prova cilíndricos, ou seja valores superiores a 1,00 MPa nos corpos de prova de solo-cimento-plástico, que segundo estudos recentes publicados na Revista Técnica (1994) admite uma RCS de, no mínimo 1,00 MPa aos 28 dias

de cura para blocos cerâmicos de acordo com ABNT-NBR 7171 (1992).

Na composição solo-cimento, nota-se que os valores de RCS diminuíram a medida que se diminuía a proporção de aglomerante e aumentaram com o tempo de cura, ou seja, com 7,0, 6,3 e 5,6% de cimento, em peso, ou seja nos traços 1:13, 1:15 e 1:17, em volume, obteve-se valores de 1,88 MPa, 1,34 MPa, 1,18 MPa e 2,88, 1,63 e 1,28 MPa, com tempo de cura de 7 e 28 dias, respectivamente.

Nas composições de solo-cimento-agregado leve, os valores diminuíram a medida que se diminuía a proporção do agregado leve e de aglomerante e com aumento do solo na mistura, ou seja nos traços 1:10:3, 1:13:2 e 1:16:1 de solo-cimento-plástico, os valores foram de 1,38, 1,22 e 1,00 Mpa e de solo-cimento-vermiculita foram de 1,20, 1,16 e 0,92 MPa, com 7 dias de cura, e de 1,57, 1,29 e 1,04 Mpa e 1,31, 1,20 e 1,02 MPa com 28 dias de cura para os corpos de prova de solo-cimento-plástico e solo-cimento-vermiculita, respectivamente.

Nas composições de solo-cimento-plástico obteve-se valores de RCS superiores aos de solo-cimento-vermiculita e inferiores aos de solo-cimento.

Em todos os traços obteve-se um bom desempenho mecânico nos tijolos, com a utilização do rejeito plástico como agregado leve, visto que os valores obtidos estão acima de 1,00 MPa, que segundo a ABNT-NBR 7171 (1992) admite uma resistência à compressão de no mínimo 1,00 MPa para blocos cerâmicos, já que se tomou como base esta norma na escolha dos traços.

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES (MPa) - SOLO 2							
Cura (dias)		7	28	7	28	7	28
Traços (em Volume) SOLO-CIMENTO	Traços: SOLO-CIMENTO- AGREGADO LEVE	SOLO-CIMENTO (SC)		SOLO-CIMENTO: PLÁSTICO (SCP)		SOLO-CIMENTO: VERMICULITA (SCV)	
1:13	1:10:3	1,88	2,88	1,38	1,57	1,20	1,31
1:15	1:13:2	1,34	1,63	1,22	1,29	1,16	1,20
1:17	1:16:1	1,18	1,28	1,00	1,04	0,92	1,02

Tabela 29 - Resistência à Compressão Simples dos Tijolos (MPa), para o Solo 2, de Solo-Cimento, Solo-Cimento-Plástico e Solo-Cimento-Vermiculita, para os Períodos de Cura de 7 e 28 Dias.

**Solo 2** - Solo do Shopping.

#### 4.5.2- Absorção (Abs)

A Tabela 30 apresenta os valores de absorção, nos diversos tijolos, nos traços em volume, de 1:13, 1:15 e 1:17 de cimento:solo e 1:10:3, 1:13:2 e 1:16:1 de cimento:solo:agregado leve, ou seja cimento:solo:plástico e cimento:solo:vermiculita, para o solo 2, com o tempo de cura de 7 e 28 dias.

ABSORÇÃO (%) - SOLO 2							
Cura (dias)		7	28	7	28	7	28
Traços (em Volume) SOLO-CIMENTO	Traços: SOLO-CIMENTO- AGREGADO LEVE	SOLO-CIMENTO (SC)		SOLO-CIMENTO: PLÁSTICO (SCP)		SOLO-CIMENTO: VERMICULITA (SCV)	
1:13	1:10:3	10,70	11,10	15,60	11,90	16,40	12,74
1:15	1:13:2	13,60	11,20	14,60	11,10	16,20	13,10
1:17	1:16:1	10,50	11,25	14,10	11,40	14,70	11,70

Tabela 30 - Absorção dos Tijolos de Solo-Cimento, Solo-Cimento-Plástico e Solo-Cimento-Vermiculita, para o Solo 2, com Tempo de Cura de 7 e 28 Dias.

**Solo 2** - Solo do Shopping.

Observa-se que os valores da absorção variaram de 10,70, 13,60 e 10,50, para o solo-cimento, com 7 dias de cura e 11,10, 11,20 e 11,25%, com 28 dias de cura, para os traços 1:13, 1:15 e 1:17, respectivamente. Com 7 dias de cura, no traço 1:15, foi verificado um maior valor e com 28 dias os valores aumentaram com a diminuição da porcentagem de cimento na mistura. Para os tijolos de solo-cimento-plástico, os valores diminuíram com o aumento do tempo de cura, ou seja, com 7 dias os valores foram de 15,60, 14,60 e 14,10%, e com 28 dias foram de 11,90, 11,10 e 11,40%, para os traços 1:10:3, 1:13:2 e 1:16:1, respectivamente. Verifica-se que os valores diminuíram a medida que se diminuía a proporção de agregado leve na mistura, com exceção do traço 1:16:1, com 28 dias de cura. Na composição de solo-cimento-vermiculita, os valores diminuíram com o tempo de cura, para todos os traços, e com a diminuição do agregado leve na mistura, com exceção do traço 1:13:2, com 28 dias de cura, ou seja, foram de 16,40, 16,20 e 14,70%, para 7 dias e 12,74, 13,10 e 11,70%, com 28 dias. Com estes valores, nota-se que a vermiculita tem um alto poder de absorção, isto é, na composição solo-cimento-vermiculita os valores foram superiores aos de solo-cimento-plástico e solo-cimento.

