

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA QUÍMICA

INFLUÊNCIA DA ÁREA ESPECÍFICA NA ATIVIDADE
POZOLÂNICA DO SISTEMA SOLO LATERÍTICO-CAL.

GELMIRES DE ARAÚJO NEVES

CAMPINA GRANDE-PARAÍBA

ABRIL/1989

GELMIRES DE ARAÚJO NEVES

INFLUÊNCIA DA ÁREA ESPECÍFICA NA ATIVIDADE
POZOLÂNICA DO SISTEMA SOLO LATERÍTICO-CAL.

DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO CURSO DE MESTRADO EM
ENGENHARIA QUÍMICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA
PARAÍBA, EM CUMPRIMENTO ÀS EXIGÊNCIAS PARA OB
TENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO : TECNOLOGIA DOS MATERIAIS NÃO
METÁLICOS

PROFESSOR ORIENTADOR : HEBER CARLOS FERREIRA

CAMPINA GRANDE-PARAÍBA

ABRIL-1989



N511i Neves, Gelmires de Araujo
Influencia da area especifica na atividade pozolonica do sistema solo lateritico-cal / Gelmires de Araujo Neves. - Campina Grande, 1989.
172 f. : il.

Dissertacao (Mestrado em Engenharia Quimica) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciencias e Tecnologia.

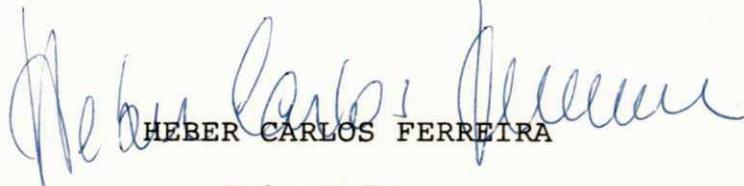
1. Engenharia Quimica 2. Solos Lateriticos 3. Propriedades Pozolonicas 4. Dissertacao I. Ferreira, Heber Carlos, Dr. II. Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande(PB) III. Título

CDU 66.0(043)

INFLUÊNCIA DA ÁREA ESPECÍFICA NA ATIVIDADE
POZOLÂNICA DO SISTEMA SOLO LATERÍTICO-CAL.

GELMIRES DE ARAÚJO NEVES

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 28/04/89



HEBER CARLOS FERREIRA

Orientador



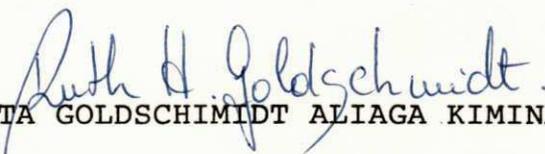
FRANCISCO BARBOSA DE LUCENA

Cô-Orientador



RAIMUNDO LEIDIMAR BEZERRA

Componente da Banca



RUTH HERTA GOLDSCHMIDT ALIAGA KIMINAMI

Componente da Banca

CAMPINA GRANDE-PARAÍBA

ABRIL - 1989

DEDICATÓRIA

À meus pais e família
À minha esposa, Nita
À minhas filhas, Any, Tatiana e Cristina.

AGRADECIMENTOS

Ao orientador Prof. Dr. Heber Carlos Ferreira, pelos ensinamentos transmitidos, críticas construtivas, revisão do texto e pela dedicação demonstrada, fatos esses que contribuíram decisivamente para conclusão desta dissertação.

Ao mestre Francisco Barbosa de Lucena, Coordenador da Área de Geotecnia, pelo apoio constante e C^o-orientação durante o período de realização deste trabalho.

À Coordenação de Pós-graduação em Engenharia Química, na pessoa dos professores Michel Fossy, Odelsia L. Sanchez de Alsina e Kêpler Borges França, pelo apoio e auxílio para a realização desta dissertação.

A todos os funcionários dos laboratórios de Solos I, Solos II e Cerâmica, que de alguma forma colaboraram para execução deste trabalho, em especial Edvaldo Pinheiro de Carvalho, Francisco Paulino Filho e Neriglissor Guimarães Oliveira.

Ao Wdilson Bezerra Campos, o autor agradece os trabalhos de datilografia e a Joselito de Araújo Souto pelos desenhos realizados.

Aos professores, funcionários e alunos do curso de Pós-graduação em Engenharia Química, pela oportunidade de convivência e colaboração.

RESUMO

Trabalhos anteriores evidenciam que o comportamento dos solos lateríticos, está diretamente relacionado com algumas de suas propriedades intrínsecas. Tem-se observado que estas propriedades não são suficientes para explicar determinados comportamentos desses solos. Por esta razão, procura-se através de um estudo mais amplo e detalhado um melhor conhecimento da microestrutura destes materiais de forma a se ter uma melhor compreensão do seu comportamento e/ou desempenho em engenharia.

Com objetivo de melhor conhecer as propriedades pozolânicas dos solos lateríticos na forma do sistema solo-cal, foram estudadas dezesseis amostras de solos lateríticos provenientes da região Norte e Nordeste do Brasil no estado natural e aditivados com 3,0%, 6,0% e 9,0% de cal, curados por períodos de 7 dias, 28 dias e 60 dias em câmara úmida com 100% de umidade relativa a uma temperatura de $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Após a cura os materiais foram ensaiados e determinadas a resistência à compressão simples e o Índice de Suporte Califórnia. Paralelamente, com a fração fina destes solos, determinou-se a área específica pelos métodos do permeâmetro de Blaine e Fisher.

A partir dos resultados relativos, a área específica, resistência à compressão simples e Índice de Suporte Califórnia, foram feitos estudos estatísticos na forma de correlações simples (lineares, logarítmicas, exponenciais e potenciais) e lineares múltiplas.

Os estudos mostraram que existem correlações altamen

te significativas entre a área específica determinada pelos métodos do permeâmetro de Blaine e Fisher e a resistência à compressão simples, sendo que os melhores resultados obtidos foram para os solos aditivados com 6,0% de cal e curados por período de 28 dias. Verificou-se também que não existem correlações significativas entre a área específica e o Índice de Suporte Califórnia para os mesmos solos, evidenciando mais uma vez as limitações do ensaio do Índice de Suporte Califórnia . A partir destes dados, observou-se que a determinação da área específica pelos métodos do permeâmetro de Blaine e Fisher serve como dado auxiliar para pré-seleção dos solos lateríticos mais adequados na aditivação com cal, quando submetido a sistemática proposta por Thompson (1966) .

ABSTRACT

Previous works show evidence that the behaviour of the lateritic soils are straight related with some intrinsic properties. It is observed that such properties are not sufficient to explain some behaviour of these soils. For this reason, an extensive and detailed study has been doing looking for better knowledge of the microstructure of these materials, in order to have a good comprehension of their behaviour and/or performance in engineering.

With objective of to know well the pozzolanic properties of the lateritic soils when using the system soil-lime, it has been studied sixteen samples of the lateritic soils from North and Northeastern regions of the Brazil. These soils were studied at natural state and with additions of the 3,0%, 6,0% and 9,0% of lime; following cure at humid chamber with 100% of humidity and room temperature of 22°C for curing time of 7 days, 28 days and 60 days. After curing time the samples were tested through simple compression strength and California Bearing Ratio. At the same time were determined the specific surface, using the fine fractions of lateritic soils by the methods of permeameter of Blaine and Fisher.

From these results related to specific surface, simple compression strength and California Bearing Ratio. Were carried out a statistical analysis through simple correlations (linear, logarithm, exponential and powers regressions) and multiple linear regression.

The studies show to exist correlation with high level of significance between specific surface and simple compres-

sion strenght. The best results were obtained on soils with 6,0% of lime and curing time of 28 days.

Also, do not show significant correlations between specific surface and Califórnia Bearing Ratio. It could be an evidence of the limitation of Califórnia Bearing Ratio test. From these results it is observed that the determination of specific surface by the permeameter methods of Blaine and Fisher can be used as auxiliary data for predated of lateritic soils move adequated to be used with lime as additive when submitted to a systematic proposed by Thompson (1966).

SIMBOLOGIA UTILIZADA

		UNIDADE
$\gamma_{0S}^{m\acute{a}x}$	- Massa Específica Aparente Seca Máxima dos Solos Lateríticos no Estado Natu <u>r</u> al.	kg/m ³
$\gamma_3^{S}m\acute{a}x$	- Massa Específica Aparente Seca Máxima dos Solos Lateríticos Aditivados com 3,0% de Cal.	kg/m ³
$\gamma_6^{S}m\acute{a}x$	- Massa Específica Aparente Seca Máxima dos Solos Lateríticos Aditivados com 6,0% de Cal.	kg/m ³
$\gamma_9^{S}m\acute{a}x$	- Massa Específica Aparente Seca Máxima dos Solos Lateríticos Aditivados com 9,0% de Cal.	kg/m ³
U_0^{Ot}	- Umidade Ótima dos Solos Lateríticos no Estado Natural.	%
U_3^{Ot}	- Umidade Ótima dos Solos Lateríticos Aditivados com 3,0% de Cal.	%
U_6^{Ot}	- Umidade Ótima dos Solos Lateríticos Aditivados com 6,0% de Cal.	%
U_9^{Ot}	- Umidade Ótima dos Solos Lateríticos Aditivados com 9,0% de Cal.	%
RCS	- Resistência à Compressão Simples dos Solos Lateríticos no Estado Natural.	KPa
R_3^{CS}	- Resistência à Compressão Simples dos	

		UNIDADE
	Solos Lateríticos Aditivados com 3,0% de Cal.	KPa
R ₆ CS	- Resistência à Compressão Simples dos Solos Lateríticos Aditivados com 6,0% de Cal.	KPa
R ₉ CS	- Resistência à Compressão Simples dos Solos Lateríticos Aditivados com 9,0% de Cal.	KPa
RT ₃	- Reatividade a Cal dos Solos Lateríticos Aditivados com 3,0% de Cal.	KPa
RT ₆	- Reatividade a Cal dos Solos Lateríticos Aditivados com 6,0% de Cal.	KPa
RT ₉	- Reatividade a Cal dos Solos Lateríticos Aditivados com 9,0% de Cal.	KPa
CBR	- Índice de Suporte Califórnia dos <u>So</u> los Lateríticos no Estado Natural.	%
C ₃ BR	- Índice de Suporte Califórnia dos <u>So</u> los Lateríticos Aditivados com 3,0% de Cal.	%
C ₆ BR	- Índice de Suporte Califórnia dos <u>So</u> los Lateríticos Aditivados com 6,0% de Cal.	%
C ₉ BR	- Índice de Suporte Califórnia dos <u>So</u> los Lateríticos Aditivados com 9,0% de Cal.	%

UNIDADE

RCS ₇	- Resistência à Compressão Simples dos Solos Lateríticos Curados por Período de 7 dias.	KPa
RCS ₂₈	- Resistência à Compressão Simples dos Solos Lateríticos Curados por Período de 28 dias.	KPa
RCS ₆₀	- Resistência à Compressão Simples dos Solos Lateríticos Curados por Período de 60 dias.	KPa
R	- Coeficiente de Correlação	
α	- Nível de Significância	%
Y	- Área Específica	m ² /g
X	- Resistência à Compressão Simples	KPa

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iv
SIMBOLOGIA	vi
CAPÍTULO I	
I.1 - Introdução	01
CAPÍTULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	
II.1 - Introdução	04
II.2 - Conceituação de Solos Lateríticos	04
II.3 - Comportamento dos Solos Lateríticos Estabili- zados com Aditivos	11
II.4 - Trabalhos Realizados com Área Específica de Solos Lateríticos	21
CAPÍTULO III - MATERIAIS E MÉTODOS	
III.1 - Introdução	27
III.2 - Materiais	27
III.2.1 - Cal	27
III.2.2 - Solos	28
III.3 - Métodos	47
III.3.1 - Preparação das Amostras	47
III.3.2 - Caracterização da Cal	49
III.3.3 - Determinações das Áreas Específi- cas	49
III.3.4 - Massa Específica Aparente Seca Má- xima	50

III.3.5 - Resistência à Compressão Simples.	51
III.3.6 - Índice de Reatividade de Thompson (1966).....	51
III.3.7 - Índice de Suporte Califórnia	52
III.3.8 - Análise Estatística	52
CAPÍTULO IV - RESULTADOS E DISCUSSÕES	60
IV.1 - Introdução	60
IV.2 - Cal	60
IV.3 - Áreas Específicas	61
IV.4 - Massa Específica Aparente Seca Máxima e Umidade Ótima	64
IV.5 - Resistência à Compressão Simples	66
IV.6 - Índice de Reatividade de Thompson (1966) ...	68
IV.7 - Índice de Suporte Califórnia	69
IV.8 - Análise Estatística	90
IV.8.1 - Correlações Estatísticas entre Área Específica e Resistência à Compressão Simples	90
IV.8.2 - Correlações Estatísticas entre Área Específica e Índice de Suporte Califórnia	104
CAPÍTULO V - CONCLUSÕES	139
V.1 - Conclusões Parciais	139
V.1.1 - Cal	139
V.1.2 - Áreas Específicas	139
V.1.3 - Sistema Solo Laterítico-Cal	140
V.1.4 - Análise Estatística	141
V.2 - Conclusão Final	142

CAPÍTULO VI - SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	143
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	144
APÊNDICE I - Método do Permeâmetro de Blaine	156
APÊNDICE II - Método do Permeâmetro de Fisher	160
APÊNDICE III - Método de Ensaio Utilizado para Determinação da Resistência à Compressão Simples	166
APÊNDICE IV - Método de Ensaio para Determinação do Índice de Suporte Califórnia	169

CAPÍTULO I

I.1 - Introdução

Tradicionalmente em geotécnica a determinação da reatividade do sistema solo-cal é medida através da sistemática proposta por Thompson (1966). Esta sistemática é definida como sendo a diferença entre a resistência à compressão simples do solo estabilizado menos a resistência à compressão simples do solo no estado natural. Estes valores são definidos na massa específica aparente seca máxima e na umidade ótima após um período de cura de 28 dias a temperatura de 22°C. Esta sistemática tem sido frequentemente utilizada quando do estudo da reatividade de solos lateríticos com cal e outros aditivos (Queiroz de Carvalho e Cabrera (1979), Queiroz de Carvalho (1979), Aflitos (1981) e Costa et alii (1986)). A Grande desvantagem deste método é que exige um excessivo trabalho laboratorial para sua determinação, não havendo qualquer previsão dos valores obtidos, sendo frequentemente ensaiados solos totalmente inadequados, o que é uma perda de tempo.

Esta abordagem típica de Mecânica dos Solos tem sido recentemente muito criticada e vem sofrendo grandes modificações com a introdução dos princípios básicos de engenharia e ciências dos materiais que foram responsáveis pelos grandes progressos obtidos nos campos de metais, polímeros (plásticos) e finalmente dos materiais cerâmicos que só recentemente começaram a utilizar amplamente esta nova sistemática. Nos últimos anos tem-se procurado relacionar a microestrutura dos materiais em suas diversas escalas com seu desempenho durante

seu processamento e uso, Machado e Ferreira (1986) e Nóbrega e Guimarães (1981). Na sistemática tradicional os solos são estabilizados com cal, cimento, asfalto e polímeros e outros aditivos químicos, sem um conhecimento prévio da sua adequabilidade. Modernamente com base em características relativas a microestrutura tem-se procurado selecionar previamente os solos mais adequados a um dado procedimento, sendo desta maneira evitado um trabalho de laboratório longo, cansativo e em muitos casos, desnecessário.

Em trabalhos prévios de Machado e Ferreira (1987), ficou evidenciado que a área específica tem uma importância fundamental para determinação da reatividade de solos lateríticos estabilizados com cal, quando submetido a sistemática proposta por Thompson (1966), entretanto, como os trabalhos realizados foram preliminares, tornou-se necessário um estudo mais amplo de modo a confirmar os resultados inicialmente obtidos. Como no Brasil o parâmetro de Thompson (1966) não é utilizado para dimensionamento de pavimentos flexíveis e não flexíveis e sim o Índice de Suporte Califórnia, procurou-se também correlacioná-lo com a área específica para melhor conhecer o comportamento mecânico dos solos lateríticos. Deve-se salientar que o Índice de Suporte Califórnia tem sido recentemente muito criticado em relação a diversos aspectos como por exemplo, tratar-se de uma determinação em amostra confinada após saturação e pelo fato da ruptura do solo não se dar de maneira similar a que ocorre nos pavimentos.

Nesta dissertação propõe-se uma nova sistemática para determinação da atividade pozolânica de solos lateríticos estabilizados com cal, correlacionando-se informações relativas

a área específica determinada pelos métodos do permeâmetro de Blaine e Fisher, inicialmente com a resistência à compressão simples determinada pelo método de Thompson (1966) e posteriormente com o Índice de Suporte Califórnia, determinado se gundo metodologia do DNER.

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

II.1 - Introdução

Este capítulo foi dividido em três partes. Na primeira parte é feita uma ampla revisão sobre a conceituação de solos lateríticos, mostrando sua diversificação e complexidade. Na segunda parte é feito um estudo sobre comportamento dos solos lateríticos estabilizados com aditivos, com uma abordagem dos trabalhos realizados no Brasil e exterior, dando ênfase as principais reações que ocorre no sistema solo-cal. Na terceira e última parte, é feito um estudo sobre área específica, onde é mostrada sua influência nas propriedades de engenharia e nas interações solo-aditivos.

II.2 - Conceituação de Solos Lateríticos

Esta revisão sobre conceituação de solos lateríticos, baseia-se em diferentes interpretações de acordo com conceitos utilizados em agronomia, geologia, mineralogia e geotécnica.

Em agronomia os solos lateríticos são representados por dois sistemas de classificação chamados de latosolos e solos podzólicos de acordo com Embrapa (1980). Essas duas classes correspondem respectivamente aos oxissolos e ultissolos determinado pela Taxonomy (1975).

Os oxissolos (latossolos) são conceituados como sendo solos de cores amareladas, escuras, cinzas e vermelhas, cober-

to por vegetação nativa, deficiente em micronutrientes com exigência de abundante fertilização especialmente com materiais ricos em fósforo. A exploração assume aspecto extremamente ariscado em certa área, cujas chuvas torrenciais deixam os solos completamente nus. Experiência adquirida, indica que o seu potencial para produção de fibras e alimentos é muito superior ao admitido em termos atuais, quer no Brasil, quer no centro da África. Área selecionada destes solos, tem demonstrado possuir alta produtividade quando submetido ao manejo apropriado.

Os ultisolos (solos podzólicos) são conceituados como sendo solos de cor vermelha amarelado, de baixa porosidade, localizados principalmente em regiões que predominam longas estações de crescimento e umidade farta, que assegura produção agrícola compensadora. Com aplicação adequada de fertilizantes químicos, estes solos tornam-se bastante produtivos. Nos Estados Unidos, os melhores ultisolos competem bem com os alfisolos na categoria de solos agrícolas de primeira classe.

Classificações e/ou conceituações mais recente dos oxissolos e ultisolos, estão discutidas no Progress Report (1981-1985) do comitê internacional de solos tropicais, na qual são abordados os seguintes aspectos: textura dos solos, porosidade, geologia, cores e drenagem.

Em geologia, solo laterítico é conceituado como sendo solos que provém da ação de intemperismo (físico ou químico), geralmente básica de clima tropical. O intemperismo físico apresenta efeitos de processo mecânico, como abrasão, expansão e concentração; por outro lado, o intemperismo químico é rela

cionado com a decomposição das rochas e formação de novos minerais, destacando os processos de hidratação, hidrólise, solução e carbonatação (Lyon Associates, 1971).

O intemperismo tropical e laterização, segundo Gidiga su (1976), envolvem essencialmente alteração química e físico-químico e/ou transformação de materiais de formação das rochas, incluindo materiais ricos, principalmente em minerais argilosos do tipo 1:1 e constituintes lateríticos (Fe, Al, Ti e Mn). Os três principais estágios dos processos de intemperismo são os seguintes:

a) o primeiro estágio (decomposição) é caracterizado pela destruição físico-química dos minerais primários e a libertação dos elementos constituintes (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O , etc), os quais aparecem em simples formas iônicas;

b) o segundo estágio (laterização) envolve lixiviação, sob condições apropriadas de drenagem, de sílica e bases combinadas e a relativa acumulação ou enriquecimento superficial de óxidos e hidróxidos de sesquióxidos (principalmente Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2). As condições do solo sob as quais os vários elementos são encontrados, solúveis e removidos através da lixiviação ou combinação com outras substâncias, parecem depender principalmente do pH da água da superfície e das condições de drenagem, Loughnam (1969);

c) o terceiro estágio (desidratação ou dessecação), envolve parcial ou completa desidratação (algumas vezes envolvendo endurecimento) de materiais ricos em sesquióxidos e minerais secundários. A desidratação de óxido de ferro coloidal hidratado envolve perdas d'água e a concentração e crista

linização de ferro coloidal amorfo dentro dos minerais de ferro cristalino compacto na seguinte sequência: limonite, goetita e goetita com hematita, Hamilton (1964).

Na mineralogia, solo laterítico é conceituado como sendo um solo que contém grandes percentagens de sílica, alumínio e óxido de ferro amorfos e cristalinos, podendo conter ainda arranjos de goetita, hematita e quartzo. O argilomineral predominante é a caulinita, podendo conter um pouco de ílita mas nunca montmorilonita (Ferreira, 1963). Outros constituintes mineralógicos importantes formadores dos solos lateríticos, são os que não possuem base de silicatos primários, mas podendo possuir uma apreciável quantidade de quartzo e caulinita.

A mais recente conceituação foi sugerida por Shellmann (1983), segundo o qual os minerais formadores dos solos lateríticos são provenientes da rocha onde o teor de ferro e/ou alumina é mais alto que o de sílica e mais baixo do que na rocha mãe simplesmente caulinizada e, consiste predominantemente de goetita, hematita, hidróxidos de alumínio, caulinita (ou argilomineral do mesmo grupo) e quartzo.

Em geotecnia o sistema de classificação de solos comumente usado pelo engenheiro civil, foi desenvolvido para os solos de região temperada, e por esta razão eles tem limitações quando aplicada para solos de região tropical. Entretanto, como a conceituação/classificação dos solos lateríticos é bastante complexa, o comitê internacional de solos tropicais relaciona três sistemas de classificações para uso na mecânica dos solos que são:

- a) classificações químicas, pedológicas e morfológi -

cas;

- b) classificações ortodoxas;
- c) classificações não ortodoxas.

As classificações químicas, pedológicas e morfológicas baseiam-se principalmente na geologia e pedologia, e encontram-se exaustivamente discutidas no Progress Report (1985) do comitê internacional de solos tropicais. Em se tratando da classificação químicas, Winterkorn e Chandrasenkharan (1951), conceituou os solos lateríticos de acordo com a relação molecular sílica/sesquióxidos (S/R). Embora vários pesquisadores, entre os quais Van de Voort (1950) e Bawa (1957), criticassem esta relação, outros recomendam seu uso. Um exemplo de aceitação desta relação (S/R) é o Brasil através do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). Outras classificações baseadas na geologia foi proposta por Little (1967, 1969), segundo o autor os solos lateríticos provenientes de alto grau de intemperismo (decomposição total) é de grande utilidade para uso em suporte de fundação. Pesquisas similares para outras classificações estão discutidas nos trabalhos de Ruddock's (1969), Vargas (1969), Dure e Patton (1971).

As classificações ortodoxas baseiam-se nas análises de distribuições granulométricas e nos limites de Atterberg, entretanto sua utilização nos métodos tradicionais para classificação de solos temperados é bastante dificultada devido as diferenças existentes entre as frações das partículas tamanho argila, silte e areia. Devido esta dificuldade, Valerga et alii (1970). propõe que no sistema unificado de classificação fosse indexado um novo índice para solo laterítico relativo a fração tamanho areia, pedregulho, silte e argila e ao índi

ce de plasticidade. Após extensivo estudo nas características elásticas dos solos lateríticos, Medina e Preussler (1980, 1982) classificaram os solos de acordo com uso em estrada. Este método proposto pelos autores, baseia-se nas seguintes propriedades: granulométrica, plasticidade e Índice de Suporte Califórnia. Pesquisas similares para outras classificações, estão discutidas nos trabalhos de Varga (1982) e Lal e Brindras (1981).

As classificações não ortodoxas baseiam-se no comportamento das partículas e em outras propriedades que possam ajudar na conceituação do solo. De acordo com Tuncer (1976), a massa específica real pode classificar os solos lateríticos em aluminosos e ferruginosos, dependendo dos valores, que seriam até 3,05 e mais do que 3,05 para a laterita ser designada aluminosa e ferruginosa respectivamente. Queiroz de Carvalho (1981) estudando os solos lateríticos estabilizados com cal, ou seja, o índice de reatividade, classificou-os em solos não reativos, solos de baixas reatividades e solos altamente reativos, sendo que estes valores dependem do índice de reatividade. Outra classificação importante baseada nas características mecânicas foi pesquisada por Nogami e Villibor (1981) após longo estudo com solos tropicais. Segundo os autores através dos testes de Mini-MCV (Misture Condition Valor, Person (1976)) e perda de peso após imersão, pode-se explicar o comportamento dos solos lateríticos e dos não lateríticos. Pesquisas similares para outras classificações estão discutidas nos trabalhos de Lohnes e Demirel (1973) e Graft-Johnson et alii (1969).

A literatura revisada mostra que existe dificuldade

básica de unificar a conceituação de solo laterítico devido a sua complexidade e diversificação, uma vez que os pesquisadores dos diversos ramos da ciência se interessaram direta ou in diretamente em cada grupo, seja ele composto por agrônomos , químicos, mineralogistas ou mesmo engenheiros civis, sem se preocuparem em atingir um consenso com relação ao problema de conceituação e classificação de laterita ou solo laterítico . Como por exemplo, o conceito e/ou classificação utilizada na engenharia civil baseado na relação molecular sílica/sesquióxidos tem limitações consideráveis, principalmente por se tratar de um critério químico. Por outro lado, as classificações normalmente utilizadas em geotecnia (notadamente a unificada e a HRB) tem apresentado resultados questionáveis, visto que os parâmetros utilizados nestas classificações além de não serem interpretados adequadamente (como é o caso do parâmetro de plasticidade), foram gerados por métodos de ensaios de repetibilidade limitada, quando aplicados aos solos de regiões tropicais. Já na agronomia, o sistema compreensivo de classificação dos solos lateríticos se baseia na fertilidade e na produção agrícola sem se preocupar em outras informações que satisfaçam a outros usos. Para os geologistas, a classificação dos solos lateríticos é baseada em formação e origem do solo, preocupando-se um pouco com os novos minerais formadores sem levar em consideração o tamanho da fração argila, relação sílica/sesquióxidos e concrecionamento que são muito utilizados na mecânica dos solos. E finalmente, devido a complexidade dos solos lateríticos, os sistemas de classificações normalmente utilizados pelos engenheiros civis, mostram a necessidade de serem adaptados a realidade do solo, con

forme concluiu recentemente Queiroz de Carvalho (1985).

Resumindo: sempre que se procura caracterizar um solo laterítico, frequentemente são usados conceitos de diferentes campos de conhecimento, resultando em conceituações longas, complexas e que geralmente não atingem o objetivo desejado.

II.3 - Comportamento dos Solos Lateríticos Estabilizados com Aditivos.

A estabilização de solos com aditivos, tem-se tornado algumas vezes, a solução técnica econômica para os solos que nem sempre atendem as especificações de serviços quando utilizados in natura ou mesmo misturados com outros materiais inertes.

Dentre os diversos tipos de aditivos usados no processamento de estabilização, a cal é empregada na melhoria das propriedades dos solos argilosos, em regiões de clima temperado. No entanto, sua utilização em solos lateríticos é um assunto ainda não totalmente esclarecido, existindo muitas contradições relacionadas com as propriedades do sistema solo-cal. A cal quando é adicionada aos solos, provoca reações que se traduzem por modificações, frequentemente muito importantes e benéficas as propriedades mecânicas, tais como: plasticidade, expansão, retração, resistência à compressão simples e aumento de suporte.

As interações solo-cal se dão de diferentes maneiras e tem diferentes interpretações dependendo do autor considerado. Segundo Ingles (1968), as principais interações são:

- a) reação de troca de cátions;
- b) floculação;
- c) reação de carbonatação;
- d) reação de cimentação aluminosa ou ferruginosa;
- e) reação de micro-fricção via cristalização e
- f) reação

de concentração de íons. A reação de troca de cátions ocorrem com a eletronegatividade das partículas do solo sendo compensada por íons de carga contrária, ou seja, cátions que alongam-se pela adsorção catiônica. A reação de carbonatação ocorrem com a presença de CO_2 do ar natural após reação do solo tratado com alcalinos. A reação de cimentação aluminosa ou ferruginosa ocorrem com a presença de novas fases aluminossilicatos do solo tratado com alcalis (por exemplo, argila tratada com cal, caulinita tratada com gipsita ou potássio); laterita natural; solidificação dos grãos cimentícios de alumínio. A reação de micro-fricção via cristalização ocorrem com os novos minerais de hábitos alongados podendo agir como reforço mecânico (exemplo, fibras de vidros, plásticos, cimento asbesto e solo cimento). A reação de concentração de íons ocorrem frequentemente com nível ótimo de aditivos, os quais acima deste, o ganho de resistência é pouco marcante.

Segundo Diamond e Kinter (1969) e Queiroz de Carvalho (1979a), os principais mecanismos nas interações solo-cal são: a) troca de cátions e floculação; b) carbonatação e c) reação pozolânica. Esta abordagem, frequentemente encontrada na literatura, será feita de forma detalhada muito embora apresente-se simplificada em relação a anteriormente apresentada.

A) Troca de Cátions e Floculação

Ao entrar em contato com sistema solo-água, os elementos da cal dissociam-se em cátions cálcio e ânions hidróxila, iniciando-se um processo de troca de cátions, onde os íons cálcio substituem os íons mais fracos existentes, ocorrendo ainda aglomeração adicional de cátions em torno das partículas do argilomineral, resultando um balanceamento das cargas

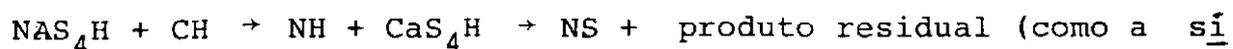
negativas das argilas. O resultado é a floculação e agregação das partículas do argilomineral.

B) Reação de Carbonatação

A reação de carbonatação da cal ocorre com o gás carbônico do ar, e nas minúsculas bolhas gasosas absorvidas pela mistura, refazendo o carbonato primitivo do que resulta a expansão de volume e maior compactação da mistura solo-cal. O produto obtido, além de não ser considerado um forte agente cimentício quando comparado com os silicatos e aluminatos, tem sua formação dificultada em face da baixa porosidade apresentada por grande parte dos solos, o que dificulta a penetração do gás carbônico, indispensável ao processo de carbonatação.