De acordo com a Norma ABNT-NBR 8492/1984 que prescreve um valor de absorção para os tijolos de solo-cimento inferior a 22%, os valores obtidos foram satisfatórios.

#### 4.5.3- Massa Específica Aparente

Na Tabela 31 são apresentados os valores de massa específica aparente, para o solo-cimento nos traços 1:13, 1:15 e 1:17 que correspondem a 7,0, 6,3 e 5,6% de cimento, em peso, e para o solo-cimento-plástico e solo-cimento-vermiculita, nos traços 1:10:3, 1:13:2 e 1:16:1, para o solo 2, com tempo de cura de 7 e 28 dias.

Observa-se que os valores de massa específica aparente variaram, para o solo-cimento nos traços 1:13, 1:15 e 1:17 de 0,94, 0,95 e 0,97 g/cm<sup>3</sup> aos 7 dias de cura e 0,96, 0,96 e 0,97 g/cm<sup>3</sup> aos 28 dias de cura, e que os valores apresentam um pequeno aumento com o tempo de cura e com o aumento do agregado na mistura, com exceção do traço 1:15 com 28 dias de cura. Nas composições solo-cimento-plástico e solo-cimento-vermiculita nos traços 1:10:3, 1:13:2 e 1:16:1 os valores apresentam um pequeno aumento com o aumento do solo e com o tempo de cura. Os valores variaram de 0,77, 0,78 e 0,81 g/cm<sup>3</sup> aos 7 dias de cura e 0,78, 0,78 e 0,81 g/cm<sup>3</sup> aos 28 dias de cura para o solo-cimento-plástico e 0,84, 0,85 e 0,88 g/cm<sup>3</sup> aos 7 dias de cura e 0,84, 0,85 e 0,89 g/cm<sup>3</sup> aos 28 dias de cura para o solo-cimento-vermiculita. Observa-se que os tijolos de solo-cimento-plástico apresentam valores de massa específica aparente inferiores aos de solo-cimento-vermiculita e solo-cimento.

MASSA ESPECÍFICA APARENTE ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) - SOLO 2									
Cura (dias)		7		28		7		28	
Traços (em Volume) SOLO-CIMENTO	Traços: SOLO-CIMENTO- AGREGADO LEVE	SOLO-CIMENTO (SC)		SOLO:CIMENTO: PLÁSTICO (SCP)		SOLO-CIMENTO: VERMICULITA (SCV)			
1:13	1:10:3	0,94	0,96	0,77	0,78	0,84	0,84		
1:15	1:13:2	0,95	0,96	0,78	0,78	0,85	0,85		
1:17	1:16:1	0,97	0,97	0,81	0,81	0,88	0,89		

Tabela 31 - Massa Específica Aparente dos Tijolos ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ), de Solo-Cimento, Solo-Cimento-Plástico e Solo-Cimento-Vermiculita, para o Solo 2, com Tempo de Cura de 7 e 28 Dias.

**Solo 2** - Solo do Shopping.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÕES

Após a avaliação dos resultados em corpos de prova cilíndricos e em tijolos, utilizando os rejeitos plásticos triturados como agregado leve, pode-se concluir que:

1) A partir dos corpos de prova cilíndricos:

- Os corpos de prova de solo-cimento-plástico apresentam valores de resistência à compressão simples e resistência à tração indireta superiores aos de solo-cimento-vermiculita;

- Os valores da resistência à compressão simples e da resistência à tração indireta diminuem a medida que se aumentava a quantidade de agregado leve na mistura e aumentam com o respectivo aumento do período de cura, isto sendo verificado em todos os traços;

- Os valores do módulo de elasticidade e do limite de proporcionalidade aumentam com o aumento do tempo de cura e da resistência à compressão simples.

2) A partir dos tijolos:

- Pode-se substituir parte do solo por plástico triturado na produção de tijolos de solo-cimento-plástico;

- Os tijolos de solo-cimento-plástico apresentam valores de resistência à compressão simples superiores aos de solo-cimento-vermiculita;

- Os tijolos de solo-cimento-plástico apresentam valores de absorção superiores aos de solo-cimento e inferiores aos de solo-cimento-vermiculita

- Os tijolos de solo-cimento-plástico apresentam valores de massa específica aparente inferiores aos de solo-cimento, e solo-cimento-vermiculita.

Em resumo, conclui-se que é possível o uso do plástico triturado como agregado leve, uma vez que apresenta uma resistência similar a dos tijolos cerâmicos, além do que atualmente, é cada vez mais freqüente a utilização de embalagens plásticas e que estas sempre têm como destino final os lixões. O aproveitamento destes resíduos seria de grande importância tanto na barateamento das construções civis populares como também uma solução para a diminuição da poluição no meio ambiente.

## CAPÍTULO 6

### SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

1 - Estudar outros traços na fabricação do tijolo de solo-cimento-plástico;

2 - Estudar a influência da composição granulométrica do plástico moído nas propriedades dos tijolos;

3 - Estudar outros aglomerantes como a cal e a cal pozolânica em substituição total ou parcial do cimento;

4 - Estudar o módulo de elasticidade e o limite de proporcionalidade utilizando um número maior de corpos de prova;

5 - Estudar o isolamento térmico e acústico dos tijolos de solo-cimento-plástico;

6 - Fazer um estudo de capilaridade nos tijolos de solo-cimento-plástico;

7 - Fazer um estudo econômico do tijolo de solo-cimento-plástico com relação aos tijolos convencionais;

8 - Fazer um estudo com plásticos selecionados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A.B.C.P., Associação Brasileira de Cimento Portland, Identificação e Classificação dos Solos, São Paulo, 1981.
- A.B.C.P., Associação Brasileira de Cimento Portland, Dosagem das Misturas de Solo-cimento, Normas de Dosagens, Estudo Técnico 35, São Paulo, 1986.
- A.B.C.P., Associação Brasileira de Cimento Portland, Fabricação de Tijolos de Solo-cimento com a Utilização de Prensas Manuais, Boletim Técnico n 111, São Paulo, 1985.
- A.B.C.P., Associação Brasileira de Cimento Portland, Solo-cimento na Habitação Popular, São Paulo, 1987.
- A.B.N.T., Associação Brasileira de Normas Técnicas, Análise Granulométrica dos Solos, NBR-7181, 1984.
- A.B.N.T., Associação Brasileira de Normas Técnicas, Argamassas e Concretos - Determinação da Resistência à Tração por Compressão Diametral de Corpos de Prova Cilíndricos, NBR-7222, 1983.

A.B.N.T., Associação Brasileira de Normas Técnicas, Blocos Cerâmicos para Alvenaria, NBR-7171, 1992.

A.B.N.T., Associação Brasileira de Normas Técnicas, Cimento Portland - Determinação da Finura por Meio da Peneira n200, NBR-11579, EB-2138, 1991.

A.B.N.T., Associação Brasileira de Normas Técnicas, Cimento Portland, Determinação da Resistência à Compressão, NBR-7215, 1991.

A.B.N.T., Associação Brasileira de Normas Técnicas, Determinação da Finura de Cimento Portland mediante emprego do Aparelho de Permeabilidade do ar, NBR-7224, 1984.

A.B.N.T., Associação Brasileira de Normas Técnicas, Determinação da Massa Específica Aparente de amostras indeformadas, com emprego da Balança Hidrostática, NBR-10838, 1988.

A.B.N.T., Associação Brasileira de Normas Técnicas, Determinação de Massa Específica Real, NBR-6474, 1984.

A.B.N.T., Associação Brasileira de Normas Técnicas, Determinação do Limite de Liquidez, NBR-6459, 1984.

A.B.N.T., Associação Brasileira de Normas Técnicas, Determinação do Limite de Plasticidade, NBR-7180, 1984.

- A.B.N.T., Associação Brasileira de Normas Técnicas, Fabricação de Tijolo Maciço de Solo-cimento com a Utilização de Prensa Manual, NBR-10832, 1984.
- A.B.N.T., Associação Brasileira de Normas Técnicas, Grãos de Solos que Passam na Peneira de 4,8 mm - Determinação da Massa Específica, NBR-6508, 1984.
- A.B.N.T., Associação Brasileira de Normas Técnicas, Preparação para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização, NBR-6457, 1986.
- A.B.N.T., Associação Brasileira de Normas Técnicas, Solo-cimento, Moldagem e Cura de Corpos de Prova Cilíndricos, MB-3360, 1990.
- A.B.N.T., Associação Brasileira de Normas Técnicas, Solo-cimento, Ensaio de Resistência à Compressão Simples de Corpos-de-Prova Cilíndricos, MB-3361, 1990.
- A.B.N.T., Associação Brasileira de Normas Técnicas, Tijolo Maciço de Solo-Cimento - Determinação da Resistência à Compressão e da Absorção d'Água, NBR-8492, 1984.
- Abiko, A. K., Solo-cimento: tijolos, blocos e paredes monolíticas, Tecnologia das Edificações 97-100, publicação IPT n 1785, PINI, São Paulo, 1988.

Basílio, F.A., Solo-cimento Pavimento de Baixo Custo, Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP, p. 05-41, Rio de Janeiro, 1955.

Bezerra, M. A., Estudo Preliminar Comparativo entre Misturas de Solo-cimento Compactado e Solo-cimento Plástico para Revestimento de Canais, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1983.

Bofinger, H. E., Fatigue Behavior of Soil-Cement, Journal of Australian Road Research, 2(4), 12-20, June, 1965.

Cabrera, J. G., Projetos de Pavimentos, Notas de Aula, Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 1974.

Campos, L.M., Estudo da Expansão e Caracterização de Vermiculitas Nordestinas, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba, 1985.

Casanova, F.J. & CERATTI, J.A., Fundamentos (mecanismos) de Dosagem Físico-químico de Solo-Cimento, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 1986.

CEBRACE, Solo-Cimento na Construção de Escolas, Sistemas Construtivos 2, Rio de Janeiro, 1980.

CEPED, Centro de Pesquisas e Desenvolvimento do Estado da Bahia, Manual de Construção com Solo-Cimento. 4ª ed., Rio de Janeiro, BNH/DEPEA, 129p, 1985.

Chadda, L. R., A rapid method of assessing the cement requirement for the stabilization on soil, Indian Concret Journal, 45(7), pp. 298-314, 1971.

Cincotto, M. A., Utilização de Subprodutos e Resíduos na Indústria da Construção Civil, Tecnologia de Edificações, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Edificações do IPT, Ed. PINI, São Paulo, 1988.