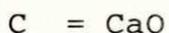
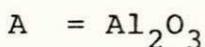
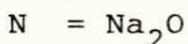
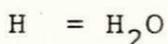
C) Reação Pozolânica ou Cimentação Difusa

No processo de reação secundária, o ganho de resistência do solo aumenta principalmente devido as reações químicas entre a cal e os minerais argilosos. São ainda bastantes discutidas as características, natureza e mecanismo de formação desse gel, entretanto, diversos autores concordam em afirmar que os produtos resultantes destas reações são basicamente silicatos e aluminatos de cálcio hidratados, similares em natureza aos componentes cimentícios encontrados no cimento hidratado Portland. Neste sistema, as hidroxilas dissociadas contribuem para elevar o pH do solo, o que resulta em uma maior facilidade para reação do cátion cálcio, com a sílica e a alumina, em face da dissociação destes, no meio alcalino formado. Esta reação pode ser representada da seguinte maneira:



lica é removida progressivamente, cálcio, aluminato e alumina são formados residualmente).

onde:



Além das reações básicas já descritas, estudos específicos revelam (Cabrera e Nwakanma (1979)) que nos solos lateríticos tratados com cal, podem ser formados compostos de ferro, como por exemplo, cálcio aluminato de ferro ou cálcio silicato de ferro. Com relação ao processo em si, existem diversas opiniões que detalham as diversas etapas da reação solo-cal. Por exemplo, Eades, Nichols e Grim (1962), sugeriram que devido ao elevado pH do sistema solo-cal, resultante da adição da cal, a estrutura do argilomineral é dissociada, liberando sílica e alumina para reação pozolânica. Por outro lado, Diamond e Kinter (1965), postularam que a reação envolve a dissolução das arestas das partículas do argilomineral, seguida da precipitação dos produtos de reação. É possível também que as reações ocorram pela combinação de soluções e precipitações juntamente com processos químicos superficiais, tais como hidratação e cristalização. Cabrera e Nwakanma (1970), estudando o mecanismo solo laterítico-cal, mostraram que o mecanismo da reação, era resultante de um processo de difusão controlada.

A reatividade do sistema solo laterítico-cal tem sido

objeto de pesquisas em todo mundo, principalmente nos países africanos. Segundo Hayter e Cairns (1966), aditivação da cal aos solos lateríticos provoca mudanças nas propriedades de engenharia, como por exemplo, aumento de resistência à compressão simples e aumento no Índice de Suporte Califórnia, e que o ganho de resistência destes solos estabilizados, dependem do teor de cal, tipo, tempo de cura, temperatura, umidade e densidade. Estes mesmos autores comparando o ganho de resistência da amostra de solo laterítico estabilizado com cal e cimento, com iguais percentagens de estabilizantes e tempo de cura de 21 dias com 7 dias de imersão, verificaram que a resistência da mistura solo-cal foi inferior a da mistura solo-cimento.

Lyon Associates Inc. (1971), após efetivarem um extensivo estudo das propriedades e desempenho de solos lateríticos da África, reportam que utilizando cal para estabilizar aqueles solos, obtiveram crescimento na resistência e durabilidade com a elevação na percentagem de cal na mistura, bem como uma considerável redução no índice de plasticidade. Referem-se também que os solos estudados (de várias partes da África), responderam de diferentes formas à adição da cal. Harty e Thompson (1973) referindo-se aos fatores que afetam a reação pozolânica de solos tropicais e subtropicais em solos classificados como oxisolos e utisolos, após a realização de análise estatística, relatam que parâmetros como: teor de sílica/alumina, não afetam significativamente a reatividade à cal para os oxisolos. Enquanto a reatividade à cal nos utisolos foi significativamente afetada pelo teor de sílica, coeficiente sílica/sesquióxidos e teor de ferro. Justificam a diferença no comportamento dos utisolos e oxisolos como decorrente do intemperismo a que os solos foram submetidos. Nos oxisolos, o índice sílica/ses-

quióxidos mostrou-se significativa com índice de intemperismo. Para os ultisolos o pH foi melhor correlacionado. Como conclusão deste estudo estes pesquisadores relataram que os solos tropicais e subtropicais, são solos intemperizados e que a reatividade à cal não poderia ser prevista através de uma única propriedade, mas embasado no conhecimento de outras propriedades intrínsecas do solo.

Ferro (1976) trabalhou com solos lateríticos do estado da Paraíba aditivados com 3,0% e 5,0% de cal, curados por período de 7 dias e um dia de imersão. Nesse estudo foi verificado as características de plasticidade e resistência à penetração do Índice de Suporte Califórnia. Desses resultados verificou-se que o solo de Nova Floresta foi quem obteve maior ganho de resistência. E em sua conclusão afirma que este solo poderá ser utilizado sem restrições como material de base rodoviária.

Ola (1977), pesquisando solos lateríticos da Nigéria, objetivando detectar o potencial da estabilização com cal nestes solos, relata que a adição de cal melhora as características de engenharia dos solos como: acentuado aumento do limite de plasticidade e leve aumento no limite de liquidez com consequente redução do índice de plasticidade, crescimento da resistência à compressão simples e Índice de Suporte Califórnia. Sugeriu que a elevação dos valores da resistência, deve-se a provável decorrência da formação de agentes cimentícios silicatos e/ou aluminatos de cálcio.

Queiroz de Carvalho (1979a), estudando as propriedades que afetam a estabilização de solos lateríticos do Nordeste do Brasil, com cal, concluiu que os limites de Atterberg, te

or de argila, massa específica aparente seca máxima, teor total de sílica, alumina e óxido de ferro, óxido de ferro amorfo, entre outros não são estatisticamente significantes na reatividade à cal desses solos, influenciando no entanto de diferentes formas na mesma. Por outro lado, são muito importantes pela sua significância estatística, na reatividade à cal o teor de sílica amorfa, em maior amplitude que os demais, o teor total de alumina na fração argila (isto na forma cristalina e amorfa), o pH e a capacidade de troca de cátions dependendo do pH, (CTC pH₁₀ - CTC pH₇).

Queiroz de Carvalho (1979b) pesquisando solos lateríticos dos estados do Nordeste do Brasil aditivados com 1,5% , 3,0% e 6,0% de cal, curados por período de 28 dias em câmara úmida com 100% de umidade relativa a uma temperatura de 22°C ± 2°C, objetivando classificá-lo de acordo com a sistemática proposta por Thompson (1966), concluiu que os solos lateríticos do Estado da Paraíba são classificados como solos de baixa reatividade, devido sua resistência à compressão simples variar de 490 KPa a 470 KPa respectivamente.

Cabrera e Nwakanma (1979) estudando um método para determinar o índice de reatividade pozolânica dos solos vermelhos tropicais, baseado em um modelo teórico da difusão controlada proposta por Jander (1928), da qual obteve-se uma constante da reação do sistema, concluíram que a equação poderá ser expressa da seguinte maneira:

$$A_i = K n^x$$

onde:

A_i = índice de reatividade;

K = velocidade constante;

n = percentagem da fração tamanho argila;

x = constante dependendo do tipo de material.

Segundo os autores, os valores de atividade pozolânica variam respectivamente de $0,12 \times 10^{-4}$ /dia a $4,08 \times 10^{-4}$ /dia, sendo proposto um valor mínimo de $A_i = 0,75 \times 10^{-4}$ /dia como limite entre os solos pozolânicos e não pozolânicos.

Nóbrega e Guimarães (1981) pesquisando latossolo vermelho escuro do Estado de São Paulo, objetivando detectar o potencial da estabilização com cal nestes latossolos, relatam que adição da cal provoca um achatamento na curva de compactação devido as reações imediatas na superfície das partículas, a qual protege os microagregados impedindo a sua total destruição, mantendo-se ainda uma certa porosidade na mistura solo/cal responsável pelos valores da massa específica aparente seca máxima mais baixa. Estes mesmos autores verificaram que adição da cal ao latossolo tem um valor significativo no aumento do Índice de Suporte Califórnia.

Nóbrega (1981), estudando a estabilização de um latossolo rão com cal, concluiu que a aditivção deste solo desencadeia reações físico-química, localizadas nas superfícies de contato, os quais se sucedem neoformações mineralógicas (formação de alumina e silicatos de cálcio), onde os resultados obtidos dependem das condições de execução (composição química e mineralógica do solo) e da microestrutura inicial do material argiloso.

Aflitos (1981), pesquisando solos lateríticos da região Norte e Nordeste do Brasil estabilizados com 1,0%, 4,0%, 7,0% e 10,0% de cal, curados por período de 27 dias em câmara úmida e imerso em água por um dia, relata que a adição de cal melhora as características de engenharia dos solos como: acentuando o aumento do limite de plasticidade, um leve aumen

to no limite de liquidez e crescimento da resistência à compressão simples.

Costa et alii (1986), trabalhando com solos lateríti-
cos estabilizados com 1,5%, 3,0%, 4,5% e 6,0% de cal da re-
gião Nordeste do Brasil, concluíram que a reatividade à cal
embora se correlacione diretamente com os parâmetros de com
pactação e fração tamanho argila, é altamente correlacionado
com os componentes amorfos sílica e alumina. Estes mesmos au
tores verificaram neste trabalho que não existe um tempo óti
mo de cura para o sistema solo-cal.

Queiroz de Carvalho (1981), estudando diversos solos
lateríticos do Estado da Paraíba e Pernambuco, no estado natu-
tal e após aditivação com cal, através da sistemática propos-
ta por Thompson (1966), concluiu que os solos com reatividade
menor do que 250 KPa é considerado como sendo solo de fraca
reatividade, solo com reatividade maior do que 250 KPa e me-
nor do que 500 KPa é considerado como sendo de baixa reativi-
dade, solo com reatividade maior do que 500 KPa e menor do que
1000 KPa é considerado como sendo solo de média reatividade,
e solo com reatividade maior do que 1000 KPa e menor do que
2000 KPa é considerado como sendo solo de alta reatividade.

Cabrera e Ramezaniapour (1988), pesquisando a reativi-
dade de uma pozolâna natural e uma microsíllica estabilizada
com cal, curadas por períodos de 0, 2, 6, 12, 21, 30, 48, 72,
120 e 216 horas, verificaram que o índice de reatividade é
rápido nos primeiros dois dias e diminui com o tempo. Os auto
res observaram também que a reatividade da cal na microsí-
lica é muito superior a da pozolâna natural. A razão para es
ta considerável diferença pode ser atribuída a proporção da
fase amorfa da sílica e alumina na pozolâna natural e na mi

crosílica e na área específica destes mesmos materiais. Neste mesmo trabalho os autores propuseram um modelo para o índice de reatividade baseado na constante de difusão de Jander e na lei de Fick, segundo eles, os valores encontrados variam de 16×10^{-4} /dia a 19×10^{-4} /dia.

Após uma análise conjunta dos trabalhos relativos ao comportamento de solos lateríticos estabilizados com cal, observamos que:

- a) estabilização de solo com cal não é prática corrente em engenharia rodoviária;
- b) a reatividade do sistema solo-cal tem sido muito estudada em escala de laboratório com resultados promissores;
- c) a cinética de reação do sistema solo-cal é muito lenta, implicando em tempos de cura excessivamente longos, em que do ponto de vista de aplicação em rodovia é pouco prático;
- d) os mecanismos relativos a interação solo-cal encontra-se bem estudados sendo bem conhecidas as suas diversas etapas;
- e) faz-se necessário o desenvolvimento de pesquisa visando acelerar a cinética de reação do sistema solo-cal, de forma a se obter resultados adequados mais rapidamente, neste quadro o "dopping" com hidróxido de sódio (soda cáustica) e silicato de sódio pode ser promissor e economicamente viável.

Há portanto, necessidade do desenvolvimento de pesquisa visando implementar as possibilidades de uso de solos lateríticos estabilizados com cal em geotecnia e mais especificamente na construção de rodovias.

II.4 - Trabalhos Realizados com Área Específica de Solos Lateríticos.

Área específica (surface area) é conceituada como sendo a área externa das partículas de um sólido pulverulento, referido à unidade de massa e mais raramente à unidade de volume. É normalmente expressa em m^2/g ou cm^2/g , Souza Santos, (1975). Atualmente, os métodos mais utilizados para determinação de área específica são: a) método de adsorção de gases em baixa temperatura, sendo também conhecido como método de BET; b) método de adsorção de azul de metileno; c) método granulométrico, a partir da composição granulométrica, determinada por sedimentação; d) método microscópico, usualmente determinado através da microscopia eletrônica por transmissão ou varredura; e) método do permeâmetro de Fisher que utiliza-se da amostra padrão fornecida pela "National Bureau Standards"; f) método do permeâmetro de Blaine, que utiliza-se da amostra de cimento Portland fornecida pela Associação Brasileira de Cimento Portland.

Em se tratando de solos lateríticos, a determinação da área específica é uma questão muito complicada devido a escassez de informações sobre os referidos solos. No entanto, considerando que a ordem de grandeza das áreas específicas dos solos lateríticos é a mesma dos caulins, Brito (1984) utilizou a mesma sistemática anteriormente utilizada por Ferreira et alii (1972) para os caulins da província pegmatítica da Borborema.

Nas determinações das áreas específicas de solos lateríticos da região Nordeste brasileira, Brito (1984), encon -

trou as seguintes faixas de valores: de 0,0929 à 0,3140 m²/g para o método de Blaine; de 15,6086 à 84,2864 m²/g para o método de azul de metileno; de 0,2812 à 1,3258 m²/g para o método de Fisher; de 0,056 à 0,145 m²/g para o método do diâmetro médio de Mellor; de 0,068 à 0,180 m²/g para o método do diâmetro geométrico; de 0,063 à 0,163 m²/g para o método do diâmetro aritmético; de 14,92058 à 42,63914 m²/g para o método de BET, nesse mesmo trabalho foi verificado a interdependência entre os vários métodos de determinações de áreas específicas pelo método de regressão linear simples. Os resultados mostraram que os melhores coeficientes de correlação obtidos, foram entre área específica determinada pelo método do azul de metileno e o método geométrico (diâmetro médio de Mellor, aritmético e geométrico).

Outros trabalhos relacionados com área específica da fração fina de solo laterítico e outras propriedades deste mesmo solo, foram desenvolvidas por vários pesquisadores. Segundo Machado e Ferreira (1986a), as áreas específicas determinadas pelo método do BET, correlacionam-se estatisticamente com as características de plasticidade dos solos lateríticos após tratamento térmico (25°C, 60°C e 110°C), utilizando-se os aparelhos de Casagrande e o Cone de Penetração.

Ferreira, Santos e Machado (1986), estudando estatisticamente a interdependência entre a área específica determinada por diversos métodos e algumas propriedades (análise química, capacidade de troca de cátions (CTC) a pH_{7,0} e pH₁₀, diferença de capacidade de troca de cátions (CDTC) entre pH_{10,0} e pH_{7,0}) dos solos lateríticos provenientes da região Norte e Nordeste do Brasil, concluíram que: a) a cor-

relação linear ($y = A + Bx$) descreve adequadamente a influência /relação entre área específica e as propriedades selecionadas dos solos estudados; b) em ordem decrescente com relação ao número de correlações significativas entre área específica e as outras variáveis consideradas no decorrer desse trabalho temos: método azul de metileno, método do BET, método granulométrico e os métodos do permeâmetro de Blaine e Fisher.

Ferreira, Lima e Ferreira (1986), pesquisando estatisticamente a influência da área específica determinados por diversos métodos nos parâmetros de compactação (massa específica aparente seca máxima e umidade ótima) e no Índice de Suporte Califórnia, resumiu que: área específica determinada pelo método azul de metileno é a que obteve melhor nível de significância com a massa específica aparente seca máxima; área específica determinada pelo método do BET apresentou excelente correlação com o teor de umidade ótima e o Índice de Suporte Califórnia.

Ferreira, Bezerra e Ferreira (1986), analisando estatisticamente a interdependência entre área específica determinada por diversos métodos (BET, Blaine, Fisher, azul de metileno, diâmetro de Mellor, diâmetro geométrico e diâmetro aritmético) e os componentes amorfos sílica, alumina e óxidos de ferro de alguns solos lateríticos do Nordeste brasileiro, concluíram que todos os métodos de área específica, com exceção do BET, são correlacionados com os componentes amorfos sílica e alumina.

Machado e Ferreira (1987a), pesquisando a influência da área específica na estabilização solo laterítico-cal atra

vés de um estudo bibliográfico, verificaram que área específica determinada pelo método do permeâmetro de Blaine é a que melhor correlaciona-se com as propriedades solo-cal. Estes mesmos autores estudando a influência da área específica na aditivção de solos lateríticos com cal através de quatro tipos de regressões simples (lineares, logarítmicas, exponenciais e potenciais), concluíram que apesar do número de amostras ser bastante restrito o método do permeâmetro de Fisher é o que melhor correlaciona-se com as propriedades dos solos lateríticos estabilizados com cal. Este trabalho evidenciou experimentalmente que a determinação da área específica pelo método do permeâmetro de Fisher conduz aos melhores resultados do que os obtidos pelo método do permeâmetro de Blaine como previsto anteriormente por Machado e Ferreira (1987b).

Machado e Ferreira (1987c), estudando quatro tipos de ajustamentos estatísticos entre vários métodos de determinações de áreas específicas da fração fina de solos lateríticos provenientes da região Nordeste, concluíram que área específica determinada pelo método do permeâmetro de Blaine foram as que apresentaram melhores resultados com os quatro tipos de ajustamentos com as áreas específicas determinadas pelos métodos de Fisher e granulométrico. Restringindo que as correlações entre as áreas específicas determinada pelo método granulométrico não tem qualquer aplicabilidade prática, pois, todos os dados foram obtidos a partir da mesma curva granulométrica.

Conciani e Ferreira (1988), pesquisando uma nova metodologia para determinação da área específica da fração fina

de solos lateríticos do Norte e Nordeste do Brasil, empregando medição direta em micrografias eletrônicas com uso de planímetro, relatam que este método poderá ser usado para determinação de área específica, devendo, contudo, esse estudo ser ampliado de forma a se obter resultados mais significativos.

Após análise conjunta dos trabalhos realizados com área específica da fração fina de solos lateríticos relacionados com outras propriedades deste mesmo solo, observamos que:

- a) existe ainda um campo insuficientemente explorado, relativo a microestrutura dos solos;
- b) a microestrutura tem uma importância fundamental no comportamento dos solos;
- c) as áreas específicas necessitam ser correlacionadas com as propriedades dos solos lateríticos estabilizados com cimento, polímeros e asfalto, de forma a se ter um conhecimento mais amplo da sua influência;
- d) apesar das pesquisas efetuadas serem insuficientes, verifica-se que área específica surge como dado fundamental para pré-seleção dos solos lateríticos a serem estabilizados com cal.

De uma maneira resumida, esta revisão bibliográfica, evidenciou em importantes fatos: a) a conceituação de solos lateríticos é muito complexa e varia muito, dependendo do campo de conhecimento considerado, esta dificuldade será de difícil resolução, podendo ser sanada através de convenções internacionais que possam regular o assunto. Neste sentido tentativas tem sido feitas pelo comitê internacional de so

los tropicais com resultado ainda insuficiente; b) no que se refere ao comportamento deste solo estabilizado com cal, observa-se que existe um conhecimento adequado aos seus meca - nismos, sendo a maior dificuldade atual causada pela lenti - dão da reação pozolânica. Este problema será brevemente objeto de pesquisas de forma a solucionar esta dificuldade pe lo uso do "dopping" como hidróxido de sódio e silicato de sô dio; c) a área específica por ser um dado fundamental em qualquer processo onde reações químicas ocorram, certamente será um dado básico auxiliar para pré-seleção dos solos late ríticos mais adequados a estabilização com cal e outros adi tivos. Numa etapa mais avançada, procurar-se-a trabalhar com modelagem, de forma a se conhecer a intrincada gama de fato res que influem na reatividade do sistema solo-aditivos.

CAPÍTULO III

MATERIAIS E MÉTODOS

III.1 - Introdução

Neste capítulo trataremos do detalhamento relativos aos materiais e métodos utilizados no decorrer desta pesquisa. Os materiais são amostras de solos lateríticos, provenientes da região Norte e Nordeste do Brasil e juntamente com sua localização, estão incluídos dados relativos as propriedades caracterizantes e de engenharia, com base nos trabalhos (Borba, 1981; Lima, 1983; Costa, 1983; Brito, 1984; Diniz, 1984; Ferreira e Lucena, 1984). Os métodos de ensaios constantes de norma da ABNT, DNER, BS, etc., serão apenas citados, enquanto que os métodos não constantes desta normalização serão detalhadamente descritos, em qualquer dos casos, modificações eventuais e métodos de ensaios serão detalhados.

III.2 - Materiais

III.2.1 - Cal

Foi utilizada uma cal hidratada Ca(OH)_2 , conhecida comercialmente como "Calcigra", fabricada pela Companhia Industrial Gramame, localizada na BR-101 - Sul - Km 13, Alhandra, Paraíba.

A cal chegou ao laboratório acondicionada em sacos de papel Kraft, 3 camadas, tendo sido retirada da embalagem

original e colocada em sacos plásticos que foram lacrados em seguida, a fim de não alterar as propriedades da mesma.

III.2.2 - Solos

Foram selecionados dezesseis amostras de so los vermelhos tropicais (solos lateríticos) provenientes dos Estados da Paraíba, Piauí, Maranhão e Pará. O critério para seleção destas amostras foi baseada na formação geológica e clima, como também na viabilidade de utilização do potencial destas ocorrências em obras de engenharia.

A Figura III.2.2.1, mostra a localização das jazidas onde foram retiradas as amostras, estas jazidas receberam a denominação da localidade mais próxima como mos tra a Tabela III.2.2.1. A coleta das amostras, efetuou-se no horizonte B, devido o horizonte A apresentar húmus e/ou material fino de cor escura (expurgo). Os constituintes amorfos, composição química, análise granulométrica e limites de Atterberg dos solos estudados encontra-se nas Tabelas III.2.2.2 III.2.2.3, III. 2,2.4 e III 2,2.5.

A seguir serão apresentadas algumas caracte rísticas de cada jazida.

Figura III.2.2.1 e Tabela III.2.2.1 - Localização e Identificação das Jazidas Seleccionadas para Pesquisa.



FIGURA III.2.2.1 - LOCALIZAÇÃO DAS JAZIDAS SELECIONADAS PARA A PESQUISA

JAZIDA/ESTADO	ABREVIACÃO
JOÃO PESSOA-PB	JPPB
SAPÉ-PB	SPPB
AREIA-PB	ARPB
CUITÉ-PB	CTPB
TEIXEIRA-PB	TEPB
MOSQUEIRO-PA	MOPA
MAGUARÍ-PA	MAPA
BURITÍ DOS LOPES-PI	BUPI
PICOS-PI	PIPI
GILBUÉS-PI	GIPI
TERESINA-PI	TEPI
CASTELO-PI	CAPI
PRESIDENTE DUTRA-MA	PDMA
VARGEM GRANDE-MA	VGMA
VILA SARNEY-MA	VSMA
SÃO LUIZ-MA	SLMA

Tabela III.2.2.1 - Identificações Utilizadas para as
Jazidas Seleccionadas.

SOLOS	% SiO ₂	% Al ₂ O ₃	% Fe ₂ O ₃
JPPB	11,60	7,15	1,10
SPPB	11,60	4,79	3,45
TEPB	9,58	3,20	4,20
CTPB	12,20	4,17	0,80
ARPB	10,30	4,32	0,49
MOPA	13,86	5,29	0,75
MAPA	13,91	8,00	1,25
BUPI	12,36	6,43	0,65
PIPI	15,17	9,28	0,95
GIPI	6,50	2,52	0,30
TEPI	12,87	6,28	0,70
CAPI	10,90	5,17	1,01
PDMA	13,43	5,01	1,48
VGMA	9,55	3,61	0,80
VSMA	14,34	6,11	0,62
SLMA	11,34	5,58	1,48

TABELA III.2.2.2 - Constituintes Amorfos nos Solos Estudados.

SOLOS	% SiO ₂	% Al ₂ O ₃	% Fe ₂ O ₃
JPPB	25,74	19,52	36,62
SPPB	24,53	16,87	43,88
TEPB	99,41	1,03	0,64
CTPB	35,46	17,87	33,93
ARPB	29,51	21,87	29,52
MOPA	26,62	19,23	39,49
MAPA	36,68	15,40	33,10
BUPI	60,25	11,12	22,29
PIPI	43,59	13,96	32,10
GIPI	75,76	11,29	2,71
TEPI	36,73	17,56	32,10
CAPI	26,34	15,17	43,49
PDMA	28,71	17,14	38,96
VGMA	37,67	12,44	35,15
VSMA	41,34	9,54	38,90
SLMA	40,40	9,51	36,85

TABELA III.2.2.3 - Composição Química dos Solos Estudados.

Fração: 2 cm em diâmetro.

SOLO	% SiO ₂	% Al ₂ O ₃	% Fe ₂ O ₃	RELAÇÃO SÍLICA/SESQUIÓXIDOS
JPPB	17,39	15,57	3,52	1,66
SPPB	11,20	10,00	2,78	1,61
TEPB	4,21	3,28	1,39	1,72
CTPB	14,49	12,18	2,82	1,76
ARPB	28,22	10,49	3,34	3,80
MOPA	10,93	9,14	1,38	1,85
MAPA	5,12	3,93	1,34	1,82
BUPI	1,10	0,94	0,27	1,68
PIPI	1,68	1,57	0,94	1,32
GIPI	1,26	0,49	0,15	3,66
TEPI	6,34	5,33	1,24	1,76
CAPI	6,02	5,18	1,38	1,69
PDMA	1,75	1,38	0,44	1,79
VGMA	2,84	2,17	0,36	2,01
VSMA	3,33	3,08	1,15	1,48
SLMA	10,23	9,05	2,45	1,64

TABELA III.2.2.4 - Composição Química da Fração Tamanho Argila em Relação ao Solo Total.

IDENTIFICAÇÃO DOS SOLOS ES TUDADOS.	GRANULOMETRIA : PORCENTAGENS PASSANDO								LIMITES DE ATTERBERG		
	PENEIRAS E mm								LL %	LP %	IP %
	19	9,5	4,8	2,0	0,42	0,074	0,05	0,002			
JPPB	100,0	90,3	76,2	62,0	45,9	20,7	16,9	11,5	35,6	24,0	11,6
SPPB	100,0	86,3	69,9	50,3	33,6	16,0	12,6	6,7	34,5	25,6	8,9
TEPB	100,0	99,6	97,3	86,2	58,8	30,0	20,7	16,6	38,8	27,3	11,5
CTPB	100,0	91,4	76,5	57,7	43,5	20,1	16,8	10,8	31,2	22,8	8,4
ARPB	100,0	86,2	70,4	52,8	38,0	18,0	15,3	11,3	41,6	31,3	10,3
MOPA	100,0	90,0	74,7	68,4	63,1	43,0	35,9	21,5	42,6	29,0	13,6
MAPA	100,0	88,9	64,7	47,4	39,8	24,5	20,9	17,6	27,2	20,9	6,3
BUPI	100,0	89,6	75,0	66,4	61,8	36,6	24,8	12,9	21,2	16,8	4,4
PIPI	100,0	85,1	51,4	31,8	30,0	22,0	13,6	6,0	23,1	NP	NP
GIPI	100,0	87,0	75,1	65,7	56,4	51,4	44,1	4,1	35,2	25,7	9,5
TEPI	100,0	96,0	88,9	78,1	64,4	30,3	24,2	16,4	29,3	19,8	9,5
CAPI	100,0	80,6	57,6	42,0	38,8	21,4	14,8	9,8	26,5	19,2	7,3
PDMA	100,0	80,5	51,7	29,7	22,9	16,2	13,4	9,1	31,7	23,7	8,0
VGMA	100,0	90,4	68,1	49,6	44,9	34,4	23,4	12,7	34,7	24,3	10,4
VSMA	100,0	86,5	61,6	57,4	51,8	27,0	23,0	13,5	24,6	18,0	6,6
SLMA	100,0	88,1	75,6	67,2	60,6	24,1	17,0	8,5	16,9	NP	NP

TABELA III.2.2.5 - Análise Granulométrica (Lima, 1983) e Limites de Atterberg (Carvalho Borba, 1981).

NP - Não Plástico

III.2.2.a- Características da Jazida Teresina (TEPI)

1. Localização

A jazida de Teresina está localizada à margem direita da BR-316, a 8 km da cidade de Teresina, estado do Piauí.

2. Formação Geológica

A jazida está inserida na formação pedra de fogo constituída de arenitos, siltitos e folhelhos intercalados em proporções variadas: os arenitos são brancos e amarelos claros, enquanto os siltitos e folhelhos são de tonalidade vermelho-púrpuro verde, pouco micáceos e de baixa fissilidade; brancos de silex também estão presentes; calcários brancos, leitões de gipsita e aragorita são mais frequentes no topo da formação.

3. Composição Mineralógica

As análises mineralógicas (composição química, difração de raios X, microscopia eletrônica e análise térmica) indica que a amostra é constituída por: caulinita, quartzo, goetita, hematita, anatásio, matéria orgânica, Ferreira e Lucena (1984).

III.2.2.b - Características da Jazida Burití dos Lopes (BUPI)

1. Localização

A jazida de Burití dos Lopes está localizada à margem

da Rodovia BR-345, à 3,5 km da cidade de Burití dos Lopes, no Piauí.

2. Formação Geológica

A jazida está inserida na formação pimenteiras, constituídas de folhelhos de cores variegadas, predominando o vermelho e cinza escuro, micáceos, contendo nódulos leitões de eolitos piritosos. Intercalações de arenitos e siltitos que variam de branco a cinza claro, são comuns. A formação data da idade devoniano inferior.

3. Composição Mineralógica

As análises mineralógicas (composição química, difração de raios X, microscopia eletrônica e análise térmica) indica que a amostra é constituída por: caulinita, quartzo, goetita, Ferreira e Lucena (1984).

III.2.2.c - Característica da Jazida Gilbuês (GIPI)

1. Localização

A jazida de Gilbuês está localizada em corte rodoviário a 3,5 km da cidade de Gilbuês, à margem esquerda da Rodovia BR-315.

2. Formação Geológica

A jazida está inserida na formação pedra de fogo ,

constituída de arenitos, siltitos e folhelhos intercalados em proporções variadas; os arenitos são brancos e amarelo - claros, enquanto os siltitos e folhelhos são de tonalidade vermelho-púrpura verde, pouco micáceos e baixa fissilidade, brancos de silex também estão presentes; calcários brancos, leitos de gibsita e aragonita são mais frequentes no topo da formação.

3. Composição Mineralógica

As análises mineralógicas (composição química, difração de raios X, microscopia eletrônica e análise térmica) indica que a amostra é constituída por: caulinita, quartzo, microclina, serécita, goetita e hematita, Ferreira e Lucena (1984).

III.2.2.d - Características da Jazida Castelo (CAPI)

1. Localização

A jazida de Castelo está localizada à margem direita da Rodovia BR-316 a 5 km da cidade de Castelo no Piauí.

2. Formação Geológica

A jazida está inserida na formação cabeças, constituida de arenitos de cores claras, branco e cinza amarelados, às vezes chegando a vermelho, médio grosseiro, frequentemente conglomerático e muito pouco argiloso. O arenito apresenta estratificações cruzadas. Em alguns locais apresenta intercala-

ções de siltitos e arenitos finos, laminados também de cores claras. A formação data da idade devoniano médio e superior.

3. Composição Mineralógica

As análises mineralógicas (composição química, difração de raios X, microscopia eletrônica e análise térmica), indica que a amostra é constituída por: caulinita, quartzo, goetita e anatásio, Ferreira e Lucena (1984).