Costa, C. M. P., Caracterização e Estabilização com Cal de uma Argila Mole do Mangue de João Pessoa, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1992.

DEPEA, Departamento de Estudos e Pesquisas Aplicadas do BNH, Uniformização das Técnicas de Aplicação do Solo-Cimento na Construção Habitacional, Rio de Janeiro, 1985a.

DEPEA, Departamento de Estudos e Pesquisas Aplicadas do BNH, Tijolos Maciços de Solo-Cimento, Rio de Janeiro, 1985b.

Diamond, S. & Kinter, E. B., Gravimetric Determination of Monolayer Glycerol Complexes of Clay Minerals, N.A.S. NRC 5<sup>th</sup> Conference Clays and Clay Minerals, Pub. 556, pp.318-347, 1968.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa do Algodão, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Rio de Janeiro, 1979.

Ferreira, J., Reciclagem do Plástico, IPESI, Química e Petróleo, ano XI, n 201/Q & P-5, fevereiro/março, 1991.

Guimarães, S.S., Utilização do Solo-Cimento em Habitações de Baixo Custo, Trabalho apresentado na Reunião do Grupo Latino-Americano da RILEM, por ocasião das XXI Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural, Rio de Janeiro, 1981.

Hough, B. K., Basic Soils Engineering, The Ronald Press Company New York, p. 390-417 e 454-72, 1957.

Houben, H. et alli., Construire en Terre, France, Editions Alternative et Paralleles/Collection Architecture, 272p, 1979.

Ingles, O. G. e Metcalf, J. B., Lime Stabilization, Ed. Butterworthes, pp. 127-141, 1972.

Leonards, G. A., Fundacion Engineering, McGraw Hill Book Company inc., New York, 1962.

Machado, E. C. C. & Pereira, E. C., Uso do Solo-Cimento-Vermiculita em Paredes Divisórias, Anais do Seminário Regional de Engenharia Civil, Recife, 1990.

Machado, E. C. C., Aproveitamento do Rejeito Plástico Residencial em Tijolos, Campina Grande, UFPB, 1992, 55 p. Tese (Concurso de Professor Titular na Área de Geotecnia do Departamento de Engenharia Civil), Universidade Federal da Paraíba, Campus II, 1992.

Mateos, M. et alli., Effects os Chemical Additives on the strength of soil-cement mixtures. In: Congress PAN AMERICANO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES 2, Anais, V.1, p. 547-70, 1963.

Mehra, S. R. et alli., Role of Detrimental Salts in Soil Stabilization with and without cement: effect of sodium sulphate. Industr. Concret J., 29:336-7, 1955.

Moh, Z. C. et alli., Improvement os soil-cement with chemical additives, Highway Research Board, bull. 309:57-76, 1962.

Nie, N., Hall, C., Jenkins, J. G., Staingrenner, K., Bent, D. H., - SPSS - Statistical Package for the Social Science, Editora McGraw - Hill Book Company, USA, 1975.

O'Flaherty, C. A., Highways Edward Arnold, 2.v., London, 1974.

Oliveira, L. C. D., A Estabilização de Solos Aplicada à Habitação, Estudo de Misturas de Minerais Solo-Cimento, Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1994.

Pinto, C. S., Evolução das Pesquisas de Laboratório sobre Solo-Cimento, ABCP, São Paulo, 1980.

Pitta, M. R. e Nascimento, A. A. P., Dosagem de Solo Melhorado com Cimento, Estudo Técnico 53, ABCP, São Paulo, 1983.

Rosenburg, J. P., Vermiculitas brasileiras e Usos Industriais, Revista Cerâmica, v. 15, n.59, p. 195-208, julho, (1969).

Sherwood, P. T., Stabilization with cement of weathered and sulphate - bearing clays. Geotechnique, London, 7:34-44, 1957.

Souza, R., Avaliação de Desempenho Aplicada a Novos Componentes e Sistemas Construtivos para Habitação, Tecnologia de Edificações, 1988.

Souza Santos, P., Tecnologia das Argilas, Ed. da Universidade de São Paulo, São Paulo, v. 1 e 2, 1975.

Spalding, F. P. et alli., Masonry Structures. 2ª ed., New York, John Wiley & Sons, Inc., 575 p., 1926.

Stanton, T. E. et alli., Progress Report on California Experience with Cement treated Bases, Proc. Highway Research Board, Washington, 23:279-95, 1943.

Terzaghi, Karl & Peck, Ralph B., Mecânica de Suelos en la Ingenieria Práctica, Traducción del ingles por Oreste Moretto, Libreria "El Ateneo", Buenos Aires, p.3-138 e 450 - 60, 1955.

Teste a Teste - Blocos Cerâmicos: fora de forma. In: Revista de Tecnologia da Construção, Técnica 10, p. 64-66, (1994).

TUDO - Dicionário Enciclopédico Ilustrado, Abril Cultural, São Paulo, Brasil, (1977).

Uppal, I. S. & Kapur, B. P., Role os Detrimental Salts in Soil Stabilization with and without Cement: Effect os Magnesium Sulphate. Industr. Concrete J. 31, 1957.

Vargas, H., Introdução à Mecânica dos Solos, São Paulo, Mcgraw-Hill do Brasil, Ed. da Universidade de São Paulo, 1977.

Winterkorn, Hans F. & Fang, Hsay-Yang., Foundation Engineering  
Handbook Van Nostrand Reinhold Company, New York, 751p. 312 e  
317-23, 1975.

## ANEXO 1

### **Descrição do Método Físico-Químico de Dosagem do Solo-Cimento, proposto por Chadda (1971)**

- 1) Utiliza-se em média sete provetas de 250 ml marcando-as com as porcentagens do cimento (0%, 3%, 5%,...).
- 2) Pesa-se 20g do solo, seco ao ar, destorroado e passado na peneira n 10, para cada proveta.
- 3) Adiciona-se as quantidades de cimento em porcentagem por peso de solo, nas respectivas provetas.
- 4) Mistura-se o solo e o cimento ainda secos, agitando-se as provetas.
- 5) Coloca-se aproximadamente 50 ml de água destilada e agita-se as provetas até que ocorra a homogeneização da mistura.
- 6) Completa-se o volume para 100 ml, lavando as paredes das provetas, e coloca-se em repouso absoluto até o dia seguinte.
- 7) No dia seguinte, agita-se a mistura com o auxílio de um bastão de metal até ficar homogênea (cerca de 30 s).
- 8) Após no mínimo 2 h, faz-se a leitura do volume ocupado pelo sedimento.

- 9) No terceiro dia, agita-se novamente e faz-se a leitura após no mínimo 2 horas.
- 10) Repete-se esta operação todos os dias até obter-se as leituras constantes ou decrescentes.
- 11) Monta-se uma tabela com as porcentagens de cimento e as leituras de cada dia.
- 12) Calcula-se a variação volumétrica percentual (% V) do sedimento solo-cimento em relação aquela do solo puro (%), para os diversos teores de cimento, escolhendo para o cálculo, o maior volume obtido para cada teor.
- 13) Faz-se um gráfico de V (%) x % c i. O ponto máximo de variação volumétrica corresponde ao teor mínimo de cimento requerido para a "satisfação" físico-química do solo.

EXEMPLO:

-----							
<b>SOLO DO MUTIRÃO - CAMPINA GRANDE/PB</b>							
-----							
Cimento	Leituras nas Provetas (m)						V (%)
(%)	1ª leit.	2ª leit.	3ª leit.	4ª leit.	5ª leit.	6ª leit.	
-----							
0	20	21	19	21	20	20	0
3	35	45	50	50	49	48	150
5	39	54	60	60	60	58	200
7	41	59	63	61	63	60	215
9	40	51	54	54	55	54	175
11	36	46	49	49	49	49	145
13	36	45	46	46	46	46	130
-----							

## ANEXO 2

$$V = \frac{V(\%CI) - V(0\%)}{V(0\%)}$$

Descrição da Dosagem de Solo-Cimento pelo Método  
"Experimental"

**Cálculos:**

- 1 - Para V = 0% = 0%
- 2 - Para V = 3%  $V = \frac{50 - 20}{20} \times 100 = 150\%$
- 3 - Para V = 5%  $V = \frac{60 - 20}{20} \times 100 = 200\%$
- 4 - Para V = 7%  $V = \frac{63 - 20}{20} \times 100 = 215\%$
- 5 - Para V = 9%  $V = \frac{55 - 20}{20} \times 100 = 175\%$
- 6 - Para V = 11%  $V = \frac{49 - 20}{20} \times 100 = 145\%$
- 7 - Para V = 13%  $V = \frac{46 - 20}{20} \times 100 = 130\%$

De acordo com os cálculos, o valor máximo de V foi para um teor de cimento igual a 7%, logo esta é a quantidade de cimento mais econômica para estabilizar este solo.

## ANEXO 2

### **Descrição da Dosagem de Solo-Cimento pelo Método "Experimental"**

Este tipo de dosagem é conhecido por dosagem "empírica", ou seja aquela feita em bases arbitrárias, fixadas quer pela experiência anterior do construtor, quer pela tradição.

Segundo o DEPEA, 1985, o traço usual para o solo-cimento é 1:15, em volume, que corresponde a 6,3% em peso de cimento, daí trabalha-se com dois percentuais acima e abaixo deste traço.

## ANEXO 3

### Tensão e Deformação

Os conceitos de tensão e deformação podem ser demonstrados considerando-se o alongamento de uma barra prismática (Figura A).

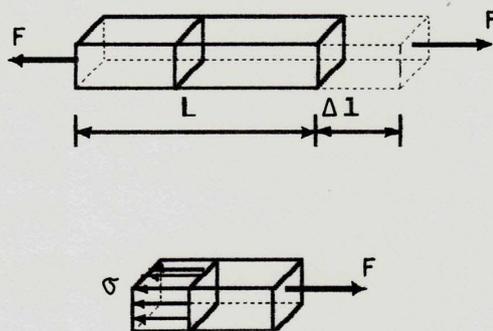


Figura A - Barra prismática sob tração.

A intensidade da força perpendicular ao corte, por unidade de área é denominada TENSÃO, sendo designada pela letra grega  $\sigma$ .

Logo, a tensão normal, ou aquela que age perpendicularmente ao corte é:

$$\sigma = \frac{E}{A}$$

Para indicar a tensão de tração (barras tracionadas) usa-se o sinal positivo. O sinal negativo indicará tensão de compressão (barras comprimidas).

A análise das deformações de um corpo sólido iguala em importância a análise de tensões.

O alongamento ou encurtamento de uma barra que suporta uma força axial será designado pela letra grega  $\delta$ .

Logo, a deformação normal é calculada pela equação:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{L}$$

Se a barra estiver sob tração, ter-se-á uma deformação de tração (alongamento), caso contrário, sob compressão, tem uma deformação de compressão (encurtamento).