III.2.2.e - Características da Jazida Presidente Dutra (PDMA)

1. Localização

A jazida de Presidente Dutra está localizada à margem direita da Rodovia BR-336, km 185.

2. Formação Geológica

A jazida está inserida na formação itapecurú, constituída quase que totalmente de arenitos de cores diversas, com predominância do cinza róseo e vermelho com estratificações cruzadas e silificações. Intercalam-se leitos de siltitos e folhelhos cinza esverdeados e avermelhados. Em alguns locais aparece um conglomerado basal contendo seixos de basalto alterado. A formação consta como do cretáceo inferior.

3. Composição Mineralógica

As análises mineralógicas (composição química, difra

ção de raios X, microscopia eletrônica e análise térmica) in
dica que a amostra é constituída por: caulinita, quartzo, goe
tita, hematita, anatásio e matéria orgânica, Ferreira e Luce
na (1984).

III.2.2.f - Características da Jazida Vargem Grande (VGMA)

1. Localização

A jazida Vargem Grande está localizda à margem esquer
da da Rodovia BR-222 a 22,3 km da cidade de Itapecurú-Mirim.

2. Formação Geológica

A jazida está inserida na formação Itapecurú consti-
tuida quase que totalmente de arenitos de cores diversas, com
predominância do cinza, róseo e vermelho, com estratificações
cruzadas e silificações. Intercalam-se leitos de siltitos e
folhelhos cinzas esverdeados e avermelhados. Em alguns locais
aparece um conglomerado basal contendo seixos basalto altera
do. A formação consta do cretáceo inferior.

3. Composição Mineralógica

As análises mineralógicas (composição química, difra
ção de raios X, microscopia eletrônica e análise térmica) in
dica que a amostra é constituída por: caulinita, quartzo, goe
tita, hematita, anatásio e matéria orgânica, Ferreira e Luce
na (1984).

III.2.2.g - Características da Jazida São Luiz (SLMA)

1. Localização

A jazida de São Luiz está localizada à margem direita da Rodovia BR-135, a 0,6 km de São Luiz.

2. Formação Geológica

A jazida está inserida na formação Itapecurú, constituída quase que totalmente de arenitos de cores diversas com predominância do cinza róseo e vermelho, com estratificações cruzadas e silificações. Intercalam-se leitos de siltitos e folhelhos cinza-esverdeados e avermelhados. Em alguns locais aparece um conglomerado basal contendo seixos de basalto alterado. A formação consta como do cretáceo inferior.

3. Composição Mineralógica

As análises mineralógicas (composição química, difração de raios X, microscopia eletrônica e análise térmica) indica que a amostra é constituída por: caulinita, quartzo, goetita, gibsitita, anatásio e matéria orgânica, Ferreira e Lucena (1984).

III.2.2.h - Característica da Jazida João Pessoa (JPPB)

1. Localização

A jazida de João Pessoa está localizada no Conjunto dos Bancários a 2 km do Campus Universitário.

2. Formação Geológica

A jazida está inserida na formação barrêiras, constituída de sedimentos poucos consolidados, de estratificação predominantemente horizontal, a fossilíferos, apresentando se dimentos areno-argilosos, argilo-arenosos, arenosos, argila de coloração variegada, intercalando muitas vezes com cam das de seixos rolados e concreções lateríticas. Esta formação data do terciário.

3. Composição Mineralógica

As análises mineralógicas (composição química, difração de raios X, microscopia eletrônica e análise térmica) in dica que a amostra é constituída por: caulinita, quartzo, go tita, hematita, anatásio e matéria orgânica, Ferreira e Luce na (1984).

III.2.2.i - Características da Jazida Teixeira (TEPB)

1. Localização

A jazida de Teixeira está localizada à margem esquer da da Rodovia PB-306, ligando Teixeira à Princesa Isabel, a 8 km da cidade de Teixeira.

2. Formação Geológica

A jazida está inserida na formação da "Serra dos Mo rais", constituída de sedimentos argilosos, arenitos silicififi

cados, arenitos ferruginosos fortemente cimentados por limonita, além de cangas lateríticas, repousando sobre terrenos pré-cambriano. A formação é datada do terciário.

3. Composição Mineralógica

As análises mineralógicas (composição química, difração de raios X, microscopia eletrônica e análise térmica) indica que a amostra é constituída por: caulinita, quartzo, mica, microclina, anatásio e matéria orgânica, Ferreira e Lucena (1984).

III.2.2.j - Características da Jazida Areia (ARPB)

1. Localização

A jazida de Areia está localizada à margem esquerda da Rodovia PB-079 a 5 km da cidade de Remígio.

2. Formação Geológica

A jazida está inserida predominantemente por rochas gnaises e migmatitos e data do pré-cambriano.

3. Composição Mineralógica

As análises mineralógicas (composição química, difração de raios X, microscopia eletrônica e análise térmica) indica que a amostra é constituída por: caulinita, quartzo, goetita, anatásio e matéria orgânica, Ferreira e Lucena (1984).

III.2.2.1 - Características da Jazida Cuité (CTPB)

1. Localização

A jazida de Cuité está localizada à margem direita da Rodovia PB-149 a 700 m da cidade de Cuité.

2. Formação Geológica

A jazida está inserida na formação "Serra dos Martins" constituído de sedimentos argilosos, arenitos ferruginosos, fortemente cimentados por limonita além de cangas lateríticas, repousando sobre terrenos pré-cambriano. A formação é datada do terciário.

3. Composição Mineralógica

As análises mineralógicas (composição química, difração de raios X, microscopia eletrônica e análise térmica) indica que a amostra é constituída por: caulinita, quartzo, goetita, hematita, anatásio e matéria orgânica, Ferreira e Lucena (1984).

III.2.2.m - Características de Jazida Sapé Marí (SPPB)

1. Localização

A jazida Sapé Marí está localizada à margem direita da Rodovia PB-055 a 6 km da cidade de Marí.

2. Formação Geológica

A jazida estudada está inserida na formação barreiras e é constituída de sedimentos diversos pouco consolidados de estratificação horizontal e data do terciário.

3. Composição Mineralógica

As análises mineralógicas (composição química, difração de raios X, microscopia eletrônica e análise térmica) indica que a amostra é constituída por: caulinita, quartzo, goetita, anatásio e matéria orgânica, Ferreira e Lucena (1984).

III.2.2.n - Características da Jazida de Picos (PIPI)

1. Localiação

A jazida de Picos está localizada à margem direita da Rodovia BR-316 no quilômetro nº 231, Piauí.

2. Formação Geológica

A jazida estudada está inserida na formação cabeças . Sua pedologia é formada por latossolo vermelho amarelo, textura média de arenito, intercalada por argila. Data do devonia-no médio e superior.

3. Composição Mineralógica

As análises mineralógicas (composição química, difração de raios X, microscopia eletrônica e análise térmica) indica que a amostra é constituída por: caulinita, quartzo, goetita, anatásio e matéria orgânica, Ferreira e Lucena (1984).

ção de raios X, microscopia eletrônica e análise química) in
dica que a amostra é constituída por: caulinita, quartzo, goet
tita, hematita, anatásio e matéria orgânica, Ferreira e Lucen
a (1984).

III.2.2.0 - Características da Jazida de Mosqueiro (MOPA)

1. Localização

A jazida de Mosqueiro está localizada à margem direi
ta da Rodovia PA-17 no quilômetro nº 35 de Mosqueiro.

2. Formação Geológica

A jazida estudada está inserida na formação barreiras e é constituída de tipos litológicos que variam do argilito ao conglomerado, data do terciário.

3. Composição Mineralógica

As análises mineralógicas (composição química, difraç
ção de raios X, microscopia eletrônica e análise térmica) in
dica que a amostra é constituída por: caulinita, quartzo, hem
atita, goetita, anatásio e matéria orgânica, Ferreira e Lucen
a (1984).

III.2.2.p - Características da Jazida Maguari (MAPA)

1. Localização

A jazida de Maguari, está localizada à margem direita

da Rodovia BR-316 a 37 km do Município de Analide, Estado do Pará.

2. Formação Geológica

A jazida está inserida na formação barreiras, tipos litológicos que variam de argilito e conglomerados. Sua pedologia é formada por solos concrecionários lateríticos com textura argilosa e média, sua formação data do terciário.

3. Composição Mineralógica

As análises mineralógicas (composição química, difração de raios X, microscopia eletrônica e análise térmica) indica que a amostra é constituída por: caulinita, quartzo, goetita, anatásio e matéria orgânica, Ferreira e Lucena (1984).

III.2.2.q - Características da Jazida de Vila Sarney (VSMA)

1. Localização

A jazida de Vila Sarney está localizada à margem direita da Rodovia BR-135 a 6,4 km da cidade de São Luiz, Estado do Maranhão.

2. Formação Geológica

A jazida está inserida na formação Itapecurú constituída principalmente de arenitos no qual intercalam-se leitos

de folhelhos de cor cinza-esverdeados e vermelhos, data do cretáceo inferior.

3. Composição Mineralógica

As análises mineralógicas (composição química, difração de raios X, microscopia eletrônica e análise térmica) indica que a amostra é constituída por: caulinita, quartzo, hematita, goetita, anatásio e matéria orgânica, Ferreira e Lucena (1984).

III.3 - Métodos

III.3.1 - Preparação das Amostras

A) Área Específica

Para determinação da área específica, as amostras foram beneficiadas por via úmida em peneira ABNT nº 200 (0,074 mm) com objetivo de obter-se uma maior concentração da fração argila. Depois foram secas ao ar, utilizando-se um secador constituído de lâmpada incandescente que proporcionam uma temperatura em torno de 40°C, acelerando o processo de secagem ao ar. A seguir os solos foram desagregados em almofariz de porcelana e peneiradas por via seca em peneira ABNT nº 200 (0,074 mm) e posteriormente secas em estufa a 110°C até a massa constante e submetidas aos ensaios de área específica. A sequência das operações executadas para determinação da área específica é mostrada na Figura III.3.3.1a.

B) Massa Específica Aparente Seca Máxima

Para determinação da massa específica aparente seca máxima, as amostras foram preparadas de acordo com método DNER (1977) - ME 47/64 e DNER (1974) - ME 48/74, sendo que a peneira ABNT nº 4 (4,8 mm) foi substituída pela peneira ABNT 9,5 mm (3/8 pol). Justifica-se tal modificação em decorrência de uma melhor adequação às condições reais de uso, Aflitos (1981)

C) Resistência à Compressão Simples

Para determinação da resistência à compressão simples, as amostras foram secas em temperatura ambiente, posteriormente beneficiadas em peneira ABNT 9,5 mm (3/8 pol) e logo em seguida determinada a umidade higroscópica e colocada em sacos plásticos. A opção por partículas inferiores a 9,5 mm é para minimizar o efeito na variação da resistência à compressão simples, Queiroz de Carvalho (1981). A sequência das operações executadas na pesquisa é mostrada na Figura III.3.3.1c. A descrição detalhada da metodologia está apresentada no Apêndice III.

D) Índice de Suporte Califórnia

A preparação das amostras utilizadas para ensaio do Índice de Suporte Califórnia, foram efetuadas de acordo com método DNER (1974) - ME 49/74. Nesta pesquisa utilizou-se o material passando na peneira ABNT 19,1 mm (3/4 pol) sem levar em consideração o material nela retido. Uma das ra

zões deste procedimento deve-se a existência de grande quantidade de concreções de diâmetro superior a 19,1 mm nos solos estudados, tornando-se na maioria dos casos, impraticável a utilização do método recomendado pelo DNER. A sequência das operações executadas na pesquisa é mostrada na Figura III.3.3.1d. A descrição detalhada da metodologia está apresentada no Apêndice IV.

III.3.2 - Cal

Os ensaios de caracterização da cal utilizada na pesquisa foram executados de acordo com método da ABNT (1971) - MB-342. Os resultados reportados são a média aritmética de duas determinações, que não difere de mais de 3,0% dos valores obtidos isoladamente. Os resultados são apresentados em porcentagem com quatro algarismos significativos.

III.3.3 - Determinação das Áreas Específicas

Após tratamentos adequados das amostras, determinou-se as áreas específicas pelos métodos do permeâmetro de Blaine e Fisher.

A) Permeâmetro de Blaine

As áreas específicas foram obtidas segundo o método da ABNT (1966) - MB-348, usando-se como padrão a amostra fornecida pela Associação Brasileira de Cimento Portland, de área específica igual a 0,342 m²/g e massa específica igual a 3,42 g/cm³. Os resultados reportados são a média

aritmética de duas determinações, que não difere mais de 3,0% dos valores obtidos isoladamente. Os resultados são apresentados em (m^2/g) com três algarismos significativos. A descrição detalhada da metodologia está apresentada no Apêndice I.

B) Permeâmetro de Fisher

As determinações das áreas específicas foram realizadas na Superintendência de Pelotização da Companhia Vale do Rio Doce. Usou-se como padrão, amostra fornecida pela NBS "National Bureau of Standards" de área específica igual a $0,3030 m^2/g$ e de massa específica igual a $3,15 g/cm^3$. Os resultados reportados são a média aritmética de duas determinações, que não difere mais de 3,0% dos valores obtidos isoladamente. O equipamento utilizado foi um sub-calibrador de peneira Fisher modelo 95. Os resultados são apresentados em (m^2/g) com três algarismos significativos. A descrição detalhada da metodologia está apresentada do Apêndice II.

III.3.4 - Massa Específica Aparente Seca Máxima e Umidade Ótima.

A compactação dinâmica para determinação da massa específica aparente seca máxima e umidade ótima, foi realizada de acordo com método do DNER (1971) - ME-48/64. As amostras foram compactadas no estado natural e aditivadas com 3,0%, 6,0% e 9,0% de cal, com uma energia equivalente ao Proctor Normal ($6,0 kg.cm/cm^3$). Os resultados reportados são a média aritmética de duas determinações, que não difere mais de 3,0% dos valores obtidos isoladamente. Os resultados são apresentados em (kg/m^3) com quatro algarismos significativos.

III.3.5 - Resistência à Compressão Simples

A resistência à compressão simples dos solos lateríticos no estado natural e após estabilização com 3,0%, 6,0% e 9,0% de cal, em massa, foi determinada com as amostras compactadas estaticamente com uma energia equivalente ao Proctor Normal ($6,0 \text{ kg.cm/cm}^3$), na massa específica aparente seca máxima e umidade ótima da compactação dinâmica.

As amostras foram curadas em câmara úmida com 100% de umidade relativa por um período de 7 dias, 28 dias e 60 dias a uma temperatura de $22^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$. Para cada teor de cal foram preparados nove corpos de prova, sendo três para cada tempo de cura. Após o período de cura foi mensurado o comportamento dos corpos de prova através do ensaio de resistência à compressão simples não confinada, utilizando-se, para tal, uma prensa universal marca Testop de anel dinamométrico, com velocidade de deslocamento $0,127 \text{ cm/min}$.

Os resultados referem-se a média aritmética de três determinações não diferindo mais de 10% dos valores isolados. Aqueles valores que se afastaram mais de 10% da média, foram abandonados, sendo nova média determinada para os restantes dos valores, se não fosse possível nova média, o ensaio seria repetido. Os resultados são apresentados em (KPa) com quatro algarismos significativos.

III.3.6 - Índice de Reatividade de Thompson (1966)

A reatividade à cal dos solos lateríticos, foi avaliada utilizando-se a sistemática proposta por Thompson (1966), o qual define a reatividade à cal de um solo

como sendo a diferença da resistência à compressão simples do solo estabilizado menos a resistência à compressão simples do solo no estado natural. Os resultados são apresentados em (KPa) com quatro algarismos significativos.

III.3.7 - Índice de Suporte Califórnia

Os corpos de prova para ensaio do Índice de Suporte Califórnia foram moldados no estado natural e após aditivados com 3,0%, 6,0% e 9,0% de cal, em massa, com uma energia equivalente ao Proctor Normal (6,0 kg.cm/cm³) na umidade ótima e na massa específica aparente seca máxima, determinada no ensaio de compactação. Posteriormente os corpos de prova foram curados em câmara úmida com 100% de umidade relativa a uma temperatura de 22°C ± 2°C. Após a cura, os corpos de prova foram colocados quatro dias em imersão, com uma carga de 4,3 kg (10 lbs).

Para este ensaio foi utilizado o procedimento recomendado pelo método DNER (1974) ME-49/74, com exceção ao rompimento dos corpos de prova, que foram feitos na face superior e face inferior, para diminuir o número dos mesmos, com consequente economia de tempo e material. Os resultados são apresentados em percentagens com quatro algarismos significativos.

III.3.8 - Análise Estatística

Com os resultados obtidos para área específica, resistência à compressão simples e Índice de Suporte Ca

FIGURA III.3.3.1a, FIGURA III.3.3.1c e FIGURA III.3.3.1d -
FLUXOGRAMAS DAS ATIVIDADES/ENSAIOS DA PESQUISA

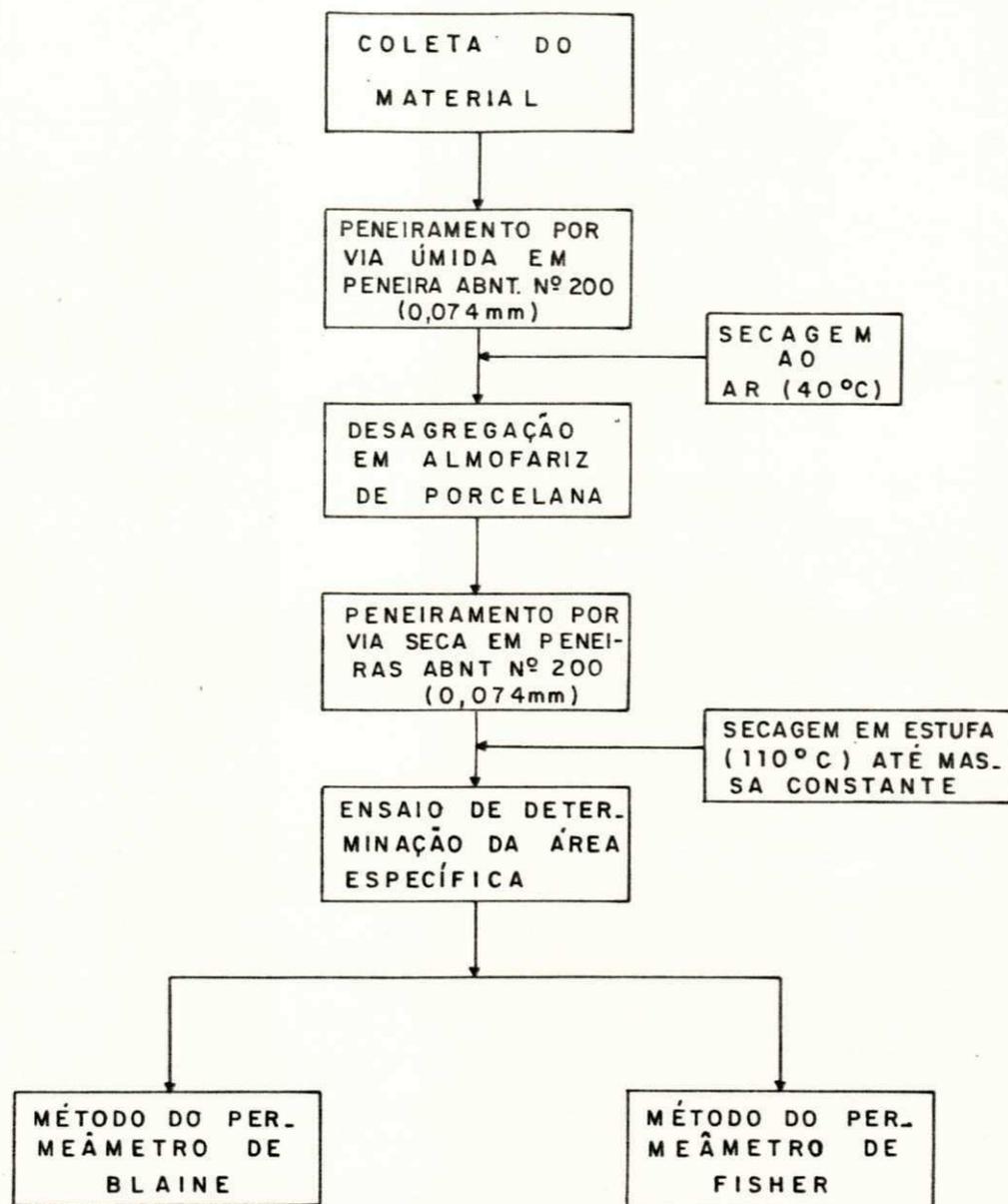


FIGURA 3.3.1a - FLUXOGRAMA DO PROCESSO DA DETERMINAÇÃO DA ÁREA ESPECÍFICA DA FRAÇÃO FINA DE SOLOS LATERÍTICOS DA REGIÃO NORTE E NORDESTE DO BRASIL.

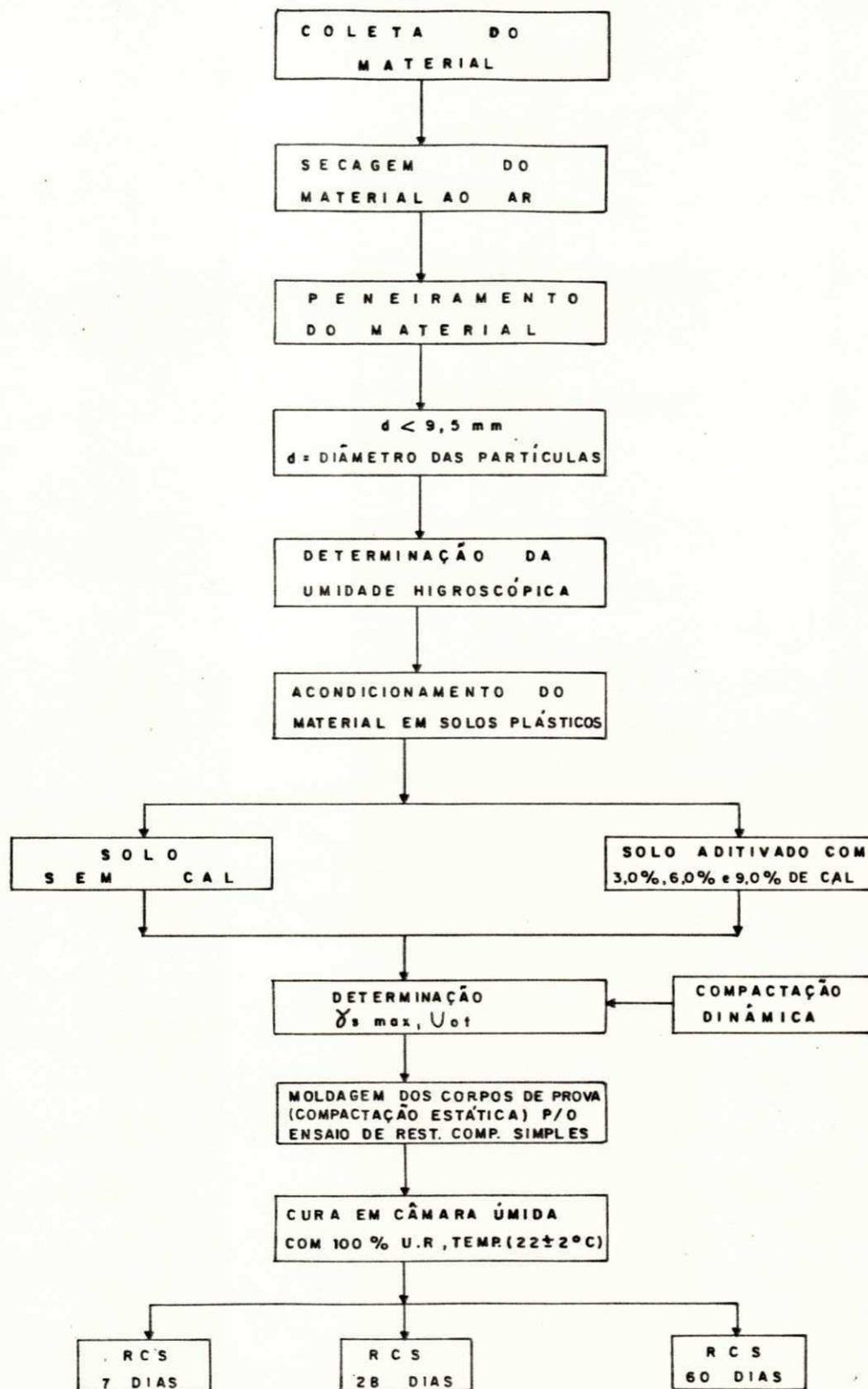


FIGURA 3.3.1c-FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES (RCS) DE SOLOS LATERÍTICOS NO ESTADO NATURAL E APÓS ADITIVAÇÃO COM CAL.

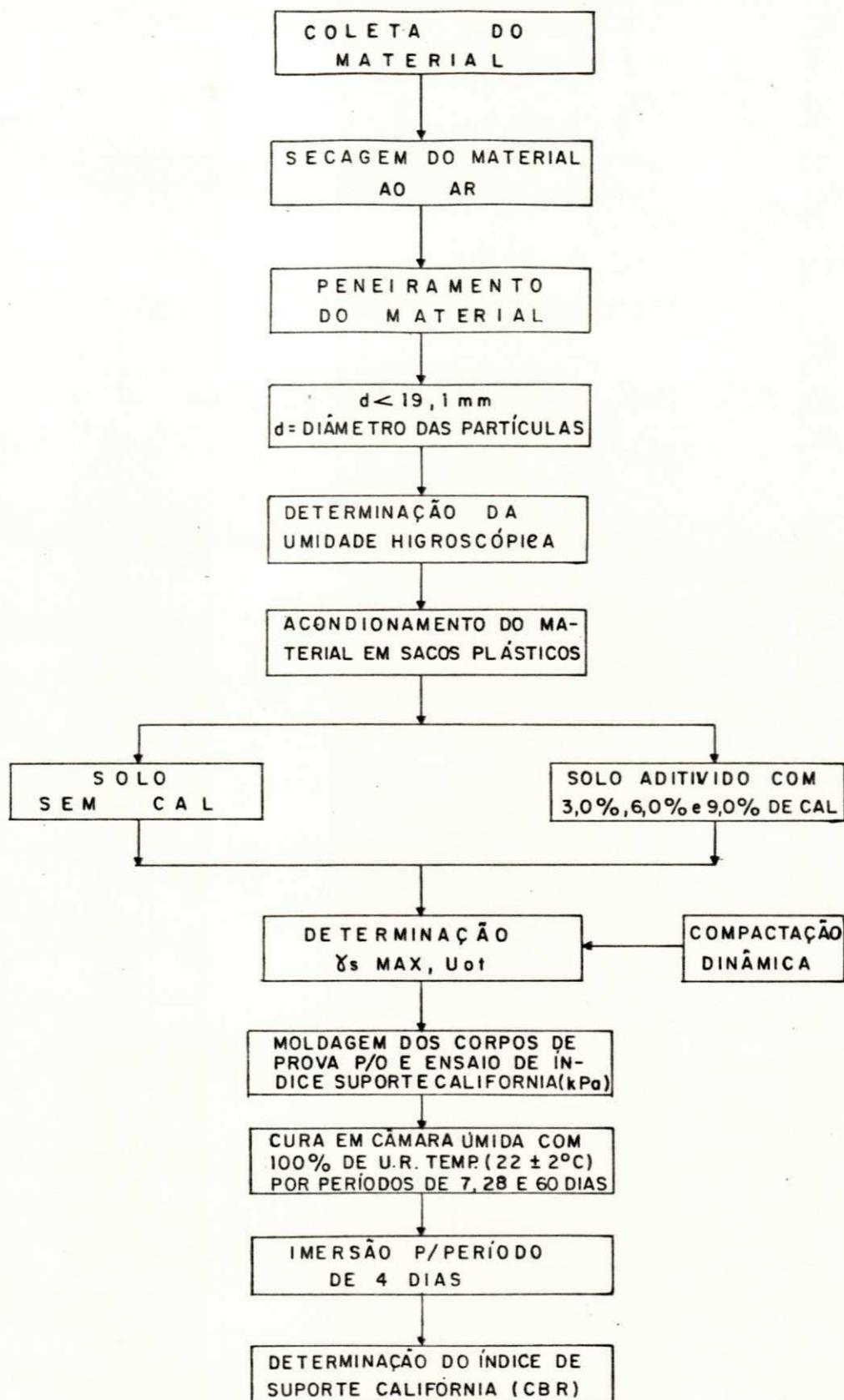


FIGURA 3.3.1d - FLUXOGRAMA DO PROCESSO DA DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA (CBR) DE SOLOS LATERÍTICOS NO ESTADO NATURAL E APÓS ADITIVAÇÃO COM CAL.

lifórnia dos solos lateríticos no estado natural e após estabilização com cal, foram efetuadas análises estatísticas a través de correlações simples lineares, logarítmicas, exponenciais e potenciais e as correlações lineares múltiplas, verificando-se a interdependência entre área específica e a resistência à compressão simples e o Índice de Suporte Califórnia. Essas análises foram processadas em computador IBM. Foi utilizado o programa SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) versão H (Nie et alii, 1975).

O Quadro III.3.3.8, relaciona os tipos de ajustamentos, com as respectivas equações utilizadas nesta dissertação, onde Y e X são respectivamente as variáveis dependentes e independentes, "B" a inclinação da reta e "A" a interseção com o eixo Y . A significância da correlação verifica-se através do coeficiente de correlação (R) e do nível de significância (α). O coeficiente de correlação expressa o grau de relacionamento entre as duas variáveis. Se não existe correlação entre as duas variáveis, o coeficiente de correlação é zero. Por outro lado, se existe a correlação perfeita, o coeficiente de correlação é igual a ± 1 . O nível de significância é o valor que representa o nível para o qual a relação entre duas variáveis é significativo. Um resultado é significativo se a probabilidade calculada é menor do que 0,05 ou 5% e, altamente significativa se a probabilidade calculada é menor do que 0,01 ou 1% (Spiegel, 1970).

A regressão linear múltipla expressa a relação entre duas ou mais propriedades dos solos, através da relação $Y = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots + a_nx_n + c$, representando a relação linear entre a propriedade Y e as propriedades dos

solos $x_1, x_2, x_3 \dots, x_n$, sendo Y e X respectivamente as variáveis dependente e independente. A significância da equação de regressão obtida e expressa por um fator denominado estatístico, i.é., nível de tolerância. Para cada nível de significância estabelecido, existem o F_e correspondentes, os quais são comparados com F_c calculado. Quando F_c for maior ou igual ao F_e indica que existem correlações significativas.

TIPO DE REGRESSÃO	EQUAÇÃO
Linear Simples	$Y = A + Bx$
Logarítmica	$Y = a + B \ln x$
Exponencial	$Y = Ae^{Bx}$
Potencial	$Y = Ax^B$
Múltipla Linear	$Y = A_1X_1 + A_2X_2 + \dots$ $A_nX_n + C$

Quadro - III.3.3.8 - Tipos de Ajustamentos e suas Equações.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÕES

IV.1 - Introdução

Este capítulo apresenta e discute os resultados obtidos para composição química da cal; da área específica, massa específica aparente seca máxima, umidade ótima, resistência à compressão simples, índice de reatividade de Thompson (1966) e Índice de Suporte Califórnia de solos lateríticos no estado natural e aditivados com 3,0%, 6,0% e 9,0% de cal, curados por períodos de 7 dias, 28 dias e 60 dias em câmara úmida com 100% de umidade relativa a uma temperatura de $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Como também os resultados das análises estatísticas através de correlações simples lineares, logarítmicas, exponenciais e potenciais e as correlações lineares múltiplas entre área específica e resistência à compressão simples e o Índice de Suporte Califórnia.