A relação entre as tensões e as deformações, para um determinado material, é encontrada por meio de um teste de tração ou de compressão. Por exemplo, um corpo de prova é colocado na máquina sujeito à tração, se aumentamos a força progressivamente de intensidade, podemos medir várias modificações que ocorre no corpo de prova, ou seja, alterações no comprimento e no diâmetro.

Obtém-se as tensões dividindo-se as forças pela área da secção transversal e as deformações dividindo-se o alongamento pelo comprimento inicial. Deste modo obtém-se um diagrama TENSÃO x DEFORMAÇÃO.

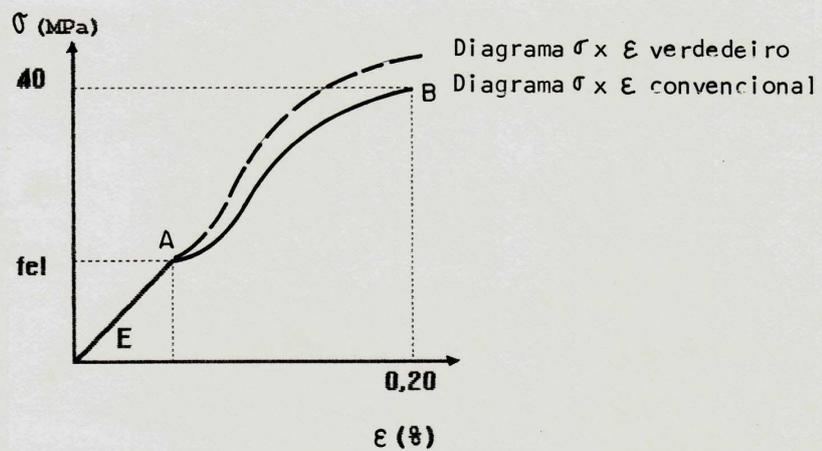


Figura B - Diagrama tensão x deformação do aço doce e alguns materiais.

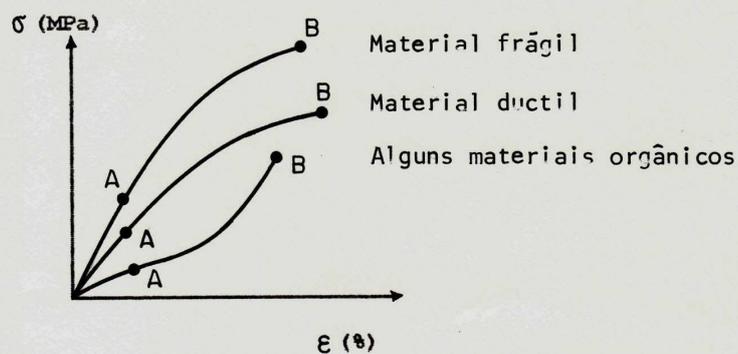


Figura C - Diagrama tensão x deformação de materiais típicos.

Os diagramas tensão x deformação experimentalmente determinados diferem bastante para materiais diferentes. Para um mesmo material, eles são diferentes, dependendo da temperatura na qual o teste é conduzido, da velocidade do teste e de várias outras variáveis.

Da Figura B, vemos que o ponto A está sobre uma linha reta que parte da origem, esse ponto é chamado LIMITE DE PROPORCIONALIDADE DO MATERIAL (fel). A inclinação da linha, de 0 a A é o MÓDULO DE ELASTICIDADE (E), conhecido também por Módulo de Young. Fisicamente E representa a rigidez do material a um carregamento imposto. Todavia, até um ponto A, Figura C, a relação entre tensão e deformação pode ser considerada linear para todos os materiais. Essa idealização e generalização é a base da LEI DE HOOKE. Dessa forma, a Lei de Hooke aplica-se somente até o Limite de Proporcionalidade do material, ou seja:

$$\sigma = E \times \epsilon$$

Os pontos mais altos dos diagramas, B, nas Figuras B e C, correspondem à resistência à ruptura de um material.

## ANEXO 4

### Descrição do Ensaio de Salinidade dos Solos, Método Proposto pela EMBRAPA (1979)

- 1) Passa-se o solo na peneira ABNT n 10 de abertura 2,0 mm.
- 2) Zera-se a balança com o recipiente onde o solo será colocado, para cada tipo, recipientes diferentes.
- 3) Coloca-se 300g do solo no recipiente.
- 4) Adiciona-se água destilada, iniciando-se com 50 ml, até que o solo fique uma pasta soltando da espátula.
- 5) Deixa-se em repouso durante 1 hora, coberto com papel de filtro umedecido com água destilada.
- 6) Após este intervalo de tempo, coloca-se a amostra na bomba de vácuo para retirada do extrato de saturação.
- 7) Lê-se a condutividade elétrica (CE) - mS/cm.
- 8) Calcula-se o grau de salinidade.  
*CE = valor lido x correção da escala x fator de correção  
com relação à temperatura.*
- 9) Caso o item 8 seja acima de 4%, determina-se a porcentagem de cátions (Ca, Mg, Na e K) e ânions (Cl, HCO<sub>3</sub>, CO<sub>3</sub> e SO<sub>4</sub>).

**EXEMPLO:**

Supor que:

Valor lido = 2,22

correção da escala = 1,0

fator de correção (temperatura) = 0,96 p/T = 27C

Logo:

$CE = 2,22 \times 1,00 \times 0,96 = 2,13 \text{ mS/cm}$

Transformando-se para mg/l, tem-se:

$\text{ppm} = CE \times 640$

$\text{mg/l} = 2,13 \times 640 = 1363,2 \text{ mg/l em } 1000 \text{ m}$

Para 300 g de solo, usou-se 65 m de H<sub>2</sub>O

300 g solo = 65 m

100 g solo - x 21,67 m

100 m - 1363,2 mg

21,67 - y 29,54 mg (sais)

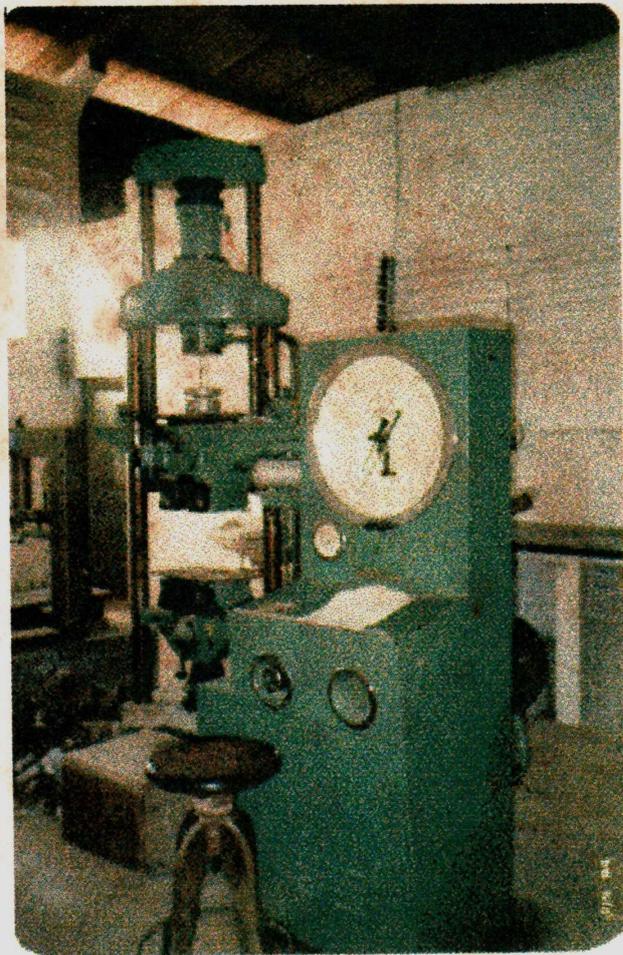
0,03 g

29,54 mg - 100 g de solo

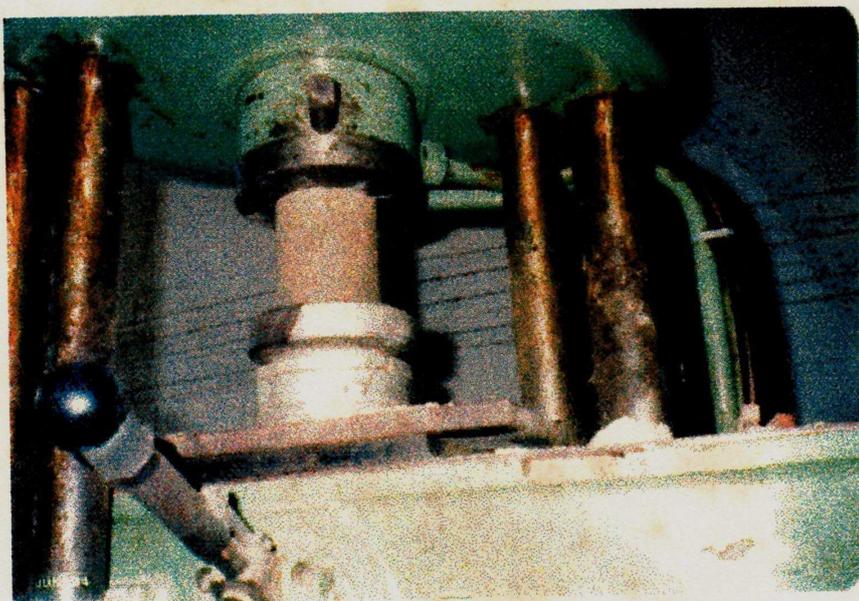
0,02954 g - 100 g de solo ou 0,03% de sais.

Conclui-se que a porcentagem de sais não é prejudicial,  
neste solo.