IV.2 - Cal

A cal hidratada utilizada neste trabalho evidencia ser uma cal essencialmente cálcica ($\text{CaO} = 56,00\%$). Pelo boletim da ABCP (1985) provavelmente trata-se de uma cal do tipo E. Outros contaminantes usualmente presentes tais como sílica e alumina estão em quantidade inferior a 1%, podendo-se afirmar que trata-se de cal aérea. Os alcalinos (K_2O e Na_2O)

estão presentes também em quantidade muito pequena. Outras de terminações, tais como SO_3 e CO_2 não foram realizadas, pois a cal havia sido recentemente produzida, tendo sido acondicionada em saco plástico para evitar sua carbonatação, o que garante sua qualidade para uso como aditivo. A composição química está apresentada no Quadro IV.2.1.

COMPOSIÇÃO	TEOR
CaO	56,00%
MgO	11,45%
SiO_2	0,88%
Al_2O_3	0,91%
Fe_2O_3	0,09%
Perda ao Fogo	29,97%
Na_2O	0,67%
K_2O	0,10%

Quadro IV.2.1 - Composição Química da Cal.

IV.3 - Área Específica

A Tabela IV.3.1 e a Figura IV.3.1 mostra os valores obtidos para áreas específicas da fração fina de solos lateríticos determinadas pelos métodos do permeâmetro de Blaine e Fisher.

Os resultados obtidos para as áreas específicas determinada pelo método de Blaine variam de $0,45 \text{ m}^2/\text{g}$ (PIPI) a

1,90 m²/g (JPPB). Estes resultados foram menores que os obtidos por Ferreira et alii (1972) para os caulins nordestinos, usando o Blaine nas mesmas condições, cuja faixa de valores está compreendida entre 1,27 m²/g a 3,66 m²/g, com exceção dos solos lateríticos PDMA e JPPB que apresentaram valores similares, e menores que os obtidos por Kyohara et alii (1974) para os caulins do Amazonas e Paraíba, usando o mesmo método com padrão de caulim, cujos valores situam-se entre 6,20 m²/g a 19,4 m²/g.

Os resultados obtidos para as áreas específicas determinadas pelo método de Fisher^(*) variam de 0,43 m²/g (PIPI) a 1,32 m²/g (JPPB). Estes resultados foram menores que os obtidos por Ferreira et alii (1978) e Ferreira et alii (1972) para os caulins nordestinos, usando o mesmo método como padrão de rubi perfurado, cuja faixa de valores situa-se entre 1,35 m²/g a 3,90 m²/g.

Uma análise conjunta dos resultados, mostra que os valores obtidos para área específica são da mesma ordem de grandeza. Esta similaridade resulta do fato de ambos os métodos operarem segundo o mesmo princípio, ou seja, o escoamento do ar em um meio poroso que é a amostra. O permeâmetro de Fisher pelo fato de ser constituído com uma tecnologia mais avançada operando com ar seco e fluxo de ar macanizado, além de um sistema automático de compactação da amostra, conduz a resultados mais confiáveis do que o permeâmetro de Blaine que não possui idêntido recurso.

(*) Dados de dez solos estão discutidos na dissertação de Brito (1984).

SOLO	ÁREA ESPECÍFICA (m ² /g)	
	BLAINE	FISHER
JPPB	1,90	1,32*
SPPB	0,76	0,67
TEPB	1,14	0,92*
CTPB	1,48	0,82*
ARPB	1,05	0,81*
MOPA	1,07	1,06
MAPA	1,18	0,97
BUPI	0,70	0,50*
PIPI	0,45	0,43
GIPI	0,29	0,28*
TEPI	1,25	1,22*
CAPI	1,05	0,85*
PDMA	1,29	1,23*
VGMA	0,68	0,50*
VSMA	0,82	0,82
SLMA	0,78	0,77*

TABELA IV.3.1 - Área Específica da Fração Fina de Solos Lateríticos.

* Dados retirados da dissertação de Brito (1984).

IV.4 - Efeito do Teor da Cal na Massa Específica Aparente Seca Máxima e na Umidade Ótima.

A Tabela IV.4.1, mostra os valores obtidos para massa específica aparente seca máxima e umidade ótima para os solos lateríticos no estado natural e após aditivacão com 3,0%, 6,0% e 9,0% de cal em massa.

Os resultados obtidos para massa específica aparente seca máxima e umidade ótima variam respectivamente de 1640 kg/m³ (MOPA) a 2100 kg/m³ (PIPI) e de 10,2% (CTPB) a 22,4% (MOPA) para os solos lateríticos no estado natural; de 1630 kg/m³ (MOPA) a 2015 kg/m³ (PIPI) e de 11,9% (PIPI) a 22,6% (MOPA) para os solos lateríticos aditivados com 3,0% de cal; de 1615 kg/m³ (MOPA) a 2020 kg/m³ (PIPI) e de 11,2% (PIPI) a 23,0% (MOPA) para os solos lateríticos aditivados com 6,0% de cal; de 1615 kg/m³ (TEPB) a 1965 kg/m³ (PIPI) e de 11,8% (PIPI) a 23,6% (MOPA) para os solos lateríticos aditivados com 9,0% de cal.

Observando de maneira geral, verifica-se que a adicão da cal aos solos lateríticos, aumentou o valor da umidade ótima e diminuiu o valor da massa específica aparente seca máxima com relação ao solo no estado natural, sendo mais acentuado os solos GIPI e MAPA. A razão para os solos lateríticos aditivados com cal comportarem-se desta maneira, atribui-se aos seguintes mecanismos: a cal causa floculação/agregação das partículas aumentando os vazios os quais reduzem a massa por unidade de volume, estes vazios também servem para reter mais água e conseqüentemente aumentar o valor do teor de umidade ótima, Nóbrega (1981).

SOLO	MASSA ESPECÍFICA APARENTE SECA MÁXIMA E UMIDADE ÓTIMA							
	$\gamma_0^{sm\acute{a}x}$ (kg/m ³)	U_{0Ot} (%)	$\gamma_3^{sm\acute{a}x}$ (kg/m ³)	U_{3Ot} (%)	$\gamma_6^{sm\acute{a}x}$ (kg/m ³)	U_{6Ot} (%)	$\gamma_9^{sm\acute{a}x}$ (kg/m ³)	U_{9Ot} (%)
JPPB	1790	18,2	1783	18,2	1780	19,5	1727	20,8
SPPB	1700	20,0	1640	21,8	1682	21,4	1655	21,2
TEPB	1720	19,0	1668	20,4	1620	21,8	1615	22,0
CTPB	1960	10,2	1860	14,2	1840	16,0	1795	15,8
ARPB	1670	20,5	1662	20,6	1661	20,4	1640	22,0
MOPA	1640	22,4	1630	22,6	1615	23,0	1625	23,6
MAPA	1790	19,2	1833	18,0	1839	17,0	1763	19,0
BUPI	1990	10,8	1932	12,8	1930	13,3	1927	13,2
PIPI	2100	12,2	2015	11,9	2020	11,2	1965	11,8
GIPI	1770	16,8	1780	15,4	1702	19,0	1725	16,4
TEPI	1756	16,7	1760	16,9	1770	17,0	1790	17,9
CAPI	1820	15,1	1788	17,8	1773	17,5	1764	18,4
PDMA	1860	16,6	1800	18,8	1803	17,6	1815	17,5
VGMA	1975	13,1	1930	14,7	1927	14,6	1907	14,7
VSMA	1970	13,4	1884	14,5	1895	14,4	1865	15,0
SLMA	1977	14,0	1879	16,9	1876	15,9	1874	15,2

TABELA IV.4.1 - Massa Específica Aparente Seca Máxima e Umidade Ótima de Solos Lateríticos no Estado Natural e Aditivados com 3,0%, 6,0% e 9,0% de Cal.

IV.5 - Resistência à Compressão Simples

A Tabela IV.5.1 e as Figuras de IV.5.1 a IV.5.16 mostra os valores obtidos para a resistência à compressão simples dos solos lateríticos no estado natural e após aditivação com 3,0%, 6,0% e 9,0% de cal, curados por períodos de 7 dias, 28 dias e 60 dias em câmara úmida com 100% de umidade relativa a uma temperatura de $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Os resultados obtidos para resistência à compressão simples dos solos lateríticos aditivados com 3,0% de cal, curados por períodos de 7 dias, 28 dias e 60 dias, variam respectivamente de: 99,2 KPa (PIPI) a 405,6 KPa (JPPB); de 113,8 KPa (PIPI) a 734,8 KPa (MOPA) e de 121,6 KPa (PIPI) a 605,2 KPa (MOPA). Para os solos lateríticos aditivados com 6,0% de cal, curados por períodos de 7 dias, 28 dias e 60 dias, os valores variam respectivamente de: 105,6 KPa (PIPI) a 535,6 KPa (MOPA); de 115,3 KPa (PIPI) a 911,3 KPa (JPPB) e de 160,7 KPa (PIPI) a 998,6 KPa (JPPB). Para os solos lateríticos aditivados com 9,0% de cal, curados por períodos de 7 dias, 28 dias e 60 dias, os valores variam respectivamente de 74,2 KPa (PIPI) a 457,8 KPa (TEPB); de 94,9 KPa (PIPI) a 941,0 KPa (TEPB) e de 108,0 KPa (PIPI) a 964,8 KPa (TEPB).

Observa-se que a adição da cal aos solos lateríticos, aumentou substancialmente o valor da resistência à compressão simples com relação aos solos lateríticos no estado natural, sendo que os valores para máxima resistência em termos percentuais aumentaram de: 116% (JPPB), 440% (MOPA) e 345% (MOPA) para os solos lateríticos aditivados com 3,0% de cal, curados por períodos respectivamente de 7 dias, 28 dias e 60 dias; e

SOLOS	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES (KPa)									
	RCS (Natural)	R ₃ CS (7 dias)	R ₃ CS (28dias)	R ₃ CS (60dias)	R ₆ CS (7 dias)	R ₆ CS (28dias)	R ₆ CS (60dias)	R ₉ CS (7 dias)	R ₉ CS (28dias)	R ₉ CS (60dias)
JPPB	157,9	405,6	532,6	520,0	474,0	911,3	998,6	422,2	692,7	725,7
SPPB	61,4	192,2	198,2	170,2	208,8	289,0	287,7	219,7	340,6	469,3
TEPB	205,0	206,0	350,0	330,6	348,0	575,0	465,0	457,8	941,0	964,8
CTPB	97,6	354,0	376,3	339,4	345,1	565,8	531,1	338,5	536,9	531,1
ARPB	155,8	209,0	334,8	330,9	295,7	387,7	348,8	258,5	502,7	484,5
MOPA	136,0	405,0	734,8	605,2	535,5	615,8	620,5	439,9	507,8	804,4
MAPA	160,8	166,3	169,5	152,6	291,1	570,4	580,9	170,7	289,4	527,8
BUPI	160,2	181,3	189,4	180,7	218,1	283,1	238,7	240,0	256,5	269,4
PIPI	46,4	99,2	113,8	121,6	105,6	113,5	160,7	74,2	94,9	108,0
GIPI	103,2	167,0	206,5	255,2	206,3	230,4	439,7	180,7	261,9	361,2
TEPI	180,0	260,6	392,5	382,2	320,0	650,3	680,7	356,0	670,2	639,0
CAPI	168,0	196,0	405,4	424,4	330,0	519,7	600,2	430,6	471,9	615,5
PDMA	236,0	210,0	420,0	447,0	330,6	806,4	906,8	380,9	680,7	780,6
VGMA	138,5	149,0	331,8	313,1	236,6	358,6	287,9	332,9	402,9	396,3
VSMA	95,8	339,0	429,8	376,0	388,4	417,6	394,4	369,5	371,7	372,9
SLMA	150,2	152,0	207,0	256,0	238,6	362,3	360,0	337,3	304,0	354,3

TABELA IV.5.1 - Resistência à Compressão Simples de Solos Lateríticos no Estado Natural e Aditivados com 3,0%, 6,0% e 9,0% de Cal, Curados por Períodos de 7 dias, 28 dias e 60 dias.

de 294% (MOPA), 447% (JPPB) e 532% (JPPB) para os solos lateríticos aditivados com 6,0% de cal, curados por períodos respectivamente de 7 dias, 28 dias e 60 dias; e de 123% (TEPB), 359% (TEPB) e 370% (TEPB) para os solos lateríticos aditivados com 9,0% de cal, curados por períodos respectivamente de 7 dias, 28 dias e 60 dias. A razão deste comportamento deve-se as diversas reações que ocorrem entre a cal e os solos lateríticos estudados como descrito na parte inicial deste trabalho.

Comparando-se os resultados obtidos nesta pesquisa com os de Queiroz de Carvalho (1979) e Costa et alii (1986), verifica-se que os resultados são perfeitamente similares resguardadas as diferenças existentes devido a problemas operacionais inerentes ao desenvolvimento de trabalhos de pesquisa experimental.

IV.6 - Índice de Reatividade de Thompson (1966)

A Tabela IV.6.1, mostra os valores obtidos para o índice de reatividade do sistema solo laterítico-cal, obedecendo a sistemática proposta por Thompson (1966), para os solos lateríticos aditivados com 3,0%, 6,0% e 9,0% de cal, curados por períodos de 7 dias, 28 dias e 60 dias em câmara úmida com 100% de umidade relativa a uma temperatura de $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Os resultados obtidos para o índice de reatividade do sistema solo laterítico-cal para os solos aditivados com 3,0% de cal curados por períodos de 7 dias, 28 dias e 60 dias variam respectivamente de: 1,0 KPa (TEPB) a 269,0 KPa (MOPA), de 8,7 KPa (MAPA) a 598,8 KPa (MOPA) e de 20,5 KPa (BUPI) a

469,2 KPa (MOPA). Para os solos lateríticos aditivados com 6,0% de cal e curados por períodos de 7 dias, 28 dias e 60 dias, os valores variam respectivamente de: 57,9 KPa (BUPI) a 399,5 KPa (MOPA); de 67,1 KPa (PIPI) a 735,4 KPa (JPPB) e de 78,5 KPa (BUPI) a 840,6 KPa (JPPB). Para os solos lateríticos estabilizados com 9,0% de cal, curados por períodos de 7 dias, 28 dias e 60 dias, os valores variam respectivamente de: 9,9 KPa (MAPA) a 303,9 KPa (MOPA); de 48,5 KPa (PIPI) a 736,0 KPa (JPPB) e de 61,6 KPa (PIPI) a 759,8 KPa (TEPB).

Uma análise conjunta dos resultados, mostra que os valores obtidos para o índice de reatividade de Thompson (1966), são melhores para os solos lateríticos estabilizados com 6,0% e 9,0% de cal, curados por períodos de 28 dias e 60 dias. Estes valores vem comprovar que a reação pozolânica no sistema solo laterítico-cal é uma reação muito lenta e que depende do teor de cal e tempo de cura. Comparando-se estes resultados com a classificação proposta por Queiroz de Carvalho (1979) para o índice de reatividade de Thompson (1966), observa-se que os solos lateríticos estudados são considerados como sendo de baixa para média reatividades, por possuírem um índice entre 250 a 1000 KPa, com exceção dos solos lateríticos PIPI, BUPI que são solos de muito baixa reatividade.

IV.7 - Índice de Suporte Califórnia

A Tabela IV.7.1 e as Figuras de IV.5.1 a IV.5.16, mostra os valores para o Índice de Suporte Califórnia dos solos lateríticos no estado natural e aditivados com 3,0%, 6,0% e 9,0% de cal, curados por períodos de 7 dias, 28 dias e 60 dias em

SOLOS	REATIVIDADE A CAL (KPa)								
	RT ₃ (7 dias)	RT ₃ (28 dias)	RT ₃ (60 dias)	RT ₆ (7 dias)	RT ₆ (28 dias)	RT ₆ (60 dias)	RT ₉ (7 dias)	RT ₉ (28 dias)	RT ₉ (60 dias)
JPPB	247,7	374,9	362,1	316,1	753,4	840,6	264,3	534,8	567,8
SPPB	130,8	136,8	108,8	147,4	227,6	226,3	158,3	279,2	407,9
TEPB	1,0	145,0	125,6	143,0	370,0	260,0	252,8	736,0	759,8
CTPB	256,4	278,7	241,8	247,5	468,2	433,5	240,6	439,3	433,5
ARPB	53,2	179,0	175,1	139,9	231,9	193,0	102,7	346,9	328,7
MOPA	269,0	598,8	469,2	399,5	479,8	484,5	303,9	371,9	668,4
MAPA	5,5	8,7	ND	130,3	409,6	420,1	9,9	128,6	367,0
BUPI	21,1	29,2	20,5	57,9	122,9	78,5	79,8	96,4	109,2
PIPI	52,8	67,4	326,5	59,2	67,1	114,3	27,8	48,5	61,6
GIPI	63,4	102,9	151,6	102,7	126,8	335,8	77,1	158,3	257,6
TEPI	19,6	151,6	141,2	79,0	409,3	439,7	115,0	429,2	398,0
CAPI	28,0	237,4	256,2	162,0	351,7	432,2	262,6	303,9	447,5
PDMA	ND	184,0	211,0	94,6	570,4	670,8	144,9	444,7	544,6
VGMA	10,5	193,3	174,6	98,1	220,1	149,4	194,9	264,4	257,8
VSMA	243,2	334,0	280,2	292,6	321,8	298,7	273,7	275,9	277,1
SLMA	1,8	56,8	105,8	88,4	212,1	209,8	187,1	153,8	204,1

TABELA IV.6.1 - Reatividade à Cal de Solos Lateríticos Aditivados com 3,0%, 6,0% e 9,0% de Cal, Curados por Períodos de 7 dias, 28 dias e 60 dias, Calculado Segundo a Sistemática de Thompson (1966)

ND - Não determinado.

câmara úmida com 100% de umidade relativa a uma temperatura de $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Os resultados obtidos para o Índice de Suporte Califórnia dos solos lateríticos aditivados com 3,0% de cal, curados por períodos de 7 dias, 28 dias e 60 dias, variam respectivamente de: 14,1% (VSMA) a 40,0% (MOPA); de 19,0% (TEPB) a 58,0% (MOPA) e de 25,8% (TEPB) a 73,7% (MAPA). Para os solos lateríticos aditivados com 6,0% de cal, curados por períodos de 7 dias, 28 dias e 60 dias, os valores variam respectivamente de: 22,3% (BUPI) a 46,6% (PDMA); de 29,0% (TEPB) a 67,0% (MOPA) e de 31,5% (TEPB) a 81,2% (MOPA). Para os solos lateríticos aditivados com 9,0% de cal, curados por períodos de 7 dias, 28 dias e 60 dias, os valores variam respectivamente de 15,0% (JPPB) a 46,4% (PDMA); de 29,8% (VSMA) a 69,1% (PDMA) e de 39,1% (BUPI) a 96,7% (ARPB).

Comparando-se os valores do Índice de Suporte Califórnia dos solos lateríticos no estado natural com os solos aditivados com cal, verifica-se que houve um elevado incremento nos valores máximos encontrados, sendo estes valores em termos percentuais de: 53,2% (MOPA), 319% (PDMA) e 318% (PDMA) para os solos lateríticos aditivados respectivamente com 3,0%, 6,0% e 9,0% de cal, curados por períodos de 7 dias; de 122,0% (MOPA), 157,0% (MOPA) e 522,0% (PDMA) para os solos lateríticos aditivados respectivamente com 3,0%, 6,0% e 9,0% de cal, curados por períodos de 28 dias e de 168,0% (MAPA), 211,0% (MOPA) e 1322,0% (ARPB) para os solos lateríticos aditivados respectivamente com 3,0%, 6,0% e 9,0% de cal, curados por períodos de 60 dias. O aumento no valor do Índice de Suporte Califórnia é devido as diversas reações que ocorrem entre a cal

SOLOS	ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA (%)									
	CBR (Natural)	C ₃ BR (7 dias)	C ₃ BR (28 dias)	C ₃ BR (60 dias)	C ₆ BR- (7 dias)	C ₆ BR (28 dias)	C ₆ BR (60 dias)	C ₉ BR (7 dias)	C ₉ BR (28 dias)	C ₉ BR (60 dias)
JPPB	9,0	21,8	25,0	27,7	30,0	34,6	36,7	15,0	44,3	48,3
SPPB	7,7	21,8	22,3	64,4	26,9	34,7	69,1	18,4	46,3	69,2
TEPB	7,2	15,4	19,0	25,8	27,0	29,0	31,5	31,0	34,6	41,3
CTPB	15,8	25,7	34,6	36,7	26,3	36,4	41,4	24,9	50,6	60,4
ARPB	6,8	20,1	40,8	69,0	36,6	38,6	80,0	24,4	60,4	96,7
MOPA	26,1	40,0	58,0	70,0	45,0	67,0	81,2	38,6	52,1	69,3
MAPA	9,8	25,7	29,7	73,7	39,0	47,5	80,6	40,3	49,8	60,0
BUPI	6,0	21,8	25,3	26,0	22,3	32,2	36,8	20,9	40,3	39,1
PIPI	15,4	26,9	30,0	55,3	34,3	32,2	57,6	33,3	34,6	59,9
GIPI	8,6	26,0	35,7	53,2	36,0	46,6	63,2	25,7	65,5	67,2
TEPI	20,6	29,6	40,6	70,0	31,8	48,0	80,6	29,1	45,8	67,2
CAPI	8,6	16,7	39,1	45,0	36,8	44,9	67,4	36,3	50,6	54,2
PDMA	11,1	28,0	41,0	60,0	46,6	56,7	61,4	46,4	69,1	63,7
VGMA	13,7	21,8	30,3	36,7	22,7	32,6	42,7	24,4	30,2	46,2
VSMA	9,8	14,1	24,0	60,0	30,1	40,0	76,1	27,0	29,8	69,2
SLMA	8,9	32,9	36,0	53,0	32,3	38,0	57,6	25,7	42,7	59,9

TABELA IV.7.1 - Índice de Suporte Califórnia de Solos Lateríticos no Estado Natural e Aditivados com 3,0%, 6,0% e 9,0% de Cal, Curados por Períodos de 7 dias, 28 dias e 60 dias.

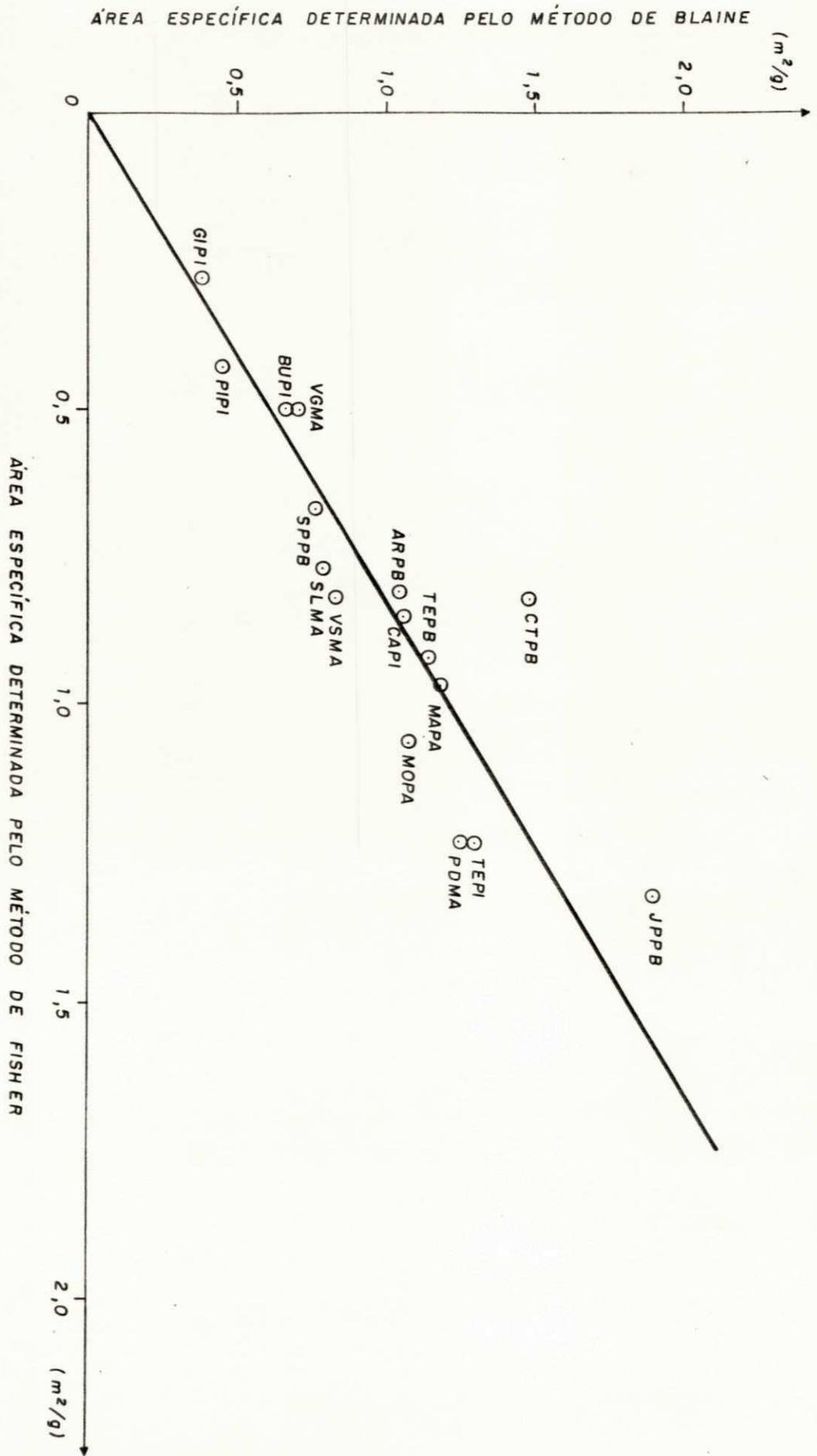
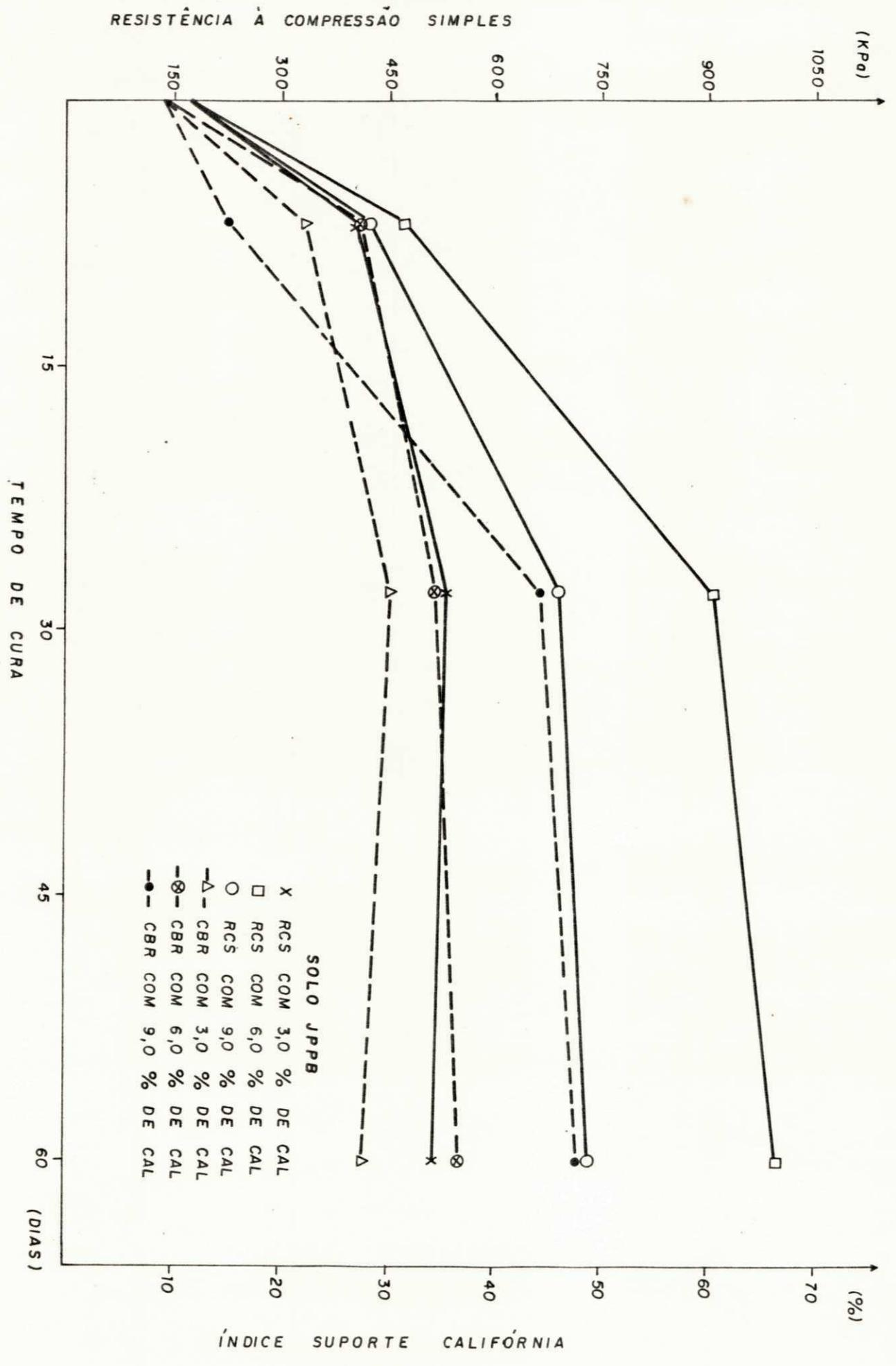


FIGURA IV.3.1 - ÁREA ESPECÍFICA DA FRAÇÃO FINA DE SOLOS LATERÍTICOS PROVENIENTE DA REGIÃO NORTE E NORDESTE DO BRASIL.

FIGURA IV.5.1 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES E ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA DE SOLO LATERÍTICO VERSUS TEMPO DE CURA.



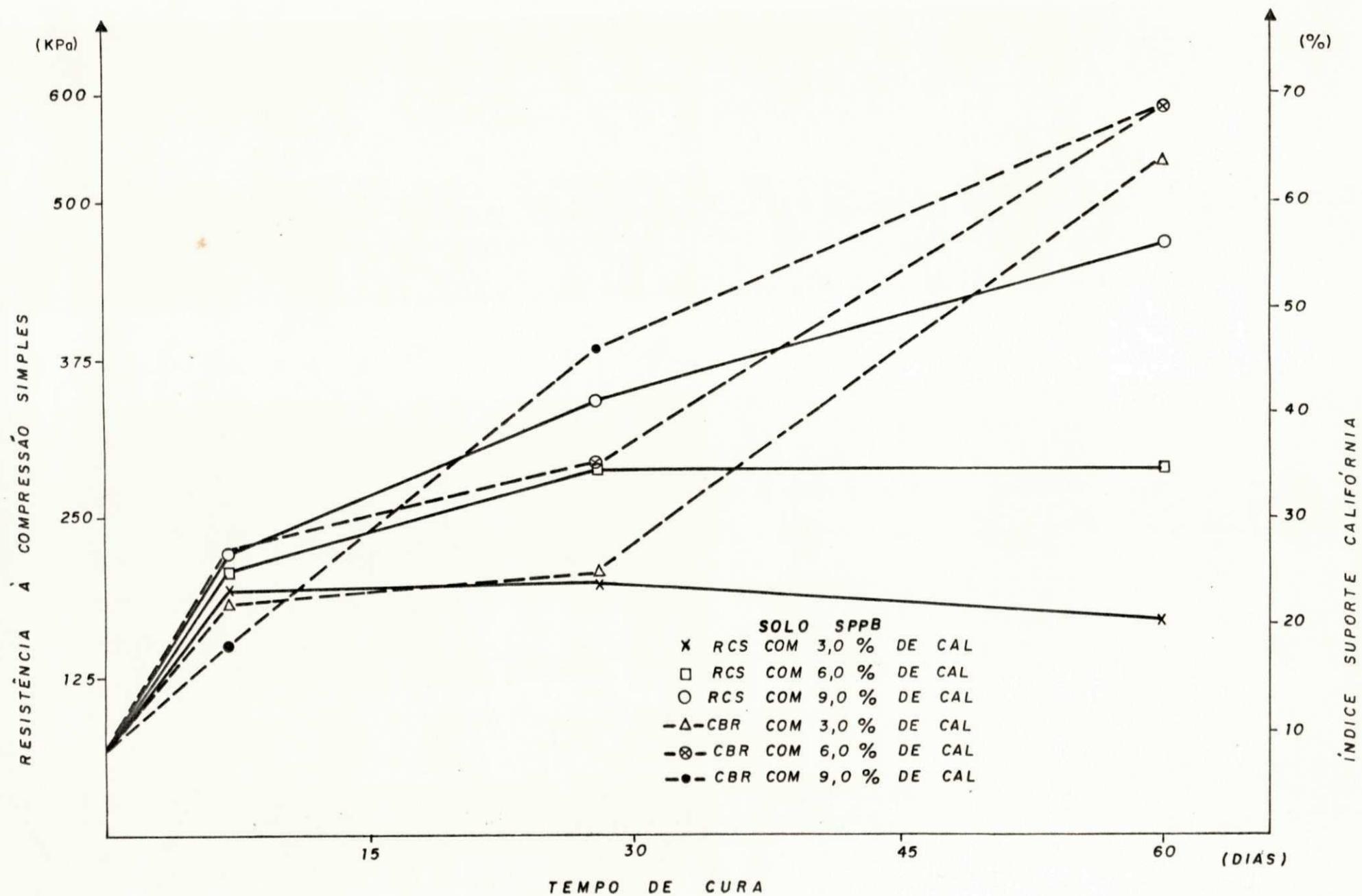
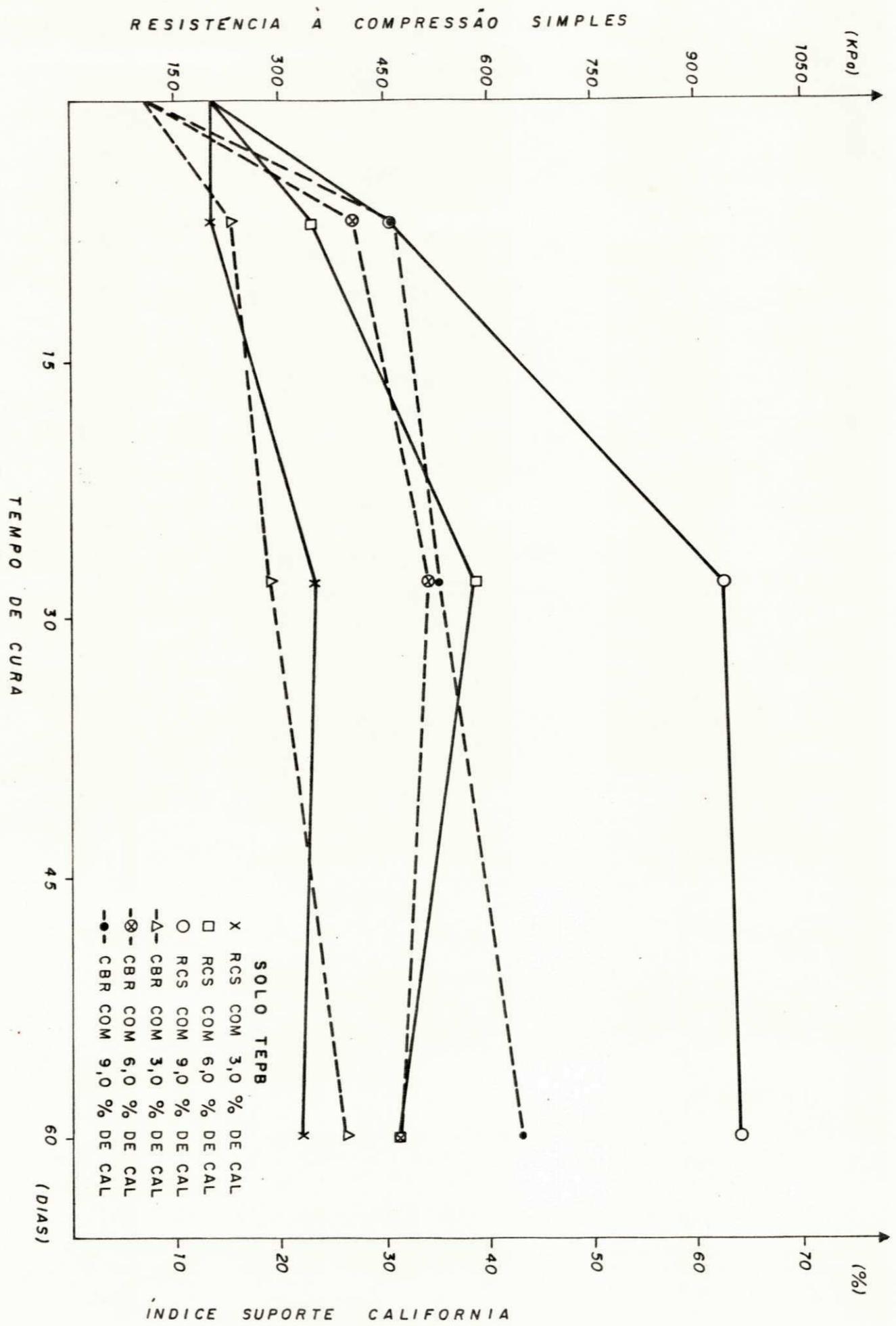


FIGURA IV.5.2-RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES E ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA DE SOLO LATERÍTICO VERSUS TEMPO DE CURA.

FIGURA IV.5.3 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES E ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA DE SOLO LATERÍTICO VERSUS TEMPO DE CURA.



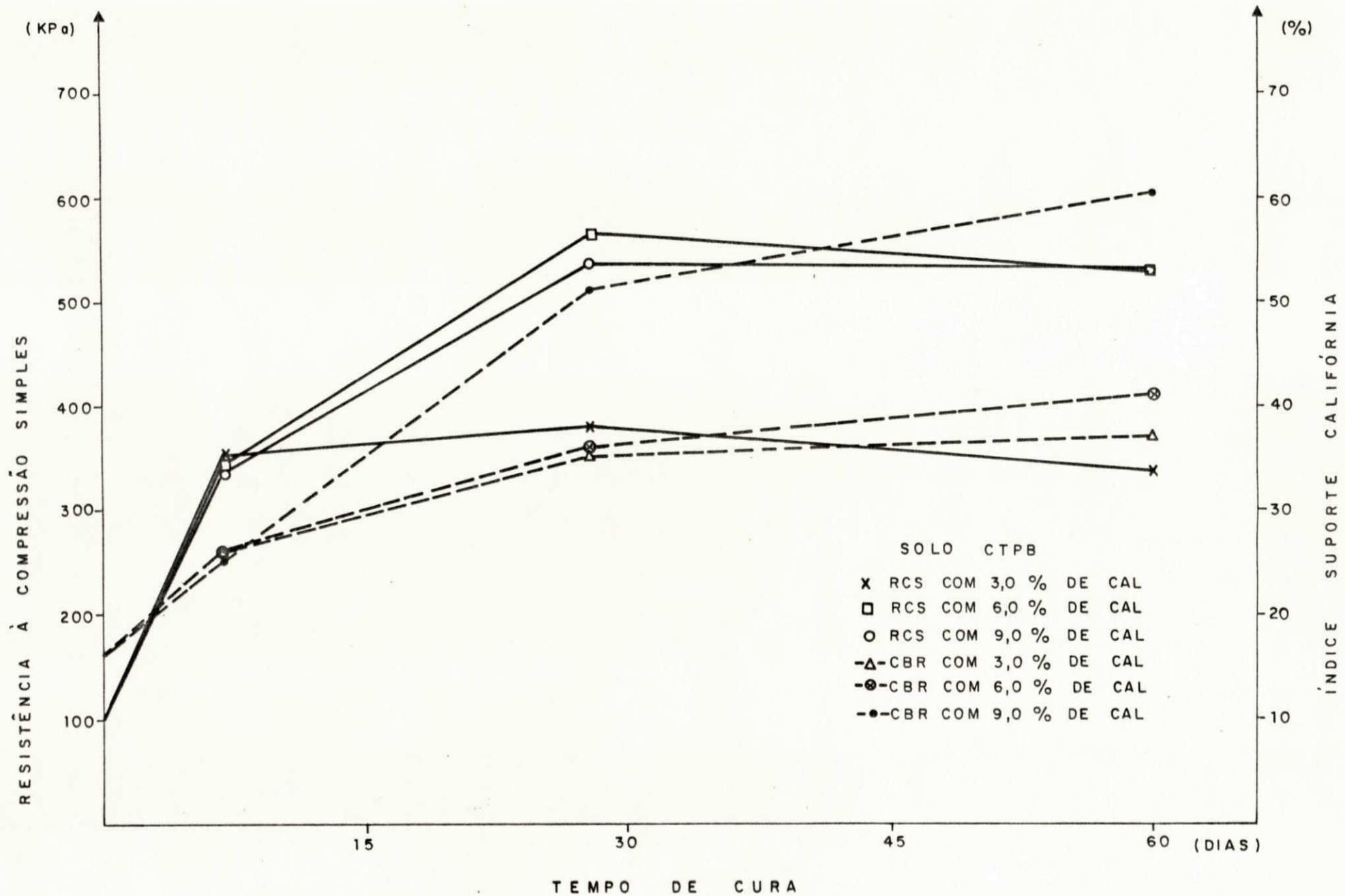


FIGURA IV.5.4—RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES E ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA DE SOLO LATERÍTICO VERSUS TEMPO DE CURA.

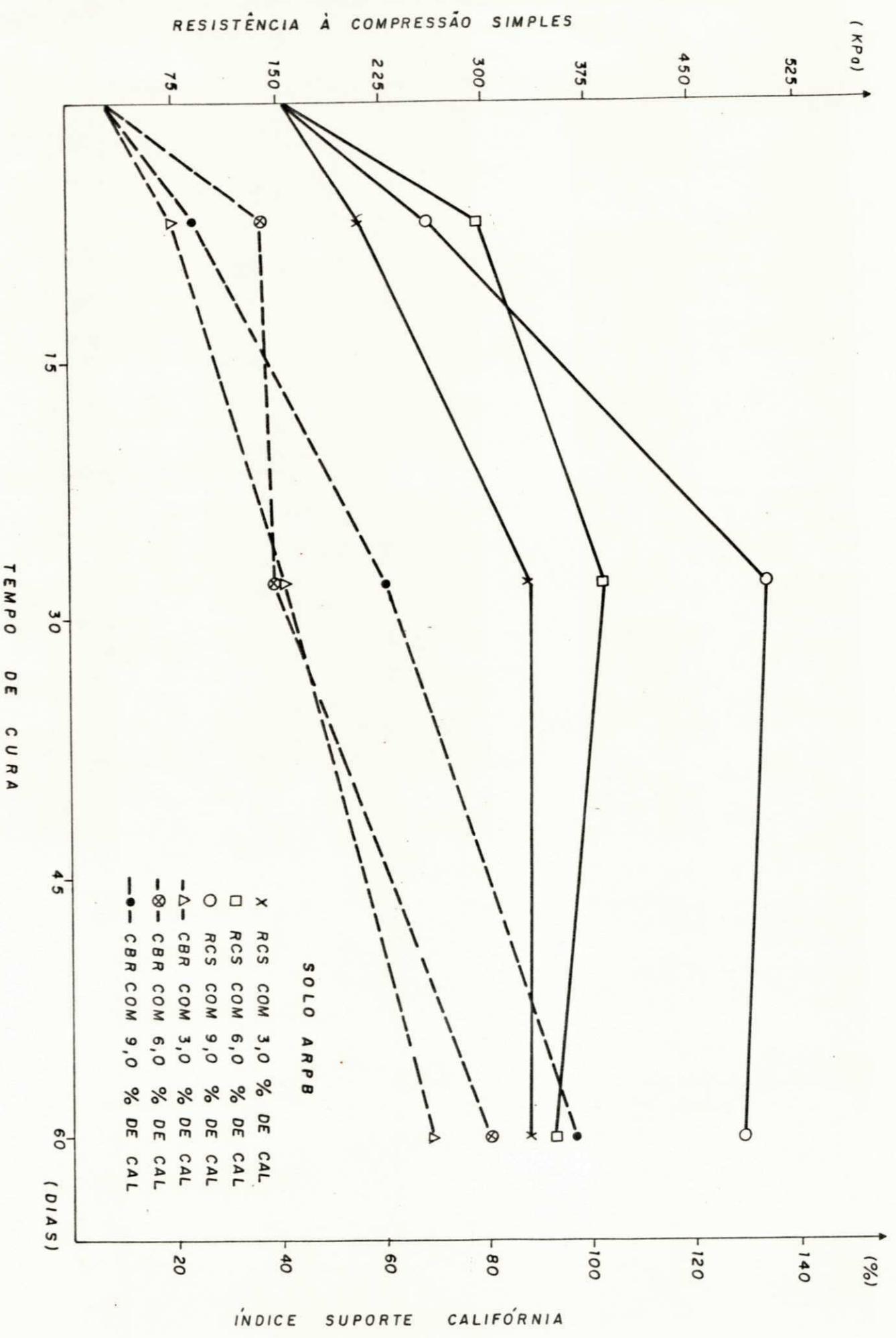


FIGURA N.5.5—RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES E ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA DE SOLO LATERÍTICO VERSUS TEMPO DE CURA.

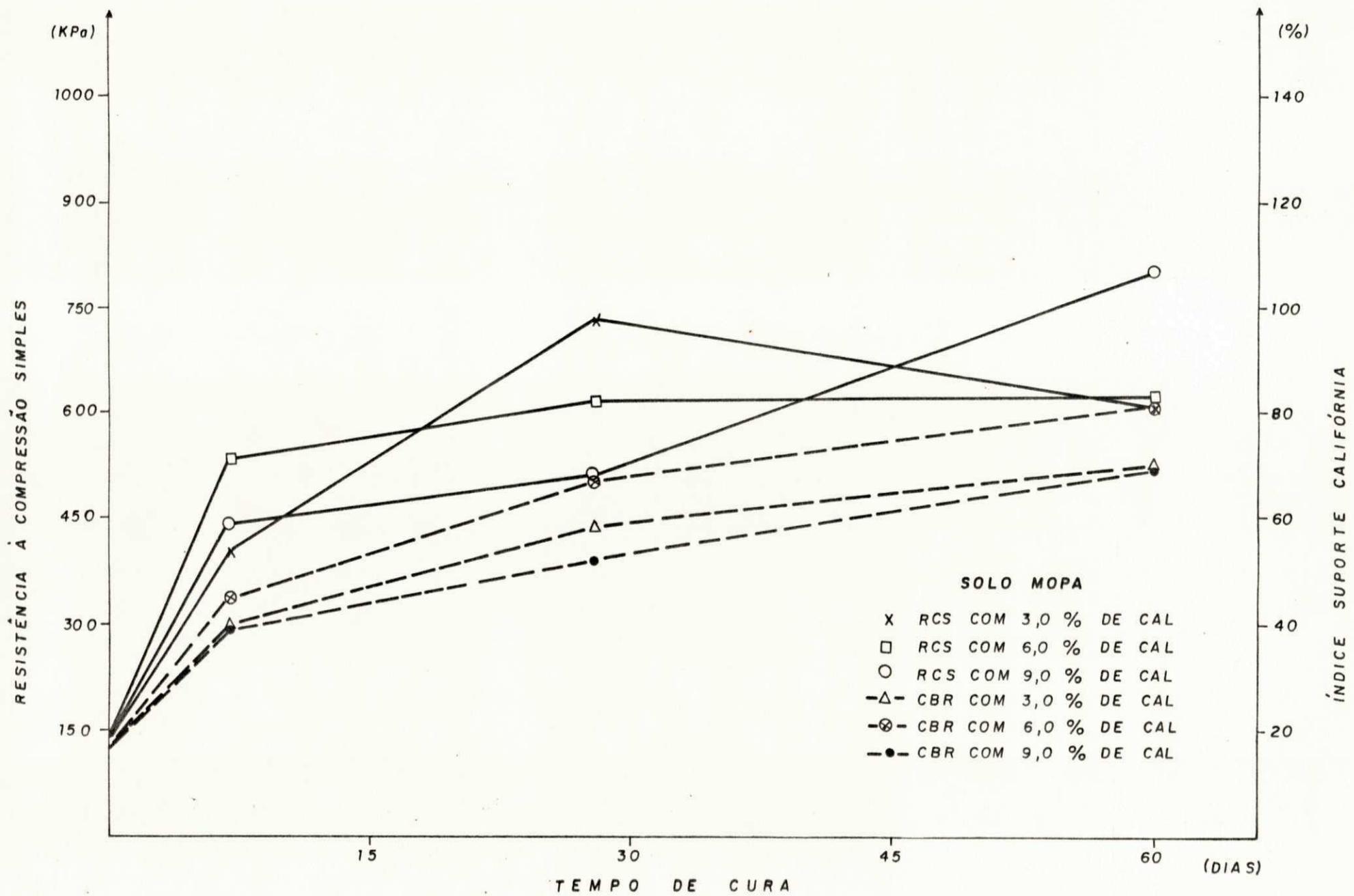


FIGURA IV.5.6 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES E ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA DE SOLO LATERÍTICO VERSUS TEMPO DE CURA.

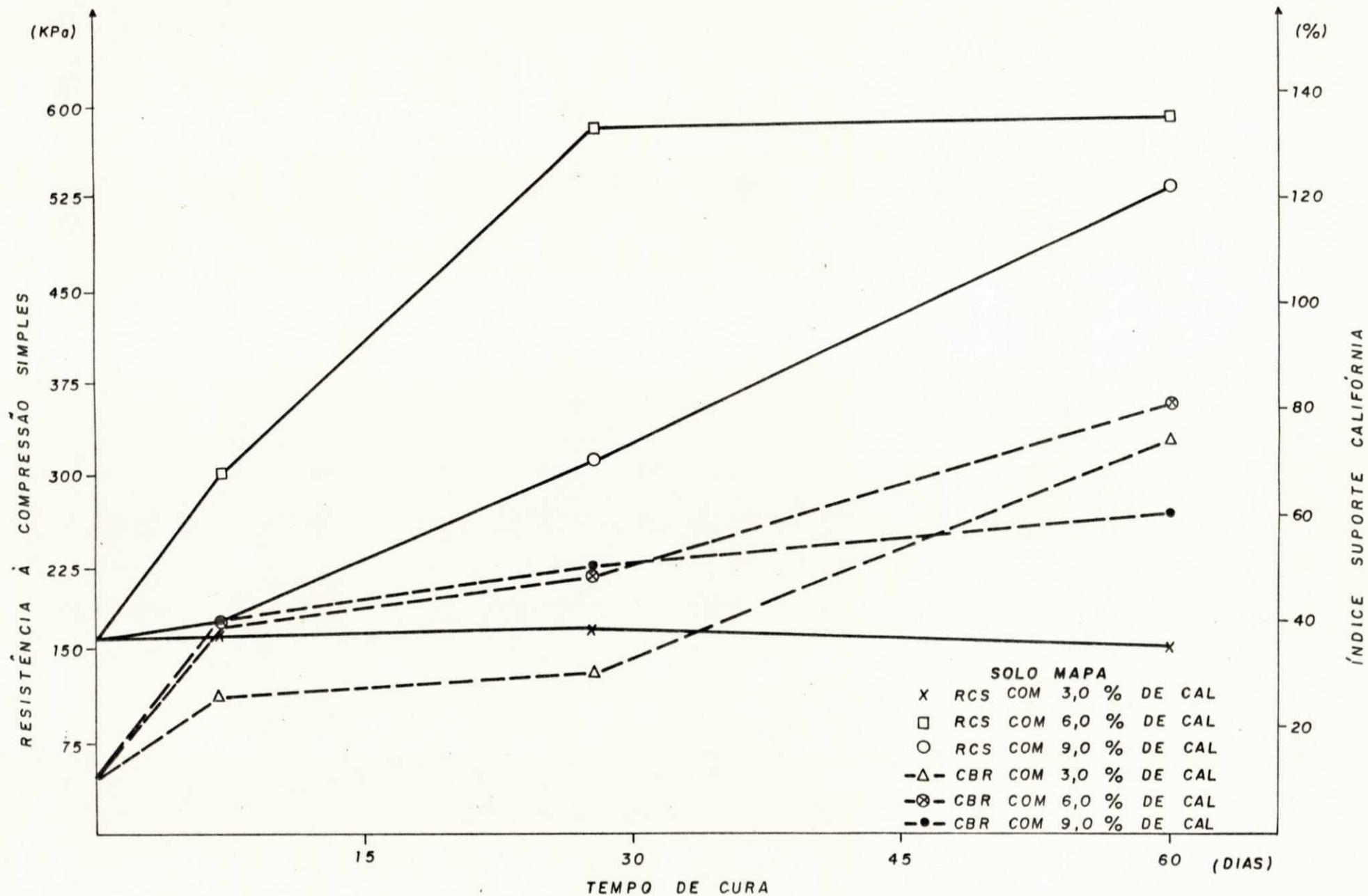


FIGURA IV.5.7—RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES E ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA DE SOLO LATERÍTICO VERSUS TEMPO DE CURA

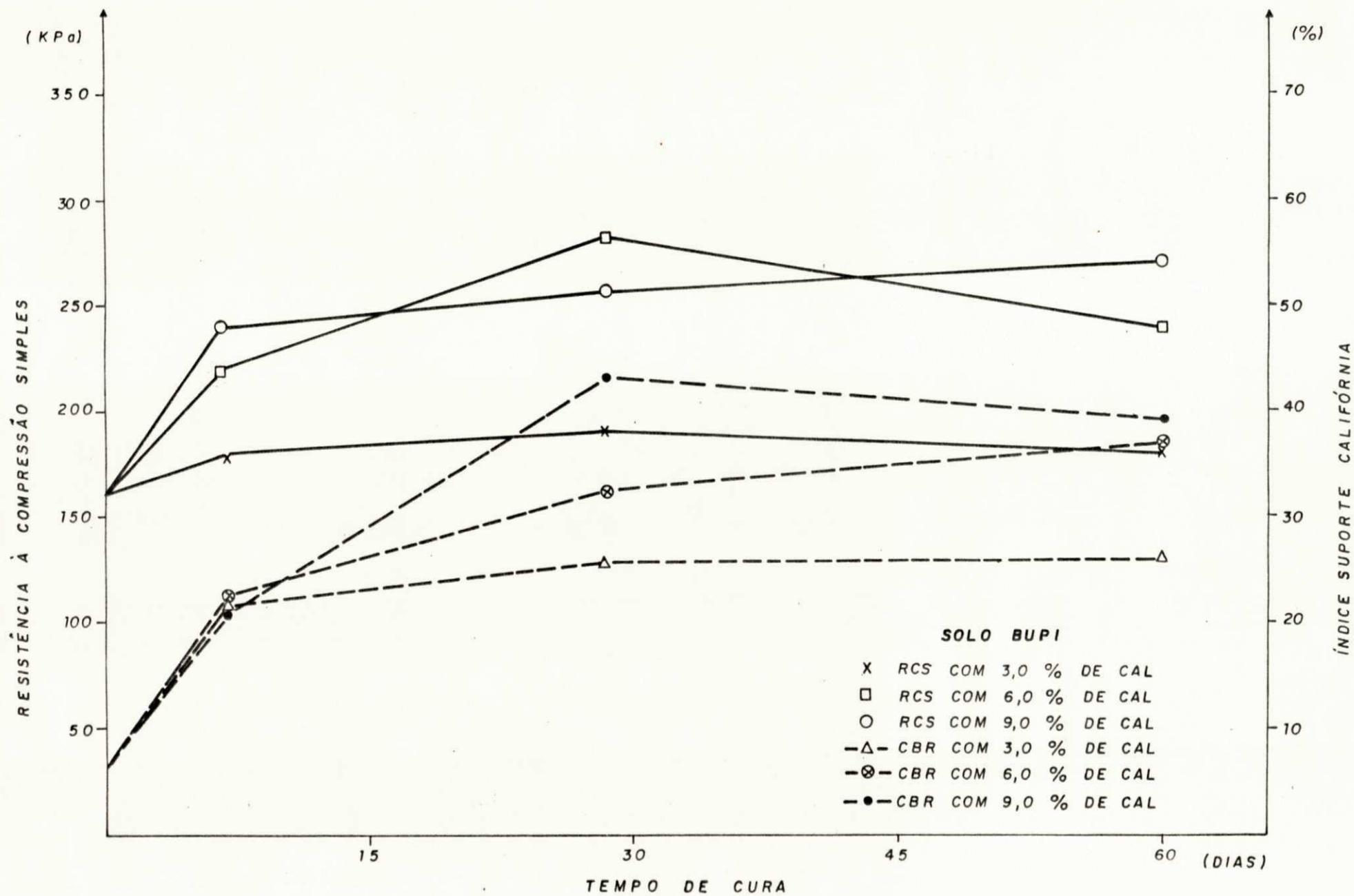


FIGURA IV.5.8 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES E ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA DE SOLO LATERÍTICO VERSUS TEMPO DE CURA.

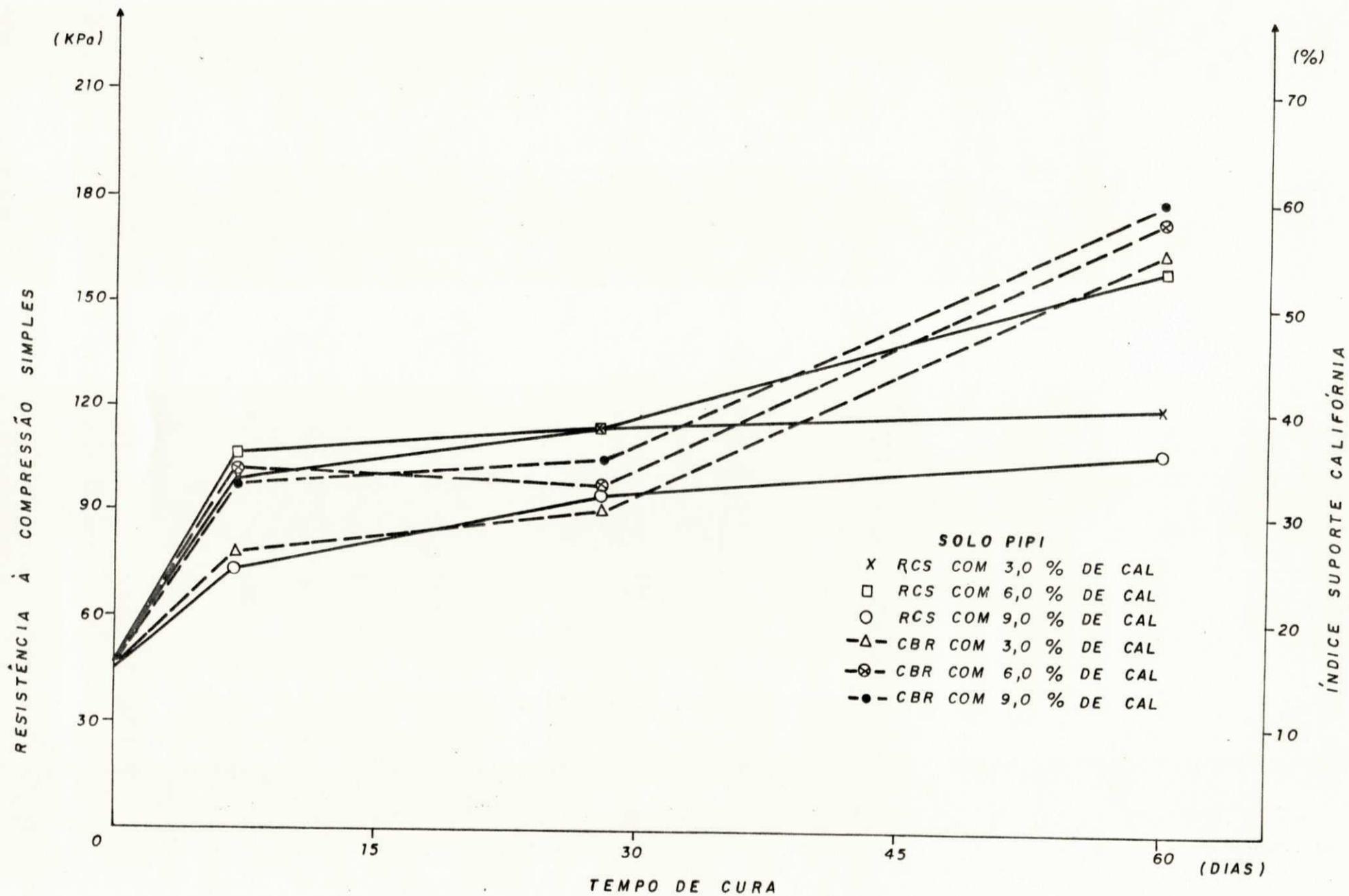


FIGURA IV.5.9-RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES E ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA DE SOLO LATERÍTICO VERSUS TEMPO DE CURA.