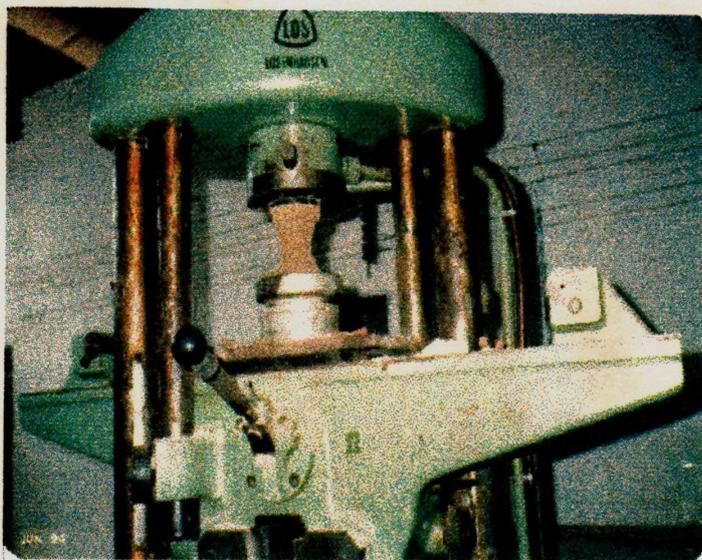
**ANEXO 5**  
**FOTOGRAFIAS**



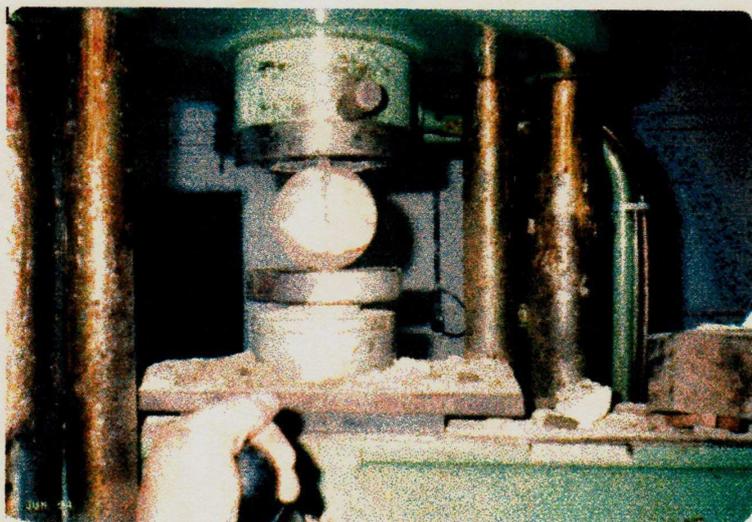
Fotografia 1 - Prensa Losenhausen para rompimento de corpos de prova.



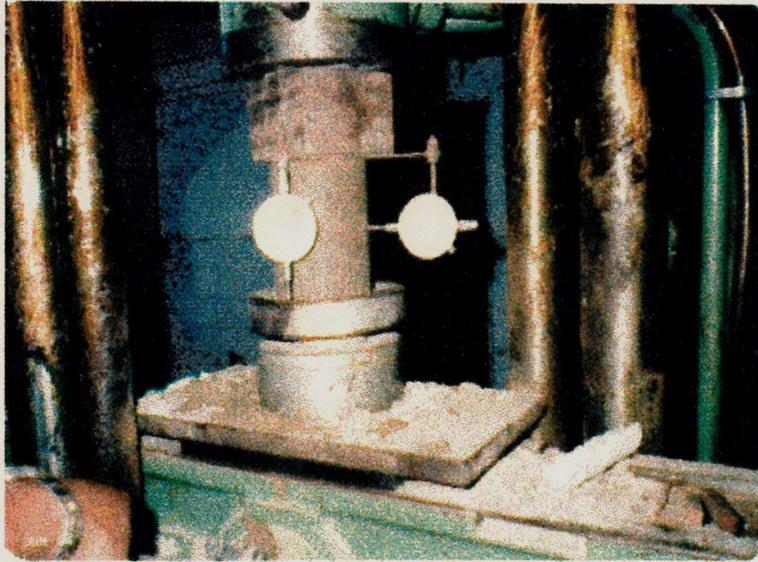
Fotografia 2 - Ensaio de Resistência à Compressão  
Simples nos Corpos de Prova Cilín-  
dricos.



Fotografia 2a - Corpo de Prova após o Rompimento.



Fotografia 3 - Ensaio de Resistência à Tração Indireta nos Corpos de Prova Cilíndricos.



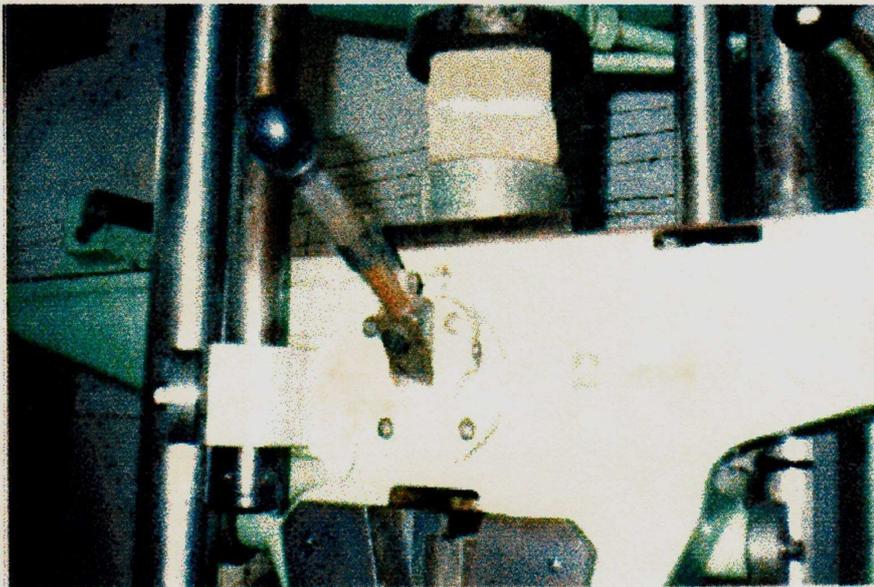
Fotografia 4 - Ensaio de Deformação Controlada para Determinação do Módulo de Elasticidade e do Limite de Proporcionalidade.



Fotografia 5 - Prensa manual para fabricação dos tijolos de solo-cimento, solo-cimento-plástico e solo-cimento-vermiculita.



Fotografia 6 - Tijolos após prensagem.



Fotografia 7 - Ensaio de resistência à compressão simples nos diversos tijolos.