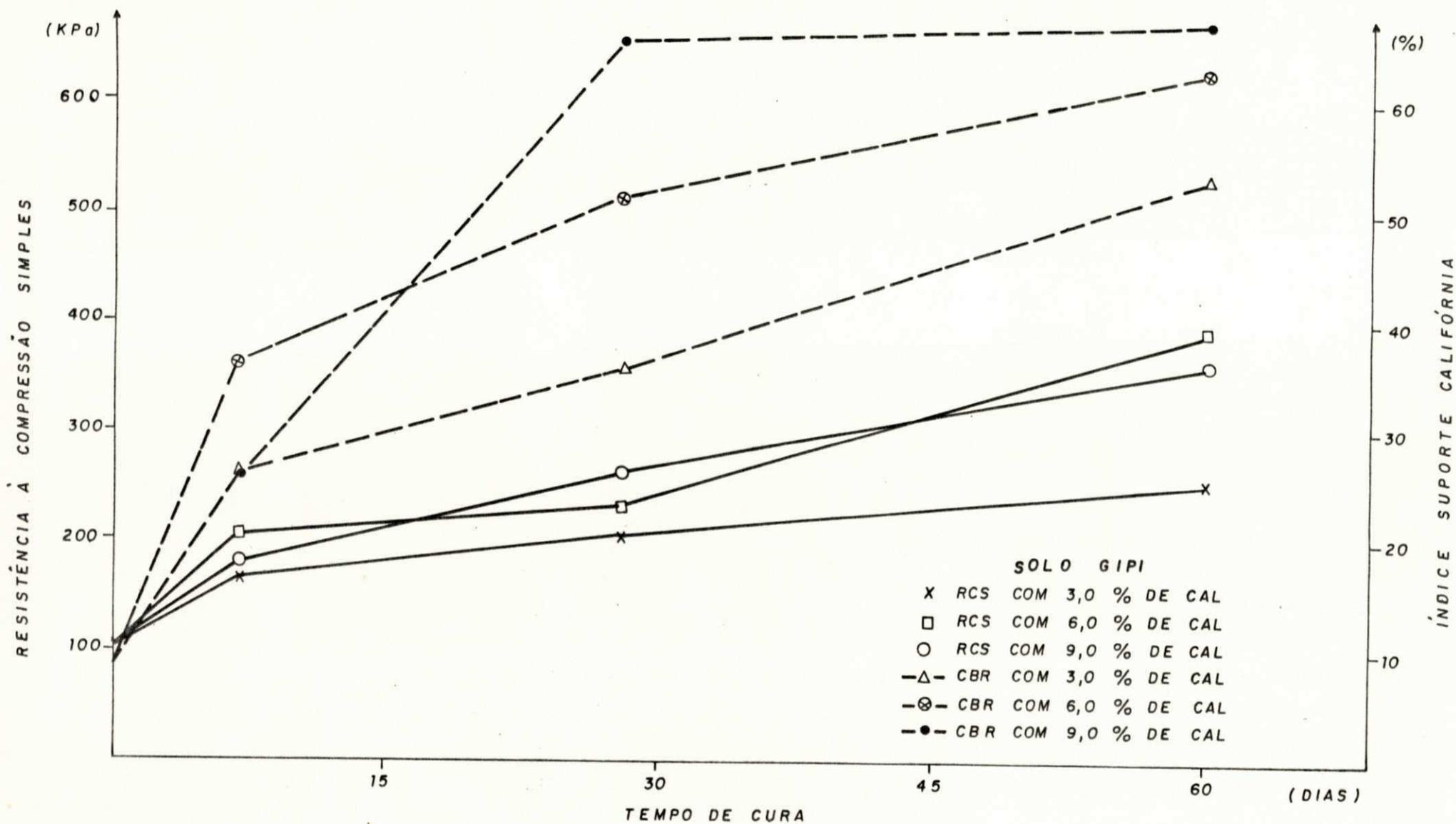


FIGURA IV.5.10-RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES E ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA DE SOLO LATERÍTICO VERSUS TEMPO DE CURA.

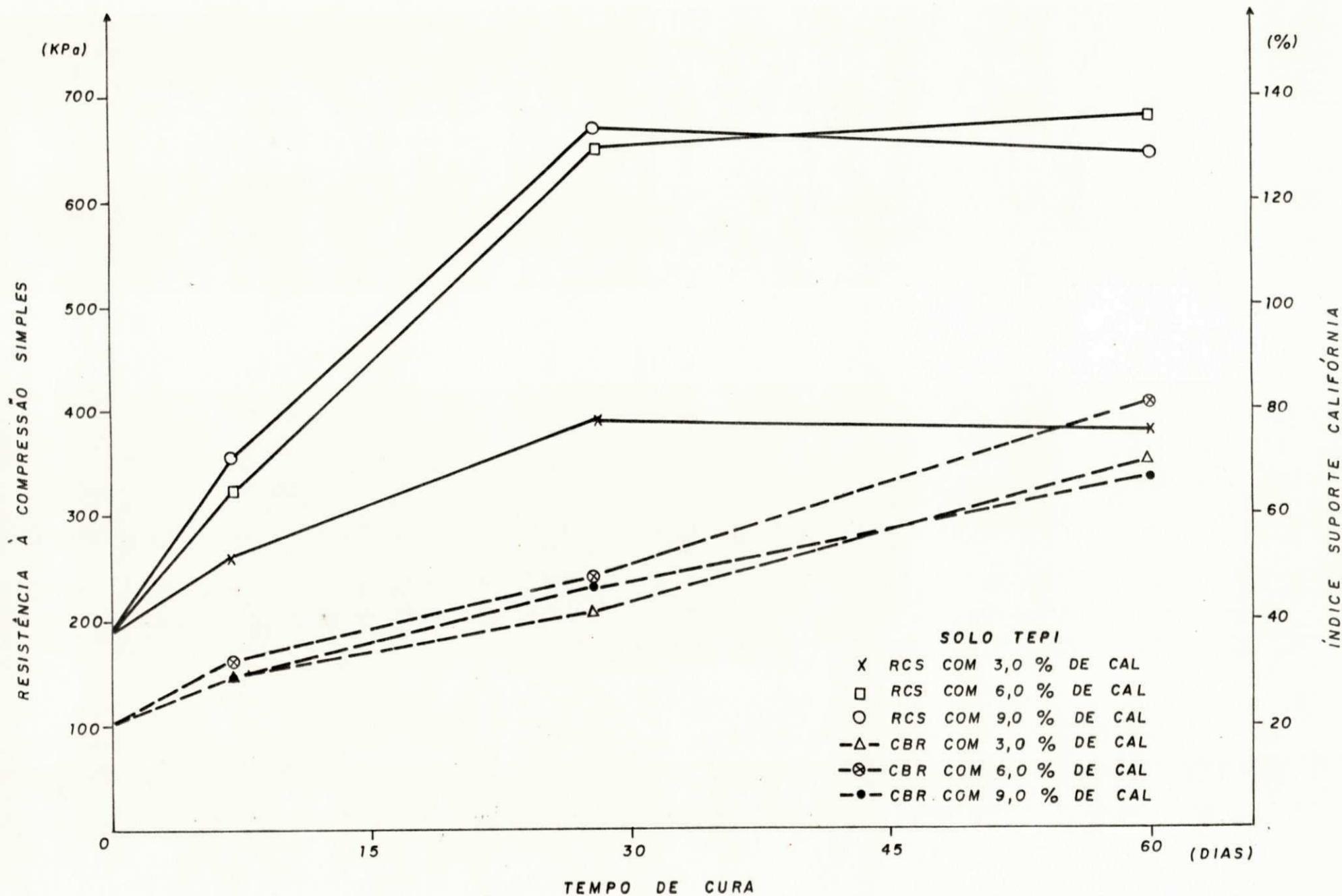


FIGURA IV.5.11—RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES E ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA DE SOLO LATERÍTICO VERSUS TEMPO DE CURA.

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

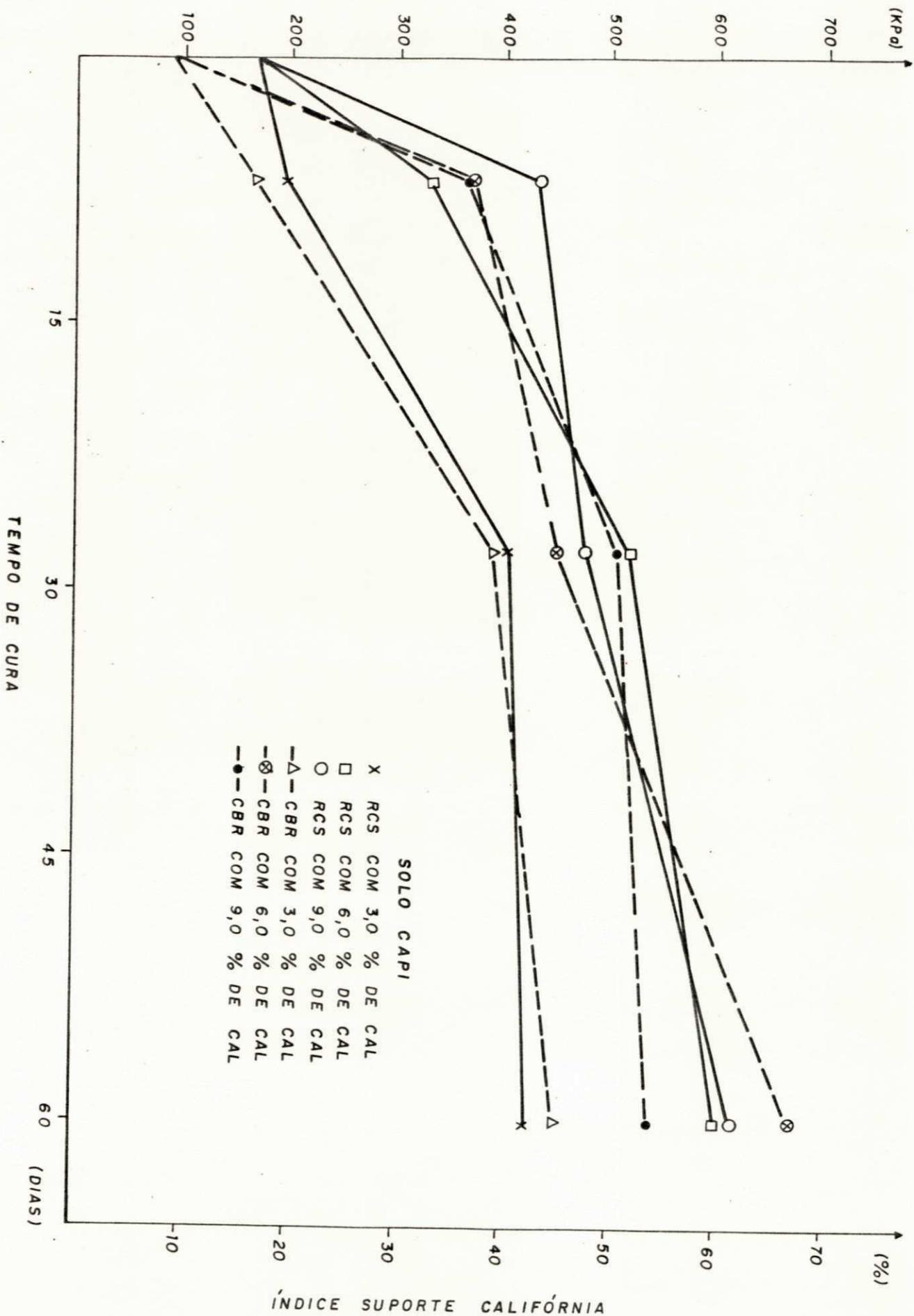


FIGURA N.5.12-RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES E ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA DE SOLO LATERÍTICO VERSUS TEMPO DE CURA.

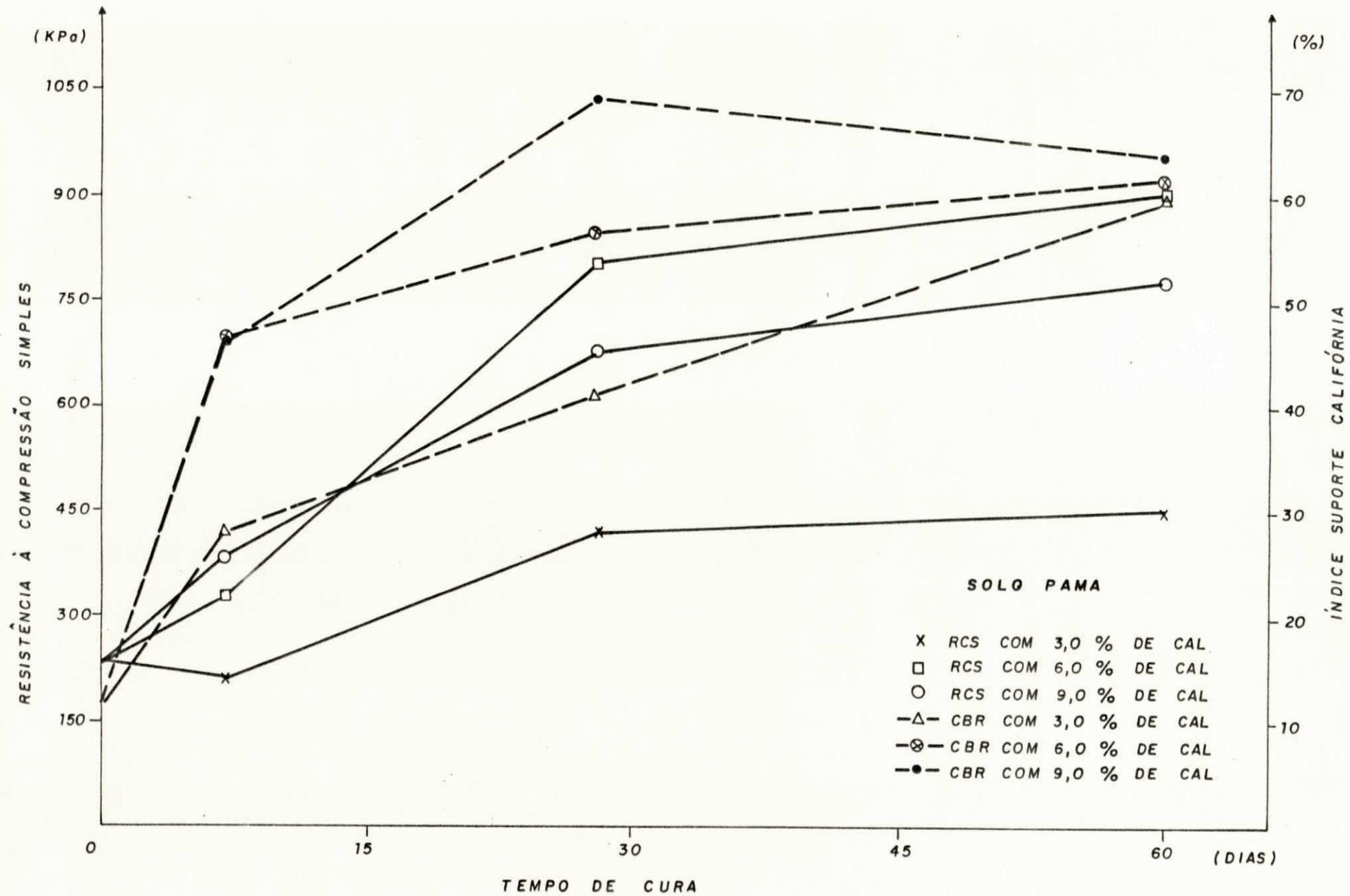
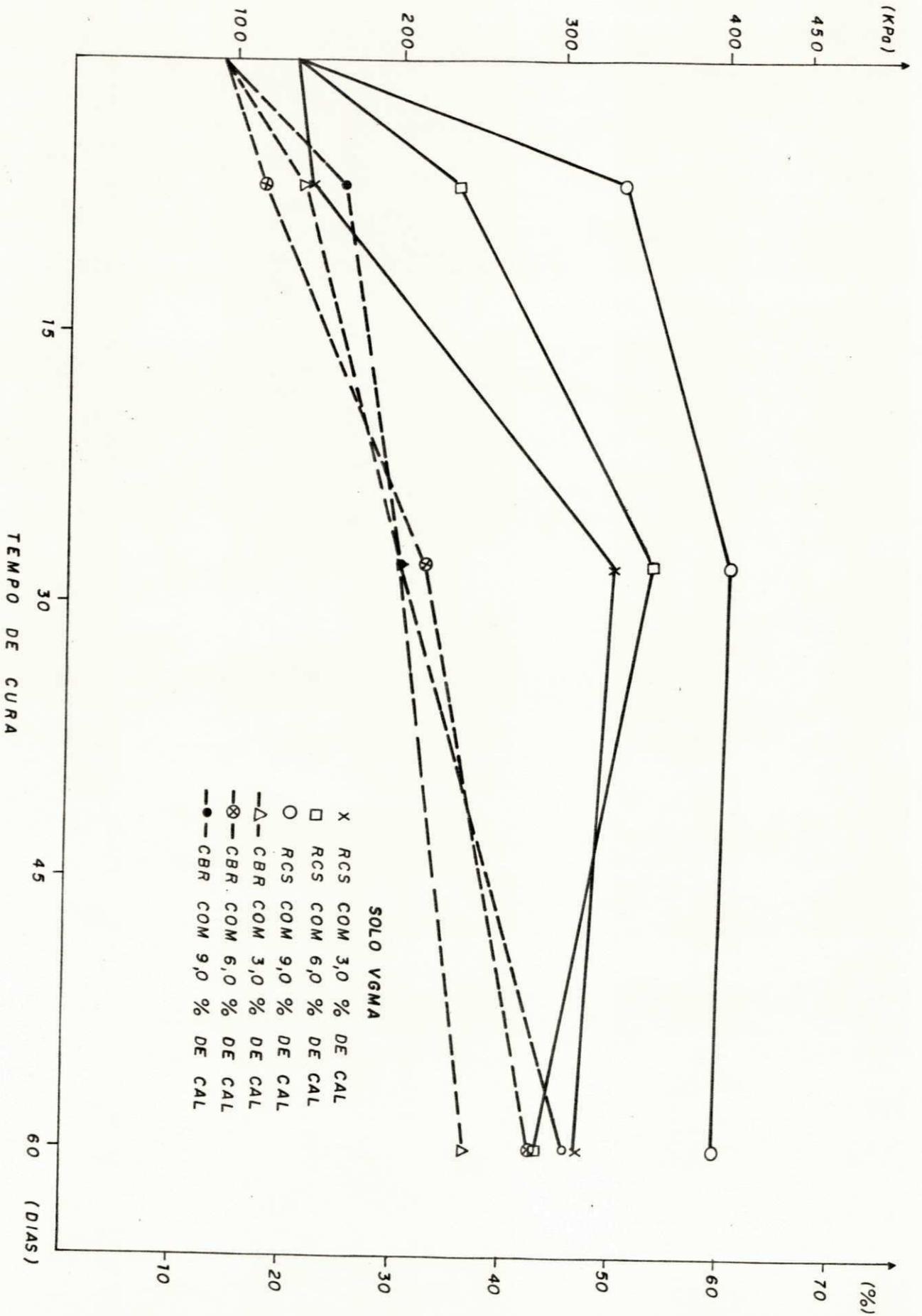


FIGURA IV.5.13 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES E ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA DE SOLO LATERÍTICO VERSUS TEMPO DE CURA.

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES



ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA

FIGURA IV.5.14.—RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES E ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA DE SOLO LATERÍTICO VERSUS TEMPO DE CURA.

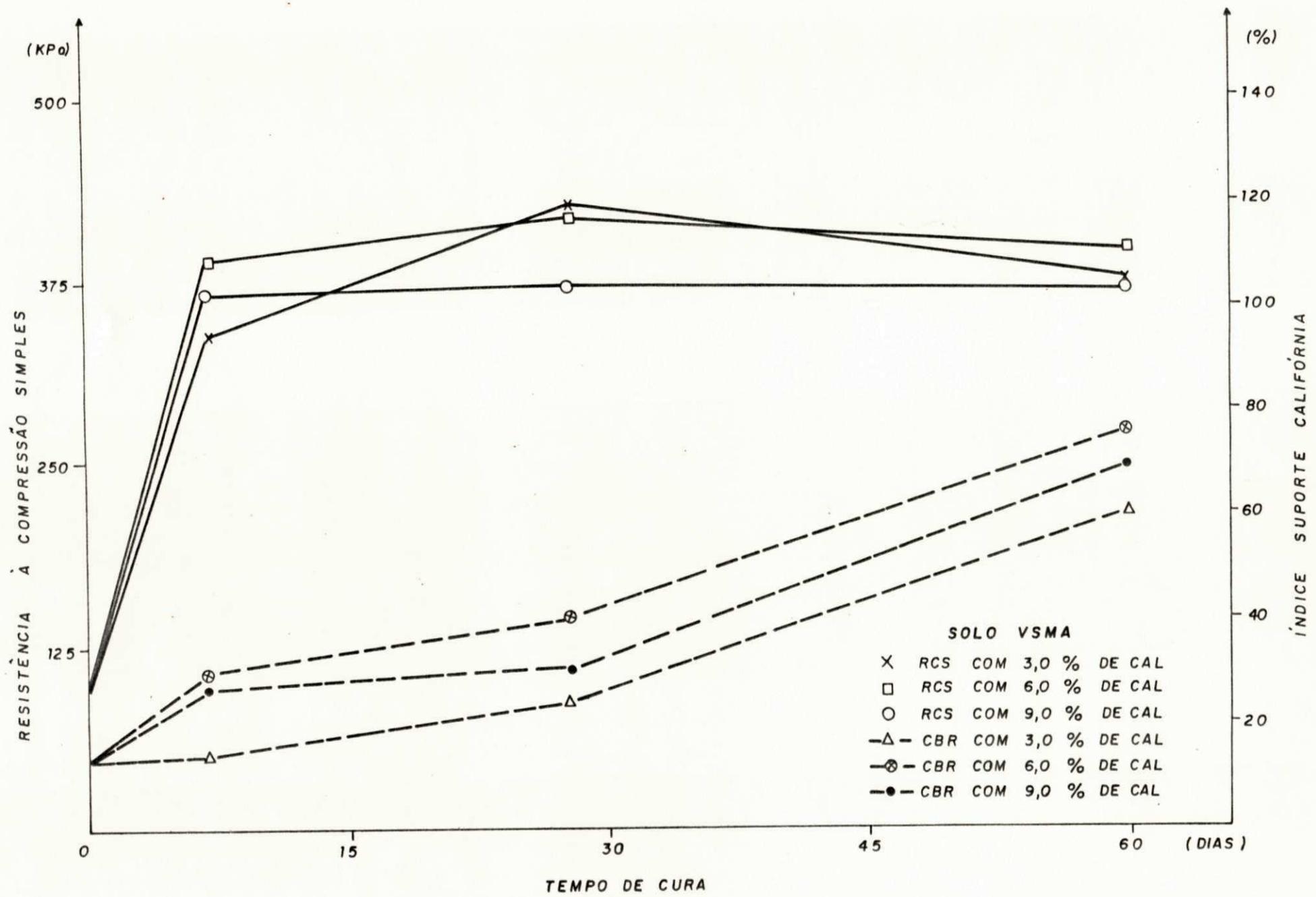


FIGURA IV.5.15-RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES E ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA DE SOLO LATERÍTICO VERSUS TEMPO DE CURA.

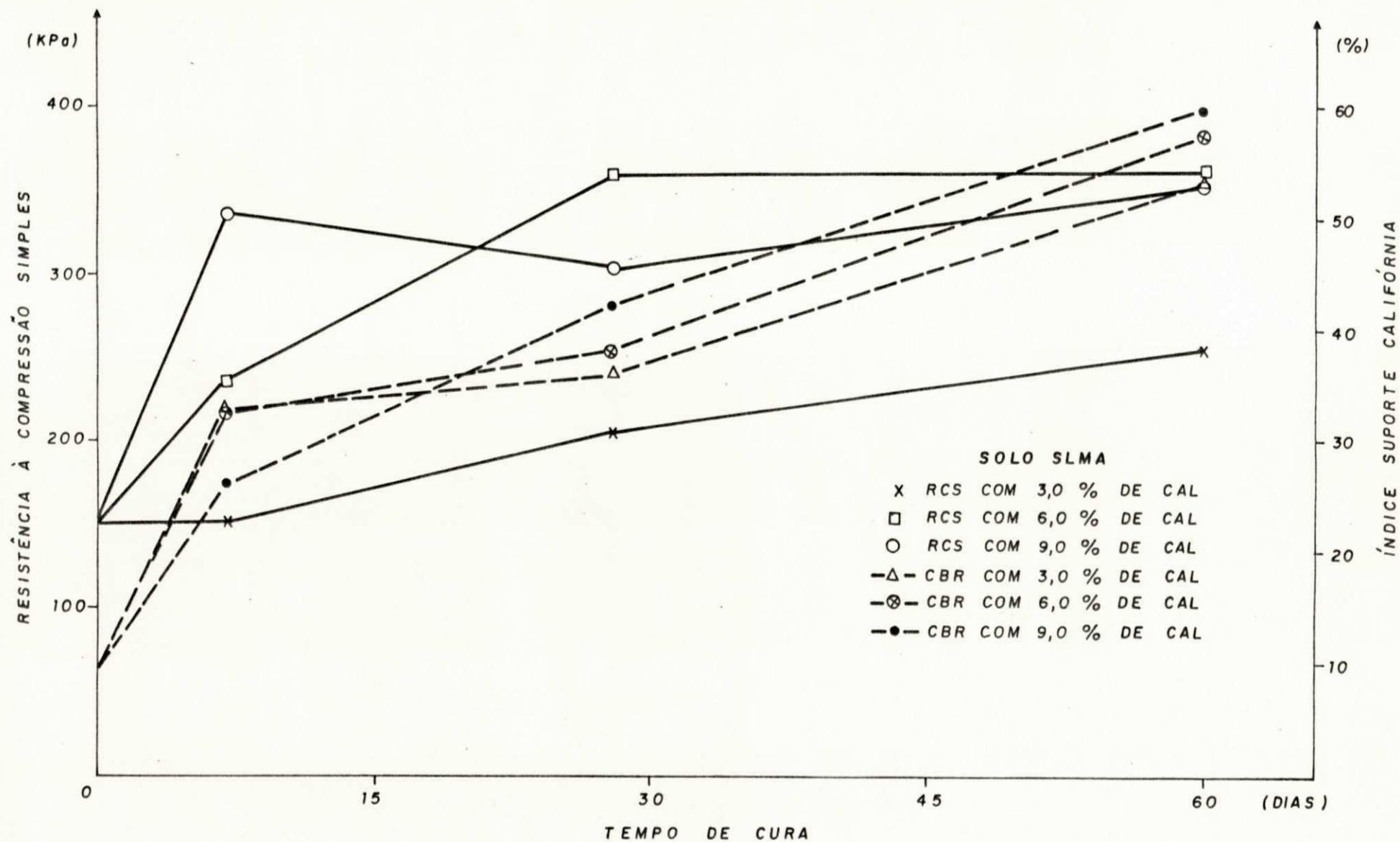


FIGURA IV.5.16-RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES E ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA DE SOLO LATERÍTICO VERSUS TEMPO DE CURA.

e os solos estudados, como descritos na parte inicial deste trabalho.

Em virtude de não ter sido encontrado na literatura pesquisada dados relativos do Índice de Suporte Califórnia de solos de outras regiões, fica inviabilizado a análise comparativa em relação aos dados obtidos no decorrer deste trabalho.

IV.8 - Análise Estatística

Os resultados obtidos pelas análises estatísticas através de correlações simples lineares, logarítmicas, exponenciais e potenciais e as correlações lineares múltiplas, entre a área específica determinada pelos métodos do permeâmetro de Blaine e Fisher e a resistência à compressão simples e o Índice de Suporte Califórnia dos solos lateríticos estabilizados com 3,0%, 6,0% e 9,0% de cal, curados por períodos de 7 dias, 28 dias e 60 dias em câmara úmida com 100% de umidade relativa, estão apresentados nas Tabelas de IV.8.1.1 a IV.8.2.12.

A seguir serão discutidos os resultados obtidos pelas análises de regressões, de acordo com os cinco tipos de ajustes, para o caso.

IV.8.1 - Correlações Estatísticas entre a Área Específica e a Resistência à Compressão Simples.

Os resultados obtidos pelas análises de regressões simples lineares, logarítmicas, exponenciais e potenciais e as correlações lineares múltiplas em termos de coeficiente de correlação, nível de significância, constante **A** e

B, grau de liberdade, fator calculado, fator estatístico e as equações entre a área específica e a resistência à compressão simples estão contidos nas Tabelas de IV.8.1.1 a IV.8.1.12.

A Tabela IV.8.1.1 mostra as correlações simples lineares, logarítmicas, exponenciais e potenciais entre a área específica determinada pelos métodos do permeâmetro de Blaine e Fisher e a resistência à compressão simples dos solos lateríticos estabilizados com 3,0% de cal, curados por período de 7 dias. Observa-se que, dos quatro tipos de regressões estudadas, a regressão linear simples ($Y = A + Bx$) e exponencial ($Y = A e^{Bx}$) entre o Blaine e a RCS_7 foram as que conduziram aos melhores resultados. Verificando-se ainda que das 8 correlações realizadas, todas foram significativas, sendo 4 altamente significativas ($NS \leq 0,01$) e 4 significativas ($NS \leq 0,05$). As equações que obtiveram maiores níveis de significância serão listadas a seguir e seus gráficos plotados nas Figuras IV.8.1.1 e IV.8.1.2.

$$a) Y = 0,4575 e^{0,0030x}$$

$$R = 0,69$$

$$\alpha = 0,304$$

onde:

Y = área específica determinada pelo método do Blaine (m^2/g);

x = resistência à compressão simples dos solos lateríticos estabilizados com 3,0% de cal, curados por período de 7 dias (KPa);

R = coeficiente de correlação;

α = nível de significância (%).

$$b) Y = 0,3412 + 0,0028x$$

$$R = 0,67$$

$$\alpha = 0,463$$

onde:

Y = área específica determinada pelo método do Blaine (m^2/g);

x = resistência à compressão simples dos solos lateríticos es
tabilizados com 3,0% de cal, curados por período: de 7
dias (KPa);

R = coeficiente de correlação;

α = nível de significância (%).

A Tabela IV.8.1.2, mostra as correlações sim
ples lineares, logarítmicas, exponenciais e potenciais entre
a área específica determinada pelos métodos do permeâmetro de
Blaine e Fisher e a resistência à compressão simples dos so
los lateríticos estabilizados com 3,0% de cal, curados por pe
ríodo de 28 dias. Verifica-se que, dos quatro tipos de re
gressões estudadas, a regressão simples linear ($Y = A + Bx$) e
exponencial ($Y = A e^{Bx}$) entre o Fisher e a RCS_{28} foram as que
conduziram aos melhores resultados, sendo o melhor nível de
significância obtido para a regressão simples linear entre o
Fisher e a RCS_{28} . Verificando-se ainda que das 8 correlações
realizadas, todas foram significativas, sendo 4 altamente sig
nificativas ($NS \leq 0,01$) e 4 significativas ($NS 0,05$). As equa
ções que obtiveram melhores níveis de significância serão
listadas a seguir, e seus gráficos plotados nas Figuras
IV.8.1.3 e IV.8.1.4,

$$a) Y = 0,4370 e^{0,0017x}$$

$$R = 0,670$$

$$\alpha = 0,453$$

onde:

Y = área específica determinada pelo método de Fisher (m^2/g);

x = resistência à compressão simples de solos lateríticos es
tabilizados com 3,0% de cal, curados por período de 28
dias (KPa);

R = coeficiente de correlação;

α = nível de significância (%).

$$\text{b) } Y = 0,4200 + 0,0012x$$

$$R = 0,660$$

$$\alpha = 0,631$$

onde:

Y = área específica determinada pelo método de Fisher (m^2/g);

x = resistência à compressão simples de solos lateríticos es
tabilizados com 3,0% de cal, curados por período de 28
dias (KPa);

R = coeficiente de correlação;

α = nível de significância (%).

A Tabela IV.8.1.3, mostra as correlações sim
ples lineares, logarítmicas, exponenciais e potenciais entre
a área específica determinada pelos métodos do permeâmetro de
Blaine e Fisher e a resistência à compressão simples dos so
los lateríticos estabilizados com 3,0% de cal, curados por pe
ríodo de 60 dias. Observa-se que, dos quatro tipos de regres
sões estudadas, a regressão do tipo exponencial ($Y = A e^{Bx}$) e
potencial ($Y = Ax^B$) entre o Fisher e a RCS_{60} , mostraram-se
mais adequadas. Observou-se ainda que das 8 correlações reali
zadas, todas foram significativas, sendo 4 altamente signifi
cativas ($NS \leq 0,01$) e 4 significativas ($NS \leq 0,05$). As equações

que obtiveram maiores níveis de significância, serão listadas a seguir e seus gráficos plotados nas Figuras IV.8.1.5 e IV.8.1.6.

$$a) Y = 0,4063 e^{0,0019x}$$

$$R = 0,71$$

$$\alpha = 0,207$$

onde:

Y = área específica determinada pelo método do Fisher (m^2/g);

x = resistência à compressão simples dos solos lateríticos estabilizados com 3,0% de cal, curados por período de 60 dias (KPa);

R = coeficiente de correlação;

α = nível de significância (%).

$$b) Y = 0,0334 x^{0,5502}$$

$$R = 0,66$$

$$\alpha = 0,550$$

onde:

Y = área específica determinada pelo método do Fisher (m^2/g);

x = resistência à compressão simples dos solos lateríticos estabilizados com 3,0% de cal, curados por período de 60 dias (KPa);

R = coeficiente de correlação;

α = nível de significância (%).

A Tabela IV.8.1.4, mostra as correlações simples lineares, logarítmicas, exponenciais e potenciais entre a área específica determinada pelos métodos do permeâmetro de Blaine e Fisher e a resistência à compressão simples dos solos lateríticos estabilizados com 6,0% de cal, curados por período de 7 dias. Verifica-se que, dos quatro tipos de regres

sões estudadas, a regressão exponencial ($Y = A e^{Bx}$) entre o Fisher e o RCS_7 e a potencial ($Y = A x^B$) entre o Blaine e a RCS_7 foram as que conduziram aos melhores resultados. Verificando-se ainda que das 8 correlações realizadas, todas foram altamente significativas ($NS \leq 0,01$). As equações que obtiveram maiores níveis de significância, serão listadas a seguir, e seus gráficos plotados nas Figuras IV.8.1.7 e IV.8.1.8.

$$a) Y = 0,2566 e^{0,0037x}$$

$$R = 0,77$$

$$\alpha = 0,044$$

onde:

Y = área específica determinada pelo método do Fisher (m^2/g);

x = resistência à compressão simples dos solos lateríticos estabilizados com 6,0% de cal, curados por período de 7 dias (KPa);

R = coeficiente de correlação;

α = nível de significância (%).

$$b) Y = 4,8376 \cdot 10^{-3} x^{0,9274}$$

$$R = 0,76$$

$$\alpha = 0,085$$

onde:

Y = área específica determinada pelo método do Blaine (m^2/g);

x = resistência à compressão simples dos solos lateríticos estabilizados com 6,0% de cal, curados por período de 7 dias (KPa);

R = coeficiente de correlação;

α = nível de significância (%).

A Tabela IV.8.1.5 mostra as correlações sim

ples lineares, logarítmicas, exponenciais e potenciais entre a área específica determinada pelo método do permeâmetro de Blaine e Fisher e a resistência à compressão simples dos solos lateríticos estabilizados com 6,0% de cal, curados por período de 28 dias. Observa-se que dos quatro tipos de regressões estudadas, a regressão simples linear ($Y = A + Bx$) entre o Blaine e a RCS_{28} e o Fisher e a RCS_{28} , foi a que conduziu ao melhor resultado. Verificando-se ainda que das 8 correlações realizadas, todas foram altamente significativas ($NS \leq 0,01$). As equações que obtiveram maiores níveis de significância serão listadas a seguir, e seus gráficos plotados nas Figuras IV.8.1.9 e IV.8.1.10.

$$a) Y = 0,1737 + 0,0017x$$

$$R = 0,91$$

$$\alpha = 0,001$$

onde:

Y = área específica determinada pelo método do Blaine (m^2/g);

x = resistência à compressão simples dos solos lateríticos estabilizados com 6,0% de cal, curado por períodos de 28 dias (KPa);

R = coeficiente de correlação;

α = nível de significância (%).

$$b) Y = 0,2000 + 0,0013x$$

$$R = 0,93$$

$$\alpha = 0,001$$

onde:

Y = área específica determinada pelo método do Fisher (m^2/g);

x = resistência à compressão simples dos solos lateríticos estabilizados com 6,0% de cal, curado por períodos de 28

dias (KPa);

R = coeficiente de correlação;

α = nível de significância (%).

A Tabela IV.8.1.6, mostra as correlações simples lineares, logarítmicas, exponenciais e potenciais entre a área específica e a resistência à compressão simples dos solos lateríticos estabilizados com 6,0% de cal, curados por período de 60 dias. Observa-se que, dos quatro tipos de regressões estudadas, a regressão simples linear ($Y = A + Bx$) e a exponencial ($Y = A e^{Bx}$) entre o Fisher e a RCS_{60} , foram as que conduziram aos melhores resultados. Observando-se ainda que das 8 correlações realizadas, todas foram altamente significativas ($NS \leq 0,01$). As equações que obtiveram maiores níveis de significâncias serão listados a seguir e seus gráficos plotados nas Figuras IV.8.1.11 e IV.8.1.12.

$$a) Y = 0,2833 + 0,0011x$$

$$R = 0,85$$

$$\alpha = 0,004$$

onde:

Y = área específica determinada pelo método do Fisher (m^2/g);

x = resistência à compressão simples dos solos lateríticos estabilizados com 6,0% de cal, curados por período de 60 dias (KPa);

R = coeficiente de correlação;

α = nível de significância (%).

$$b) Y = 0,3955 e^{0,0013x}$$

$$R = 0,82$$

$$\alpha = 0,010$$

onde:

Y = área específica determinada pelo método do Fisher (m^2/g);

x = resistência à compressão simples dos solos lateríticos es
tabilizados com 6,0% de cal, curados por período de 60
dias (KPa);

R = coeficiente de correlação;

α = nível de significância (%).

A Tabela IV.8.1.7, mostra as correlações sim
ples lineares, logarítmicas, exponenciais e potenciais entre
a área específica determinada pelos métodos de Blaine e
Fisher e a resistência à compressão simples dos solos laterí-
ticos estabilizados com 9,0% de cal, curados por período de
7 dias. Observa-se que, dos quatro tipos de regressões estuda
das, a regressão logarítmica ($Y = A + B \ln x$) entre o Fisher e
a RCS_7 e o Blaine e a RCS_7 , foi a que conduziu ao melhor re
sultado. Observa-se ainda que das 8 correlações realizados to
das foram significativas, sendo 5 significativas ($NS \leq 0,05$) e
3 altamente significativas ($NS \leq 0,01$). As equações que obti
veram maiores níveis de significâncias serão listadas a se
guir e seus gráficos plotados nas Figuras IV.8.1.13 e IV.8.1.14.

$$a) Y = -1,3277 + 0,3802 \ln x$$

$$R = 0,66$$

$$\alpha = 0,526$$

onde:

Y = área específica determinada pelo método do Fisher (m^2/g);

x = resistência à compressão simples dos solos lateríticos es
tabilizados com 9,0% de cal, curados por período de 7
dias (KPa);

R = coeficiente de correlação;

α = nível de significância (%).

$$b) Y = -1,7132 + 0,4782 \ln x$$

$$R = 0,650$$

$$\alpha = 0,700$$

onde:

Y = área específica determinada pelo método do Blaine (m^2/g);

x = resistência à compressão simples dos solos lateríticos es
tabilizados com 9,0% de cal, curados por período de 7
dias (KPa);

R = coeficiente de correlação;

α = nível de significância (%).

A Tabela IV.8.1.8, mostra as correlações sim
ples lineares, logarítmicas, exponenciais e potenciais entre
a área específica determianda pelos métodos do permeâmetro de
Blaine e Fisher e a resistência à compressão simples dos so
los lateríticos estabilizados com 9,0% de cal, curados por pe
ríodo de 28 dias. Verifica-se que, dos quatro tipos de re
gressões estudadas, a regressão exponencial ($Y = A e^{Bx}$) e a
potencial ($Y = A x^B$) entre o Blaine e a RCS_{28} foram as que
conduziram aos melhores resultados. Verifica-se ainda que das
8 correlações realizadas, todas foram altamente significati -
vas ($NS \leq 0,01$). As equações que obtiveram maiores níveis de
significância serão listados a seguir e seus gráficos plota-
dos nas Figuras IV.8.1.15 e IV.8.1.16.

$$a) Y = 0,0213 x^{0,6245}$$

$$R = 0,74$$

$$\alpha = 0,134$$

onde:

Y = área específica determinada pelo método do Blaine (m^2/g);

x = resistência à compressão simples dos solos lateríticos estabilizados com 9,0% de cal, curados por período de 28 dias (KPa);

R = coeficiente de correlação;

α = nível de significância (%).

$$b) Y = 0,4513 e^{0,0015x}$$

$$R = 0,720$$

$$\alpha = 0,182$$

onde:

Y = área específica determinada pelo método do Blaine (m^2/g);

x = resistência à compressão simples dos solos lateríticos estabilizados com 9,0% de cal, curados por período de 28 dias (KPa);

R = coeficiente de correlação;

α = nível de significância (%).

A Tabela IV.8.1.9 mostra as correlações simples lineares, logarítmicas, exponenciais e potenciais entre a área específica determinada pelos métodos do permeâmetro de Blaine e Fisher e a resistência à compressão simples dos solos lateríticos estabilizados com 9,0% de cal, curados por período de 60 dias. Observa-se que, dos quatro tipos de regressões estudadas, a regressão simples linear ($Y = A + Bx$) e a exponencial ($Y = Ae^{Bx}$) entre o Fisher e a RCS_{60} foram as que conduziram aos melhores resultados. Observando-se ainda que das 8 correlações realizadas, todas foram altamente significativas ($NS \leq 0,01$). As equações que obtiveram maiores níveis de significância serão listadas a seguir e seus gráficos plotados nas Figuras IV.8.1.17 e IV.8.1.18.

$$a) Y = 0,2848 + 0,0010x$$

$$R = 0,76$$

$$\alpha = 0,064$$

onde:

Y = área específica determinada pelo método do Fisher (m^2/g);

x = resistência à compressão simples dos solos lateríticos es
tabilizados com 9,0% de cal, curadas por período de 60
dias (KPa);

R = coeficiente de correlação;

α = nível de significância (%).

$$b) Y = 0,3683 e^{0,0014x}$$

$$R = 0,74$$

$$\alpha = 0,100$$

onde:

Y = área específica determinada pelo método do Fisher (m^2/g);

x = resistência à compressão simples dos solos lateríticos es
tabilizados com 9,0% de cal, curados por período de 60
dias (KPa);

R = coeficiente de correlação;

α = nível de significância (%).

A Tabela IV.8.1.10, mostra as correlações li
neares múltiplas entre a área específica determinada pelos
métodos do permeâmetro de Blaine e Fisher e a resistência à
compressão simples dos solos lateríticos estabilizados com
3,0% de cal, curados por períodos de 7 dias, 28 dias e 60
dias. Observa-se que das 4 correlações realizadas, não exis
tem correlações significativas, devido o fator calculado en
contrado ser menor do que o fator estatístico ($F_c < F_e$).

A Tabela IV.8.1.11 mostra as correlações li
neares múltiplas entre a área específica determinada pelos mé

todos do permeâmetro de Blaine e Fisher e a resistência à compressão simples dos solos lateríticos estabilizados com 6,0 % de cal, curados por períodos de 7 dias, 28 dias e 60 dias. Observa-se que das 4 correlações realizadas, todas foram significativas. A equação que envolve as três variáveis independentes será listada a seguir.

$$a) Y = - 0,3089 \cdot 10^{-3} x_1 + 0,2813 \cdot 10^{-2} x_2 - 0,9499 \cdot 10^{-3} x_3 + 0,2103$$

$$R = 0,93$$

$$F_c = 26,022$$

$$F_e = 5,95$$

onde:

Y = área específica determinada pelo método do Blaine (m²/g);

x₁ = resistência à compressão simples dos solos lateríticos estabilizados com 6,0% de cal, curados por período de 7 dias (KPa);

x₂ = resistência à compressão simples dos solos lateríticos estabilizados com 6,0% de cal, curados por período de 28 dias (KPa);

x₃ = resistência à compressão simples dos solos lateríticos estabilizados com 6,0% de cal, curados por período de 60 dias (KPa);

R = coeficiente de correlação;

F_c = fator calculado;

F_e = fator estatístico.

A Tabela IV.8.1.12 mostra as correlações lineares múltiplas entre a área específica determinada pelos métodos do permeâmetro de Blaine e Fisher e a resistência à com

pressão simples dos solos lateríticos estabilizados com 9,0% de cal, curados por períodos de 7 dias, 28 dias e 60 dias. Observa-se que das 4 correlações realizadas, apenas em duas, existem correlações significativas ($F_c < F_e$). A equação que obteve maior nível de significância será listada a seguir.

$$a) Y = 0,3861 \cdot 10^{-3} x_1 + 0,8613 \cdot 10^{-3} x_3 + 0,2527$$

$$R = 0,77$$

$$F_c = 9,26$$

$$F_e = 6,70$$

onde:

Y = área específica determinada pelo método do Fisher (m^2/g);

x_1 = resistência à compressão simples dos solos lateríticos estabilizados com 9,0% de cal, curados por período de 7 dias (KPa);

x_3 = resistência à compressão simples dos solos lateríticos estabilizados com 9,0% de cal, curados por período de 60 dias (KPa);

R = coeficiente de correlação;

F_c = fator calculado;

F_e = fator estatístico.

Em resumo, observa-se que: a) de um total de 72 correlações simples (lineares, logarítmicas, exponenciais e potenciais) realizadas, 16 foram significativas ($NS \leq 0,05$) e 56 altamente significativas ($NS \leq 0,01$); b) das 12 correlações lineares múltiplas estudadas, apenas em 5 existem correlações significativas ($F_c > F_e$); c) as melhores correlações foram obtidas para os solos lateríticos estabilizados com 6,0% de cal, curados por períodos de 28 dias e 60 dias; d) dos cinco modelos estatísticos estudados, as regressões logarítmicas

($Y = A + B \ln x$) e lineares simples ($Y = A + Bx$) mostraram-se mais adequadas; e) todas as equações seguem o modelo proposto com exceção das correlações lineares múltiplas entre a área específica e a resistência à compressão simples dos solos lateríticos estabilizados com 3,0% de cal.

E finalmente, como pode ser observado, existe um elevado grau de correlações entre os parâmetros de área específica determinada pelos métodos do permeâmetro de Blaine e Fisher e resistência à compressão simples dos solos lateríticos estabilizados com cal. Desta forma, fica evidenciado a possibilidade da pré-seleção de solos lateríticos mais adequados para estabilização com cal, através da determinação da área específica. Portanto, somente os solos lateríticos mais promissores deverão ser submetidos à sequência de ensaios proposta por Thompson (1966).

IV.8.2 - Correlações Estatísticas entre a Área Específica e o Índice de Suporte Califórnia.

Os resultados obtidos para as correlações simples lineares, logarítmicas, exponenciais e potenciais, e as correlações lineares múltiplas em termos de coeficiente de correlação, grau de liberdade, níveis de significância, constantes **A** e **B**, fator calculado, fator estatístico e as equações para área específica determinada pelos métodos do permeâmetro de Blaine e Fisher e o Índice de Suporte Califórnia dos solos lateríticos estabilizados com 3,0%, 6,0% e 9,0% de cal, curados por períodos de 7 dias, 28 dias e 60 dias, estão contidos nas Tabelas de IV.8.2.1 a IV.8.2.12.

Verifica-se que, dos cinco tipos de ajustamentos estudados entre a área específica e o Índice de Suporte Califórnia dos solos lateríticos estabilizados com cal, não existe correlações significativas.

Uma análise conjunta dos resultados das correlações estatísticas realizadas entre a área específica e Índice de Suporte Califórnia dos solos lateríticos estabilizados com cal, mostra que a área específica tem pouca utilidade para uma melhor compreensão/entendimento do comportamento do Índice de Suporte Califórnia dos solos lateríticos estabilizados com cal. Esta ausência de correlações vem confirmar a tendência mais recente em engenharia para abandono do Índice de Suporte Califórnia como dado auxiliar para dimensionamento de pavimentos flexíveis e não flexíveis.

VARIÁVEIS (YX)	TIPOS DE AJUSTAMENTOS	GRAU DE LIBERDADE (N-2)	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (R)	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (%)	EQUAÇÃO
Blaine x RCS ₇	$Y = A + BX$	14	0,67	0,463	$Y = 0,3412 + 0,0028X$
Blaine x RCS ₇	$Y = A + BLNX$	14	0,61	1,120	$Y = -2,7700 + 0,7014 \ln X$
Blaine x RCS ₇	$Y = Ae^{BX}$	14	0,69	0,304	$Y = 0,4575 e^{0,0030X}$
Blaine x RCS ₇	$Y = AX^B$	14	0,65	0,627	$Y = 0,01498 X^{0,7649}$
Fisher x RCS ₇	$Y = A + BX$	14	0,61	1,270	$Y = 0,4000 + 0,0020X$
Fisher x RCS ₇	$Y = A + BLNX$	14	0,58	1,870	$Y = -1,8000 + 0,4900 \ln X$
Fisher x RCS ₇	$Y = Ae^{BX}$	14	0,63	0,862	$Y = 0,4207 e^{0,0026X}$
Fisher x RCS ₇	$Y = AX^B$	14	0,62	1,126	$Y = 0,02124 X^{0,6681}$

TABELA IV.8.1.1 - Correlações Estatísticas entre Área Específica e Resistência à Compressão Simples (RCS) de Solos Lateríticos Estabilizados com 3,0% de Cal, Curados por Período de 7 dias em Câmara Úmida com 100% de Umidade Relativa.

VARIÁVEIS (YX)	TIPOS DE AJUSTAMENTOS	GRAU DE LIBERDADE (N-2)	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (R)	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (%)	EQUAÇÃO
Blaine x RCS ₂₈	$Y = A + BX$	14	0,570	2,012	$Y = 0,5050 + 0,0014X$
Blaine x RCS ₂₈	$Y = A + BLNX$	14	0,570	2,081	$Y = -1,9178 + 0,5096 \ln X$
Blaine x RCS ₂₈	$Y = Ae^{BX}$	14	0,620	1,032	$Y = 0,5183 e^{0,0017X}$
Blaine x RCS ₂₈	$Y = AX^B$	14	0,630	0,927	$Y = 0,0305 X^{0,5940}$
Fisher x RCS ₂₈	$Y = A + BX$	14	0,660	0,631	$Y = 0,4200 + 0,0012X$
Fisher x RCS ₂₈	$Y = A + BLNX$	14	0,620	1,014	$Y = -1,5206 + 0,4104 \ln X$
Fisher x RCS ₂₈	$Y = Ae^{BX}$	14	0,670	0,453	$Y = 0,4370 e^{0,0017X}$
Fisher x RCS ₂₈	$Y = AX^B$	14	0,650	0,632	$Y = 0,0311 X^{0,5609}$

TABELA IV.8.1.2 - Correlações Estatísticas entre Área Específica e Resistência à Compressão Simples (RCS) de Solos Lateríticos Estabilizados com 3,0% de Cal, Curados por Período de 28 dias em Câmara Úmida com 100% de Umidade Relativa.

VARIÁVEIS (YX)	TIPOS DE AJUSTAMENTOS	GRAU DE LIBERDADE (N-2)	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (R)	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (%)	EQUAÇÃO
Blaine x RCS ₆₀	$Y = A + BX$	14	0,59	1,552	$Y = 0,4232 + 0,0018X$
Blaine x RCS ₆₀	$Y = A + BLNX$	14	0,56	2,357	$Y = -1,8959 + 0,5074 \ln X$
Blaine x RCS ₆₀	$Y = Ae^{BX}$	14	0,62	0,966	$Y = 0,4900 e^{0,0019X}$
Blaine x RCS ₆₀	$Y = AX^B$	14	0,58	1,765	$Y = 0,0368 X^{0,5630}$
Fisher x RCS ₆₀	$Y = A + BX$	14	0,67	0,409	$Y = 0,3400 + 0,0020X$
Fisher x RCS ₆₀	$Y = A + BLNX$	14	0,62	1,021	$Y = -1,5661 + 0,4198 \ln X$
Fisher x RCS ₆₀	$Y = Ae^{BX}$	14	0,71	0,207	$Y = 0,4063 e^{0,0019X}$
Fisher x RCS ₆₀	$Y = AX^B$	14	0,66	0,550	$Y = 0,0334 X^{0,5502}$

TABELA IV.8.1.3 - Correlações Estatísticas entre Área Específica e Resistência à Compressão Simples (RCS) de Solos Lateríticos Estabilizados com 3,0% de Cal, Curados por Período de 60 dias em Câmara Úmida com 100% de Umidade Relativa.

VARIÁVEIS (YX)	TIPOS DE AJUSTAMENTOS	GRAU DE LIBERDADE (N-2)	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (R)	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (%)	EQUAÇÃO
Blaine x RCS ₇	$Y = A + BX$	14	0,71	0,192	$Y = 0,1800 + 0,0030X$
Blaine x RCS ₇	$Y = A + BLNX$	14	0,70	0,241	$Y = -3,5031 + 0,7966 \ln X$
Blaine x RCS ₇	$Y = Ae^{BX}$	14	0,74	0,110	$Y = 0,2635 e^{0,0042X}$
Blaine x RCS ₇	$Y = AX^B$	14	0,76	0,085	$Y = 4,8376 \cdot 10^{-3} X^{0,9274}$
Fisher x RCS ₇	$Y = A + BX$	14	0,75	0,080	$Y = 0,1900 + 0,0002X$
Fisher x RCS ₇	$Y = A + BLNX$	14	0,73	0,123	$Y = -2,6173 + 0,6095 \ln X$
Fisher x RCS ₇	$Y = Ae^{BX}$	14	0,77	0,044	$Y = 0,2566 e^{0,0037X}$
Fisher x RCS ₇	$Y = AX^B$	14	0,75	0,063	$Y = 6,3154 \cdot 10^{-3} X^{0,8499}$

TABELA IV.8.1.4 - Correlações Estatísticas entre Área Específica e Resistência à Compressão Simples (RCS) de Solos Lateríticos Estabilizados com 6,0% de Cal, Curados por Período de 7 dias em Câmara Úmida com 100% de Umidade Relativa.

VARIÁVEIS (YX)	TIPOS DE AJUSTAMENTOS	GRAU DE LIBERDADE (N-2)	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (R)	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (%)	EQUAÇÃO
Blaine x RCS ₂₈	$Y = A + BX$	14	0,91	0,001	$Y = 0,1737 + 0,0017X$
Blaine x RCS ₂₈	$Y = A + BLNX$	14	0,86	0,002	$Y = -3,0061 + 0,6602 \ln X$
Blaine x RCS ₂₈	$Y = Ae^{BX}$	14	0,87	0,001	$Y = 0,3703 e^{0,0018X}$
Blaine x RCS ₂₈	$Y = AX^B$	14	0,87	0,001	$Y = 8,6866 \cdot 10^{-3} X^{0,7675}$
Fisher x RCS ₂₈	$Y = A + BX$	14	0,93	0,001	$Y = 0,2000 + 0,0013X$
Fisher x RCS ₂₈	$Y = A + BLNX$	14	0,88	0,001	$Y = -2,2441 + 0,5063 \ln X$
Fisher x RCS ₂₈	$Y = Ae^{BX}$	14	0,90	0,001	$Y = 0,3343 e^{0,0017X}$
Fisher x RCS ₂₈	$Y = AX^B$	14	0,87	0,001	$Y = 0,0111 X^{0,6980}$

TABELA IV.8.1.5 - Correlações Estatísticas entre Área Específica e Resistência à Compressão Simples (RCS) de Solos Lateríticos Estabilizados com 6,0% de Cal, Curados por Período de 28 dias em Câmara Úmida com 100% de Umidade Relativa.

VARIÁVEIS (YX)	TIPOS DE AJUSTAMENTOS	GRAU DE LIBERDADE (N-2)	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (R)	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (%)	EQUAÇÃO
Blaine x RCS ₆₀	$Y = A + BX$	14	0,80	0,017	$Y = 0,3115 + 0,0014X$
Blaine x RCS ₆₀	$Y = A + BLNX$	14	0,69	0,312	$Y = -2,7942 + 0,6219 \ln X$
Blaine x RCS ₆₀	$Y = Ae^{BX}$	14	0,77	0,044	$Y = 0,4612 e^{0,0018X}$
Blaine x RCS ₆₀	$Y = AX^B$	14	0,69	0,350	$Y = 0,0182 X^{0,6420}$
Fisher x RCS ₆₀	$Y = A + BX$	14	0,85	0,004	$Y = 0,2833 + 0,0011X$
Fisher x RCS ₆₀	$Y = A + BLNX$	14	0,74	0,116	$Y = -2,2110 + 0,4982 \ln X$
Fisher x RCS ₆₀	$Y = Ae^{BX}$	14	0,82	0,010	$Y = 0,3955 e^{0,0013X}$
Fisher x RCS ₆₀	$Y = AX^B$	14	0,73	0,145	$Y = 0,0170 X^{0,6254}$

TABELA IV.8.1.6 - Correlações Estatísticas entre Área Específica e Resistência à Compressão Simples (RCS) de Solos Lateríticos Estabilizados com 6,0% de Cal, Curados por Período de 60 dias em Câmara Úmida com 100% de Umidade Relativa.

VARIÁVEIS (YX)	TIPOS DE AJUSTAMENTOS	GRAU DE LIBERDADE (N-2)	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (R)	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (%)	EQUAÇÃO
Blaine x RCS ₇	$Y = A + BX$	14	0,59	1,533	$Y = 0,3273 + 0,0021X$
Blaine x RCS ₇	$Y = A + BLNX$	14	0,65	0,700	$Y = -1,7132 + 0,4782 \ln X$
Blaine x RCS ₇	$Y = Ae^{BX}$	14	0,55	2,700	$Y = 0,3945 e^{0,0027X}$
Blaine x RCS ₇	$Y = AX^B$	14	0,61	1,190	$Y = 0,0286 X^{0,6109}$
Fisher x RCS ₇	$Y = A + BX$	14	0,64	0,711	$Y = 0,2800 + 0,0200X$
Fisher x RCS ₇	$Y = A + BLNX$	14	0,66	0,526	$Y = -1,3277 + 0,3802 \ln X$
Fisher x RCS ₇	$Y = Ae^{BX}$	14	0,59	1,632	$Y = 0,3442 e^{0,0026X}$
Fisher x RCS ₇	$Y = AX^B$	14	0,61	1,161	$Y = 0,0310 X^{0,5674}$

TABELA IV.8.1.7 - Correlações Estatísticas entre Área Específica e Resistência à Compressão Simples (RCS) de Solos Lateríticos Estabilizados com 9,0% de Cal, Curados por Período de 7 dias em Câmara Úmida com 100% de Umidade Relativa.

VARIÁVEIS (YX)	TIPOS DE AJUSTAMENTOS	GRAU DE LIBERDADE (N-2)	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (R)	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (%)	EQUAÇÃO
Blaine x RCS ₂₈	$Y = A + BX$	14	0,710	0,203	$Y = 0,3848 + 0,0013X$
Blaine x RCS ₂₈	$Y = A + BLNX$	14	0,700	0,235	$Y = -2,1696 + 0,5265 \ln X$
Blaine x RCS ₂₈	$Y = Ae^{BX}$	14	0,720	0,182	$Y = 0,4513 e^{0,0015X}$
Blaine x RCS ₂₈	$Y = AX^B$	14	0,740	0,134	$Y = 0,0213 X^{0,6245}$
Fisher x RCS ₂₈	$Y = A + BX$	14	0,710	0,187	$Y = 0,3638 + 0,0010X$
Fisher x RCS ₂₈	$Y = A + BLNX$	14	0,700	0,310	$Y = 1,5509 + 0,3953 \ln X$
Fisher x RCS ₂₈	$Y = Ae^{BX}$	14	0,710	0,210	$Y = 0,4113 e^{0,0014X}$
Fisher x RCS ₂₈	$Y = AX^B$	14	0,710	0,247	$Y = 0,0277 X^{0,5534}$

TABELA IV.8.1.8 - Correlações Estatísticas entre Área Específica e Resistência à Compressão Simples (RCS) de Solos Lateríticos Estabilizados com 9,0% de Cal, Curados por Período de 28 dias em Câmara Úmida com 100% de Umidade Relativa.

VARIÁVEIS (YX)	TIPOS DE AJUSTAMENTOS	GRAU DE LIBERDADE (N-2)	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (R)	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (%)	EQUAÇÃO
Blaine x Rcs ₆₀	$Y = A + BX$	14	0,690	0,325	$Y = 0,3438 + 0,0013X$
Blaine x RCS ₆₀	$Y = A + BLNX$	14	0,690	0,298	$Y = -2,2303 + 0,5240 \ln X$
Blaine x RCS ₆₀	$Y = Ae^{BX}$	14	0,690	0,281	$Y = 0,4265 e^{0,0014X}$
Blaine x RCS ₆₀	$Y = AX^B$	14	0,710	0,215	$Y = 0,0201 x^{0,6192}$
Fisher x RCS ₆₀	$Y = A + BX$	14	0,760	0,064	$Y = 0,2848 + 0,0010X$
Fisher x RCS ₆₀	$Y = A + BLNX$	14	0,740	0,126	$Y = -1,7730 + 0,4222 \ln X$
Fisher x RCS ₆₀	$Y = Ae^{BX}$	14	0,740	0,100	$Y = 0,3683 e^{0,0014X}$
Fisher x RCS ₆₀	$Y = AX^B$	14	0,730	0,154	$Y = 0,0209 x^{0,5865}$

TABELA IV.8.1.9 - Correlações Estatísticas entre Área Específica e Resistência à Compressão Simples (RCS) de Solos Lateríticos Estabilizados com 9,0% de Cal, Curados por Período de 60 dias em Câmara Úmida com 100% de Umidade Relativa.

VARIÁVEL DEPENDENTE (Y)	VARIÁVEL INDEPENDENTE x_1, x_2, x_3	GRAU DE LIBERDADE	COEF. DE CORREL. MÚLTIPLA	F CALCULADO	F CRÍT. (0,01)	EQUAÇÃO $Y = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + C$
BLAINE	x_1 = Sete dias de cura.	2/13	0,68	5,57	6,70	$Y = 0,2205 \cdot 10^{-2}x_1 + 0,5624 \cdot 10^{-3}x_3 + 0,3014$
	x_2 = Vinte e oito dias de cura.	3/12	0,72	4,35	5,95	$Y = 0,3351 \cdot 10^{-2}x_1 - 0,3112 \cdot 10^{-2}x_2 + 0,3481 \cdot 10^{-2}x_3 + 0,1367$
	x_3 = Sessenta dias de cura.					
FISHER	x_1 = Sete dias de cura.	2/13	0,69	5,86	6,70	$Y = 0,6678 \cdot 10^{-3}x_1 + 0,1137 \cdot 10^{-2}x_3 + 0,2990$
	x_2 = Vinte e oito dias de cura.	3/12	0,70	3,81	5,95	$Y = 0,1085 \cdot 10^{-2}x_1 - 0,1132 \cdot 10^{-2}x_2 + 0,2199 \cdot 10^{-2}x_3 + 0,2391$
	x_3 = Sessenta dias de cura.					

TABELA IV.8.1.10 - Correlações Lineares Múltiplas entre Área Específica e Resistência à Compressão Simples de Solos Lateríticos Aditivados com 3,0% de Cal, Curados por Períodos de 7 dias, 28 dias e 60 dias.

VARIÁVEL DEPENDENTE (Y)	VARIÁVEL INDEPENDENTE x_1, x_2, x_3	GRAU DE LIBERDADE	COEF. DE CORREL. MÚLTIPLA	F CALCULADO	F CRÍT. (0,01)	EQUAÇÃO $Y = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + C$
BLAINE	x_1 = Sete dias de cura.	2/13	0,93	41,409	6,70	$Y = 0,2633 \cdot 10^{-2} x_2 - 0,8945 \cdot 10^{-3} x_3 + 0,1744$
	x_2 = Vinte e oito dias de cura. x_3 = Sessenta dias de cura.	3/12	0,93	26,022	5,95	$Y = -0,3089 \cdot 10^{-3} x_1 + 0,2813 \cdot 10^{-2} x_2 - 0,9499 \cdot 10^{-3} x_3 + 0,2103$
FISHER	x_1 = Sete dias de cura.	2/13	0,93	45,86	6,70	$Y = 0,1664 \cdot 10^{-2} x_2 - 0,3431 \cdot 10^{-3} x_3 + 0,1964$
	x_2 = Vinte e oito dias de cura. x_3 = Sessenta dias de cura.	3/12	0,93	27,08	5,95	$Y = -0,3265 \cdot 10^{-3} x_1 + 0,2914 \cdot 10^{-3} x_2 - 0,9691 \cdot 10^{-3} x_3 + 0,2504$

TABELA IV.8.1.11- Correlações Lineares Múltiplas entre Área Específica e Resistência à Compressão Simples, de Solos Lateríticos Aditivados com 6,0% de Cal, Curados por Períodos de 7 dias, 28 dias e 60 dias.

VARIÁVEL DEPENDENTE (Y)	VARIÁVEL INDEPENDENTE x_1, x_2, x_3	GRAU DE LIBERDADE	COEF. DE CORREL. MÚLTIPLA	F CALCULADO.	F CRÍT. (0,01)	EQUAÇÃO $Y = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + C$
BLAINE	x_1 = Sete dias de cura.	2/13	0,72	6,88	6,70	$Y = 0,9289 \cdot 10^{-3}x_2 + 0,4169 \cdot 10^{-3}x_3 + 0,3502$
	x_2 = Vinte e oito dias de cura.	3/12	0,72	4,25	5,95	$Y = 0,2129 \cdot 10^{-3}x_1 + 0,8731 \cdot 10^{-3}x_2 + 0,3838 \cdot 10^{-3}x_3 + 0,3263$
	x_3 = Sessenta dias de cura.					
FISHER	x_1 = Sete dias de cura.	2/13	0,77	9,26	6,70	$Y = 0,3861 \cdot 10^{-3}x_1 + 0,8613 \cdot 10^{-3}x_3 + 0,2527$
	x_2 = Vinte e oito dias de cura.	3/12	0,77	5,72	5,95	$Y = 0,3362 \cdot 10^{-3}x_1 + 0,1163 \cdot 10^{-3}x_2 + 0,7810 \cdot 10^{-3}x_3 + 0,2570$
	x_3 = Sessenta dias de cura.					

TABELA IV.8.1.12- Correlações Lineares Múltiplas entre Área Específica e Resistência à Compressão Simples de Solos Lateríticos Aditivados com 9,0% de Cal, Curados por Períodos de 7 dias, 28 dias e 60 dias.

VARIÁVEIS (YX)	TIPOS DE AJUSTAMENTOS	GRAU DE LIBERDADE (N-2)	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (R)	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (%)	EQUAÇÃO
Blaine x CBR ₇	$Y = A + BX$	14	- 0,05	98,437	$Y = 1,000 - 0,0003X$
Blaine x CBR ₇	$Y = A + BLNX$	14	- 0,01	97,740	$Y = 1,0283 - 0,0111 \ln X$
Blaine x CBR ₇	$Y = Ae^{BX}$	14	- 0,03	92,300	$Y = 0,9495 e^{-0,0018X}$
Blaine x CBR ₇	$Y = AX^B$	14	- 0,05	85,640	$Y = 1,1777X^{-0,0824}$
Fisher x CBR ₇	$Y = A + BX$	14	0,16	54,960	$Y = 0,6465 + 0,0073X$
Fisher x CBR ₇	$Y = A + BLNX$	14	0,12	64,850	$Y = 0,4008 + 0,1340 \ln X$
Fisher x CBR ₇	$Y = Ae^{BX}$	14	0,10	70,310	$Y = 0,6520 e^{0,0066X}$
Fisher x CBR ₇	$Y = AX^B$	14	0,05	84,150	$Y = 0,5914 X^{0,0825}$

TABELA IV.8.2.1 - Correlações Estatísticas entre Área Específica e o Índice de Suporte Califórnia (CBR) de Solos Lateríticos Estabilizados com 3,0% de Cal, Curados por Período de 7 dias em Câmara Úmida com 100% de Umidade Relativa.

VARIÁVEIS (YX)	TIPOS DE AJUSTAMENTOS	GRAU DE LIBERDADE (N-2)	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (R)	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (%)	EQUAÇÃO
Blaine x CBR ₂₈	$Y = A + BX$	14	0,07	79,254	$Y = 0,8953 + 0,0029X$
Blaine x CBR ₂₈	$Y = A + BLNX$	14	0,05	85,240	$Y = 0,7483 + 0,0707 \ln X$
Blaine x CBR ₂₈	$Y = Ae^{BX}$	14	0,09	72,570	$Y = 0,7809 e^{0,0045X}$
Blaine x CBR ₂₈	$Y = AX^B$	14	0,06	82,320	$Y = 0,6460 X^{0,0984}$
Fisher x CBR ₂₈	$Y = A + BX$	14	0,26	35,009	$Y = 0,5667 + 0,0077X$
Fisher x CBR ₂₈	$Y = A + BLNX$	14	0,21	44,090	$Y = 0,0701 + 0,2175 \ln X$
Fisher x CBR ₂₈	$Y = Ae^{BX}$	14	0,21	42,250	$Y = 0,5599 e^{0,0094X}$
Fisher x CBR ₂₈	$Y = AX^B$	14	0,16	54,480	$Y = 0,3339 X^{0,2403}$

TABELA IV.8.2.2 - Correlações Estatísticas entre Área Específica e o Índice de Suporte Califórnia (CBR) de Solos Lateríticos Estabilizados com 3,0% de Cal, Curados por Período de 28 dias em Câmara Úmida com 100% de Umidade Relativa.

VARIÁVEIS (YX)	TIPOS DE AJUSTAMENTOS	GRAU DE LIBERDADE (N-2)	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (R)	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (%)	EQUAÇÃO
Blaine x CBR ₆₀	$Y = A + BX$	14	- 0,15	57,734	$Y = - 0,0036 + 1,1794X$
Blaine x CBR ₆₀	$Y = A + BLNX$	14	- 0,20	45,580	$Y = 1,8391 - 0,2177 \ln X$
Blaine x CBR ₆₀	$Y = Ae^{BX}$	14	- 0,07	78,910	$Y = 1,0078 e^{-0,0020X}$
Blaine x CBR ₆₀	$Y = AX^B$	14	- 0,13	63,600	$Y = 1,6985 X^{0,1289}$
Fisher x CBR ₆₀	$Y = A + BX$	14	0,16	55,200	$Y = 0,6746 + 0,0029X$
Fisher x CBR ₆₀	$Y = A + BLNX$	14	0,11	68,880	$Y = 0,4789 + 0,0884 \ln X$
Fisher x CBR ₆₀	$Y = Ae^{BX}$	14	0,16	53,900	$Y = 0,6159 e^{0,0042X}$
Fisher x CBR ₆₀	$Y = AX^B$	14	0,11	67,680	$Y = 0,4650 X^{0,1289}$

TABELA IV.8.2.3 - Correlações Estatísticas entre Área Específica e o Índice de Suporte Califórnia (CBR) de Solos Lateríticos Estabilizados com 3,0% de Cal, Curados por Período de 60 dias em Câmara Úmida com 100% de Umidade Relativa.

VARIÁVEIS (YX)	TIPOS DE AJUSTAMENTOS	GRAU DE LIBERDADE (N-2)	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (R)	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (%)	EQUAÇÃO
Blaine x CBR ₇	$Y = A + BX$	14	0,12	65,723	$Y = 0,7745 + 0,0067X$
Blaine x CBR ₇	$Y = A + BLNX$	14	0,12	65,330	$Y = 0,2210 + 0,2229 \ln X$
Blaine x CBR ₇	$Y = Ae^{BX}$	14	0,10	70,474	$Y = 0,7309 e^{0,0066X}$
Blaine x CBR ₇	$Y = AX^B$	14	0,10	72,150	$Y = 0,4461 X^{0,2053}$
Fisher x CBR ₇	$Y = A + BX$	14	0,39	13,537	$Y = 0,2914 + 0,0016X$
Fisher x CBR ₇	$Y = A + BLNX$	14	0,39	13,550	$Y = -1,0122 + 0,5301 \ln X$
Fisher x CBR ₇	$Y = Ae^{BX}$	14	0,32	22,453	$Y = 0,4114 e^{0,0189X}$
Fisher x CBR ₇	$Y = AX^B$	14	0,32	21,840	$Y = 0,0876 X^{0,6261}$

TABELA IV.8.2.4 - Correlações Estatísticas entre Área Específica e o Índice de Suporte Califórnia (CBR) de Solos Lateríticos Estabilizados com 6,0% de Cal, Curados por Período de 7 dias em Câmara Úmida com 100% de Umidade Relativa.

VARIÁVEIS (YX)	TIPOS DE AJUSTAMENTOS	GRAU DE LIBERDADE (N-2)	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (R)	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (%)	EQUAÇÃO
Blaine x CBR ₂₈	$Y = A + BX$	14	0,14	61,319	$Y = 0,7718 + 0,0054X$
Blaine x CBR ₂₈	$Y = A + BLNX$	14	0,13	62,810	$Y = 0,1413 + 0,2308 \ln X$
Blaine x CBR ₂₈	$Y = Ae^{BX}$	14	0,14	58,706	$Y = 0,6895 e^{0,0065X}$
Blaine x CBR ₂₈	$Y = AX^B$	14	0,14	61,060	$Y = 0,3257 X^{0,2779}$
Fisher x CBR ₂₈	$Y = A + BX$	14	0,42	10,401	$Y = 1,3120 + 0,0124X$
Fisher x CBR ₂₈	$Y = A + BLNX$	14	0,41	11,030	$Y = -1,9600 + 0,5471 \ln X$
Fisher x CBR ₂₈	$Y = Ae^{BX}$	14	0,35	18,469	$Y = 0,4206 e^{0,01452X}$
Fisher x CBR ₂₈	$Y = AX^B$	14	0,34	20,190	$Y = 0,0792 X^{0,6155}$

TABELA IV.8.2.5 - Correlações Estatísticas entre Área Específica e o Índice de Suporte Califórnia (CBR) de Solos Lateríticos Estabilizados com 6,0% de Cal, Curados por Período de 28 dias em Câmara Úmida com 100% de Umidade Relativa.

VARIÁVEIS (YX)	TIPOS DE AJUSTAMENTOS	GRAU DE LIBERDADE (N-2)	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (R)	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (%)	EQUAÇÃO
Blaine x CBR ₆₀	$Y = A + BX$	14	- 0,15	57,734	$Y = - 0,0036 + 1,1794X$
Blaine x CBR ₆₀	$Y = A + BLNX$	14	- 0,19	48,109	$Y = 1,9395 - 0,2336 \ln X$
Blaine x CBR ₆₀	$Y = Ae^{BX}$	14	- 0,05	84,117	$Y = 0,9899 e^{-0,0015X}$
Blaine x CBR ₆₀	$Y = AX^B$	14	- 0,11	69,590	$Y = 1,6750 X^{-0,1512}$
Fisher x CBR ₆₀	$Y = A + BX$	14	0,16	55,200	$Y = 0,6746 + 0,0029X$
Fisher x CBR ₆₀	$Y = A + BLNX$	14	0,12	66,450	$Y = 0,3836 + 0,1085 \ln X$
Fisher x CBR ₆₀	$Y = Ae^{BX}$	14	0,18	59,970	$Y = 0,5918 e^{0,0043X}$
Fisher x CBR ₆₀	$Y = AX^B$	14	0,13	63,170	$Y = 0,3888 X^{0,1678}$

TABELA IV.8.2.6 - Correlações Estatísticas entre Área Específica e o Índice de Suporte Califórnia (CBR) de Solos Lateríticos Estabilizados com 6,0% de Cal, Curados por Período de 60 dias em Câmara Úmida com 100% de Umidade Relativa.

VARIÁVEIS (YX)	TIPOS DE AJUSTAMENTOS	GRAU DE LIBERDADE (N-2)	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (R)	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (%)	EQUAÇÃO
Blaine x CBR ₇	$Y = A + BX$	14	0,02	93,595	$Y = 0,9632 + 0,0010X$
Blaine x CBR ₇	$Y = A + BLNX$	14	- 0,07	79,030	$Y = 1,3093 - 0,0952 \ln X$
Blaine x CBR ₇	$Y = Ae^{BX}$	14	0,10	71,148	$Y = 0,7744 e^{0,0055X}$
Blaine x CBR ₇	$Y = AX^B$	14	0,02	94,270	$Y = 0,8208 X^{0,0305}$
Fisher x CBR ₇	$Y = A + BX$	14	0,28	28,920	$Y = 0,5335 + 0,1000X$
Fisher x CBR ₇	$Y = A + BLNX$	14	0,19	48,490	$Y = 0,1822 + 0,1901 \ln X$
Fisher x CBR ₇	$Y = Ae^{BX}$	14	0,27	30,374	$Y = 0,5139 e^{0,0138X}$
Fisher x CBR ₇	$Y = AX^B$	14	0,20	45,820	$Y = 0,3005 X^{0,2825}$

TABELA IV.8.2.7 - Correlações Estatísticas entre Área Específica e o Índice de Suporte Califórnia (CBR) de Solos Lateríticos Estabilizados com 9,0% de Cal, Curados por Período de 7 dias em Câmara Úmida com 100% de Umidade Relativa.

VARIÁVEIS (YX)	TIPOS DE AJUSTAMENTOS	GRAU DE LIBERDADE (N-2)	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (R)	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (%)	EQUAÇÃO
Blaine x CBR ₂₈	$Y = A + BX$	14	0,20	57,201	$Y = 0,1530 + 0,0052X$
Blaine x CBR ₂₈	$Y = A + BLNX$	14	0,20	45,530	$Y = - 0,2192 + 0,3181 \ln X$
Blaine x CBR ₂₈	$Y = Ae^{BX}$	14	0,06	82,120	$Y = 0,82104 e^{0,0024X}$
Blaine x CBR ₂₈	$Y = AX^B$	14	- 0,03	90,220	$Y = 1,1267 X^{-0,0571}$
Fisher x CBR ₂₈	$Y = A + BX$	14	0,20	46,142	$Y = 0,5850 + 0,0051X$
Fisher x CBR ₂₈	$Y = A + BLNX$	14	0,23	39,140	$Y = - 0,2175 + 0,2731 \ln X$
Fisher x CBR ₂₈	$Y = Ae^{BX}$	14	0,10	71,147	$Y = 0,6468 e^{0,0036X}$
Fisher x CBR ₂₈	$Y = AX^B$	14	0,10	70,330	$Y = 0,4194 X^{0,1598}$

TABELA IV.8.2.8 - Correlações Estatísticas entre Área Específica e o Índice de Suporte Califórnia (CBR) de Solos Lateríticos Estabilizados com 9,0% de Cal, Curados por Período de 28 dias em Câmara Úmida com 100% de Umidade Relativa.

VARIÁVEIS (YX)	TIPOS DE AJUSTAMENTOS	GRAU DE LIBERDADE (N-2)	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (R)	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (%)	EQUAÇÃO
Blaine x CBR ₆₀	$Y = A + BX$	14	- 0,07	79,601	$Y = 1,1181 - 0,0020X$
Blaine x CBR ₆₀	$Y = A + BLNX$	14	- 0,07	80,618	$Y = 1,4821 - 0,1198 \ln X$
Blaine x CBR ₆₀	$Y = Ae^{BX}$	14	- 0,04	88,060	$Y = 0,9883 e^{-0,0014}$
Blaine x CBR ₆₀	$Y = AX^B$	14	- 0,05	85,440	$Y = 1,3879 X^{-0,1038}$
Fisher x CBR ₆₀	$Y = A + BX$	14	0,07	78,775	$Y = 0,7259 + 0,0016X$
Fisher x CBR ₆₀	$Y = A + BLNX$	14	0,09	72,330	$Y = 0,2943 + 0,1293 \ln X$
Fisher x CBR ₆₀	$Y = Ae^{BX}$	14	0,08	76,449	$Y = 0,6565 e^{0,0025X}$
Fisher x CBR ₆₀	$Y = AX^B$	14	0,09	72,270	$Y = 0,3654 X^{0,1817}$

TABELA IV.8.2.9 - Correlações Estatísticas entre Área Específica e o Índice de Suporte Califórnia (CBR) de Solos Lateríticos Estabilizados com 9,0% de Cal, Curados por Período de 60 dias em Câmara Úmida com 100% de Umidade Relativa.

VARIÁVEL DEPENDENTE (Y)	VARIÁVEL INDEPENDENTE x_1, x_2, x_3	GRAU DE LIBERDADE	COEF. DE CORREL. MÚLTIPLA	F CALCULADO	F CRÍT. (0,01)	EQUAÇÃO $Y = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + C$
BLAINE	x_1 = Sete dias de cura.	2/13	0,23	0,3618	6,70	$Y = 0,8314 \cdot 10^{-2} x_2 - 0,6079 \cdot 10^{-2} x_3 + 1,03107$
	x_2 = Vinte e oito dias de cura. x_3 = Sessenta dias de cura.	3/12	0,24	0,2400	5,95	$Y = -0,5417 \cdot 10^{-2} x_1 + 0,1084 \cdot 10^{-1} x_2 - 0,5922 \cdot 10^{-2} x_3 + 1,0703$
FISHER	x_1 = Sete dias de cura.	2/13	0,26	0,4587	6,70	$Y = 0,7102 \cdot 10^{-2} x_2 + 0,3355 \cdot 10^{-3} x_3 + 0,5441$
	x_2 = Vinte e oito dias de cura. x_3 = Sessenta dias de cura.	3/12	0,26	0,2862	5,95	$Y = -0,1909 \cdot 10^{-2} x_1 + 0,7995 \cdot 10^{-2} x_2 + 0,8911 \cdot 10^{-3} x_3 + 0,5579$

TABELA IV.8.2.10 - Correlações Lineares Múltiplas entre Área Específica e Índice de Suporte Califórnia (CBR) de Solos Lateríticos Aditivados com 3,0% de Cal, Curados por Períodos de 7 dias, 28 dias e 60 dias.

VARIÁVEL DEPENDENTE (Y)	VARIÁVEL INDEPENDENTE x_1, x_2, x_3	GRAU DE LIBERDADE	COEF. DE CORREL. MÚLTIPLA	F CALCULADO	F CRÍT. (0,01)	EQUAÇÃO $Y = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + C$
BLAINE	x_1 = Sete dias de cura.	2/13	0,33	0,7829	6,70	$Y = 0,1524 \cdot 10^{-1}x_2 - 0,8834 \cdot 10^{-2}x_3 + 0,8976$
	x_2 = Vinte e oito dias de cura. x_3 = Sessenta dias de cura.	3/12	0,33	0,5004	5,95	$Y = 0,6455 \cdot 10^{-2}x_1 + 0,1182 \cdot 10^{-1}x_2 - 0,9187 \cdot 10^{-2}x_3 + 0,8485$
FISHER	x_1 = Sete dias de cura.	2/13	0,44	1,5754	6,70	$Y = 0,1572 \cdot 10^{-1}x_2 - 0,2960 \cdot 10^{-2}x_3 + 0,3543$
	x_2 = Vinte e oito dias de cura. x_3 = Sessenta dias de cura.	3/12	0,45	1,0192	5,95	$Y = 0,7121 \cdot 10^{-2}x_1 + 0,1194 \cdot 10^{-1}x_2 - 0,3350 \cdot 10^{-2}x_3 + 0,2999$

TABELA IV.8.2.11- Correlações Lineares Múltiplas entre Área Específica e Índice de Suporte Califórnia (CBR) de Solos Lateríticos Aditivados com 6,0% de Cal, Curados por Períodos de 7 dias, 28 dias e 60 dias.

VARIÁVEL DEPENDENTE (Y)	VARIÁVEL INDEPENDENTE x_1, x_2, x_3	GRAU DE LIBERDADE	COEF. DE CORREL. MÚLTIPLA	F CALCULADO	F CRÍT. (0,01)	EQUAÇÃO $Y = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + C$
BLAINE	x_1 = Sete dias de cura.	2/13	0,23	0,3544	6,70	$Y = 0,8547 \cdot 10^{-2}x_2 - 0,5671 \cdot 10^{-2}x_3 + 0,9392$
	x_2 = Vinte e oito dias de cura. x_3 = Sessenta dias de cura.	3/12	0,23	0,2279	5,95	$Y = -0,2384 \cdot 10^{-2}x_1 + 0,9218 \cdot 10^{-2}x_2 - 0,5810 \cdot 10^{-2}x_3 + 0,9852$
FISHER	x_1 = Sete dias de cura.	2/13	0,30	0,64577	6,70	$Y = 0,1000 \cdot 10^{-1}x_1 + 0,5347$
	x_2 = Vinte e oito dias de cura. x_3 = Sessenta dias de cura.	1/14	0,28	0,1632	9,25	$Y = 0,8597 \cdot 10^{-2}x_1 + 0,2966 \cdot 10^{-2}x_2 + 0,4367$

TABELA IV.8.2.12- Correlações Lineares Múltiplas entre Área Específica e Índice de Suporte Califórnia (CBR) de Solos Lateríticos Aditivados com 9,0% de Cal, Curados por Períodos de 7 dias, 28 dias e 60 dias.

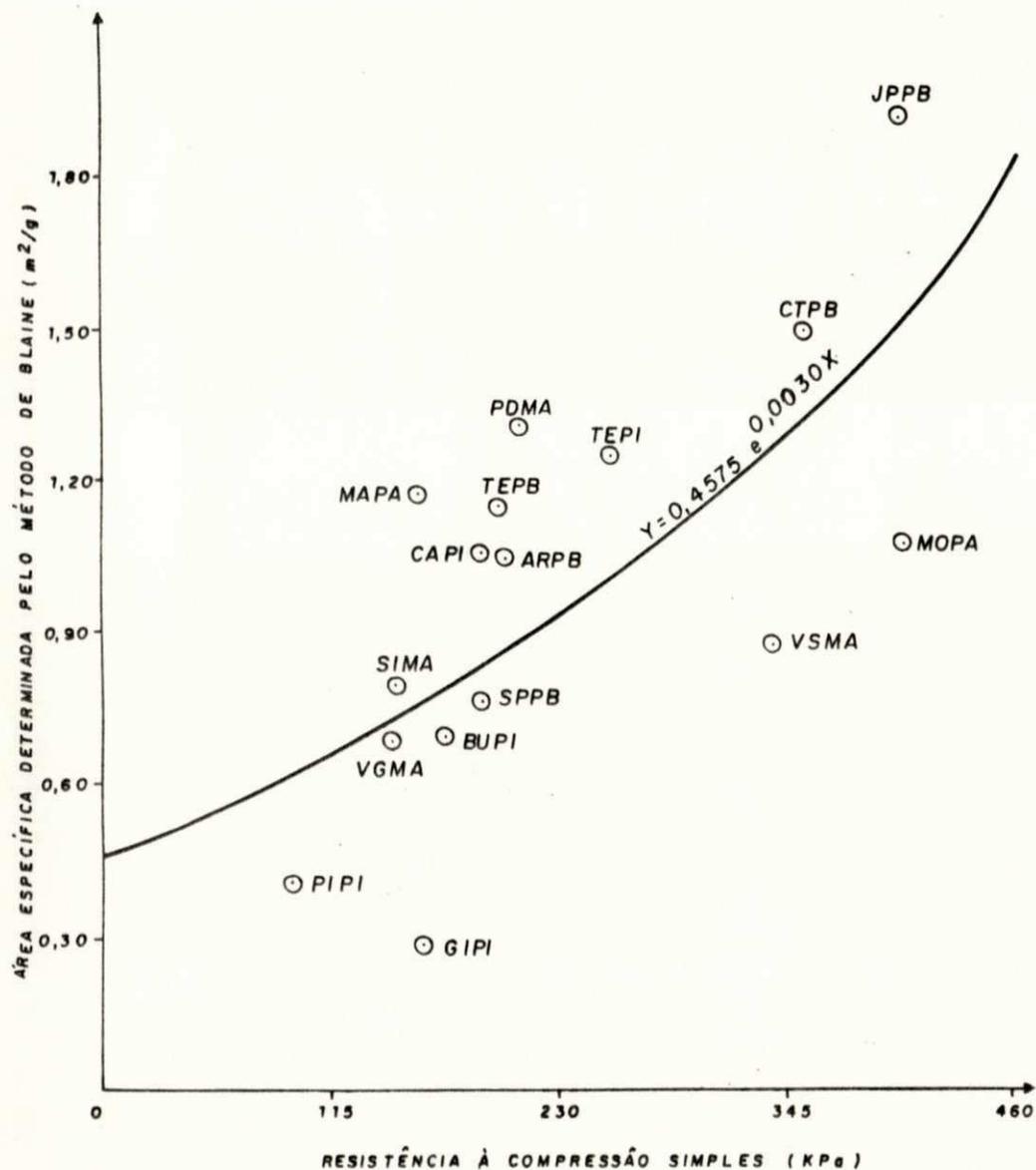


FIGURA IV.8.1.1-CORRELAÇÃO ESTATÍSTICA ENTRE ÁREA ESPECÍFICA DETERMINADA PELO MÉTODO DE BLAINE E RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES DE SOLOS LATERÍTCOS ADITIVOS COM 3,0% DE CAL, CURADOS POR PERÍODO DE 7 DIAS.

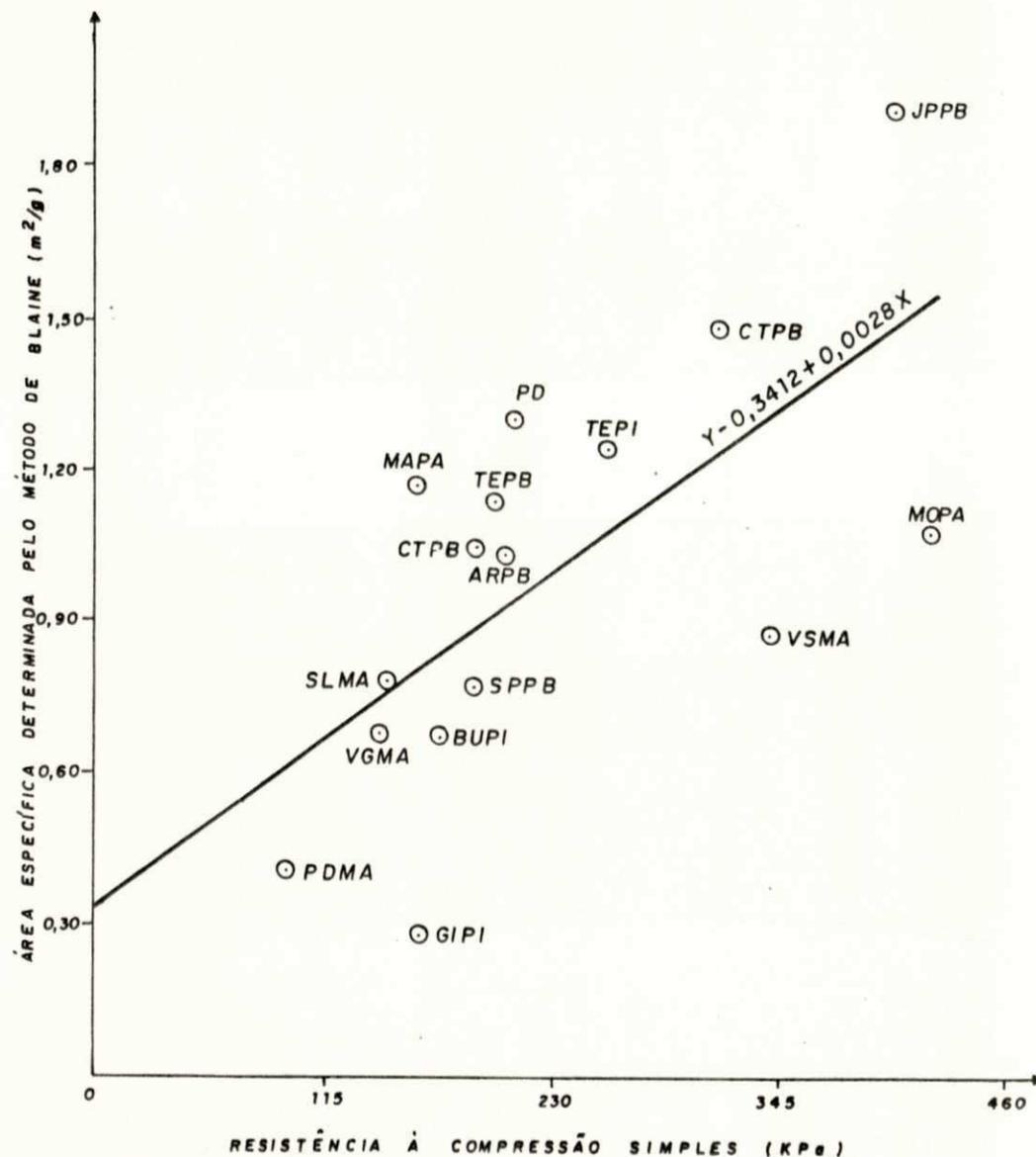


FIGURA IV.8.1.2-CORRELAÇÃO ESTATÍSTICA ENTRE ÁREA ESPECÍFICA DETERMINADA PELO MÉTODO DE BLAINE E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DE SOLOS LATERÍTCOS ADITIVOS COM 3,0% DE CAL, CURADOS POR PERÍODO DE 7 DIAS.

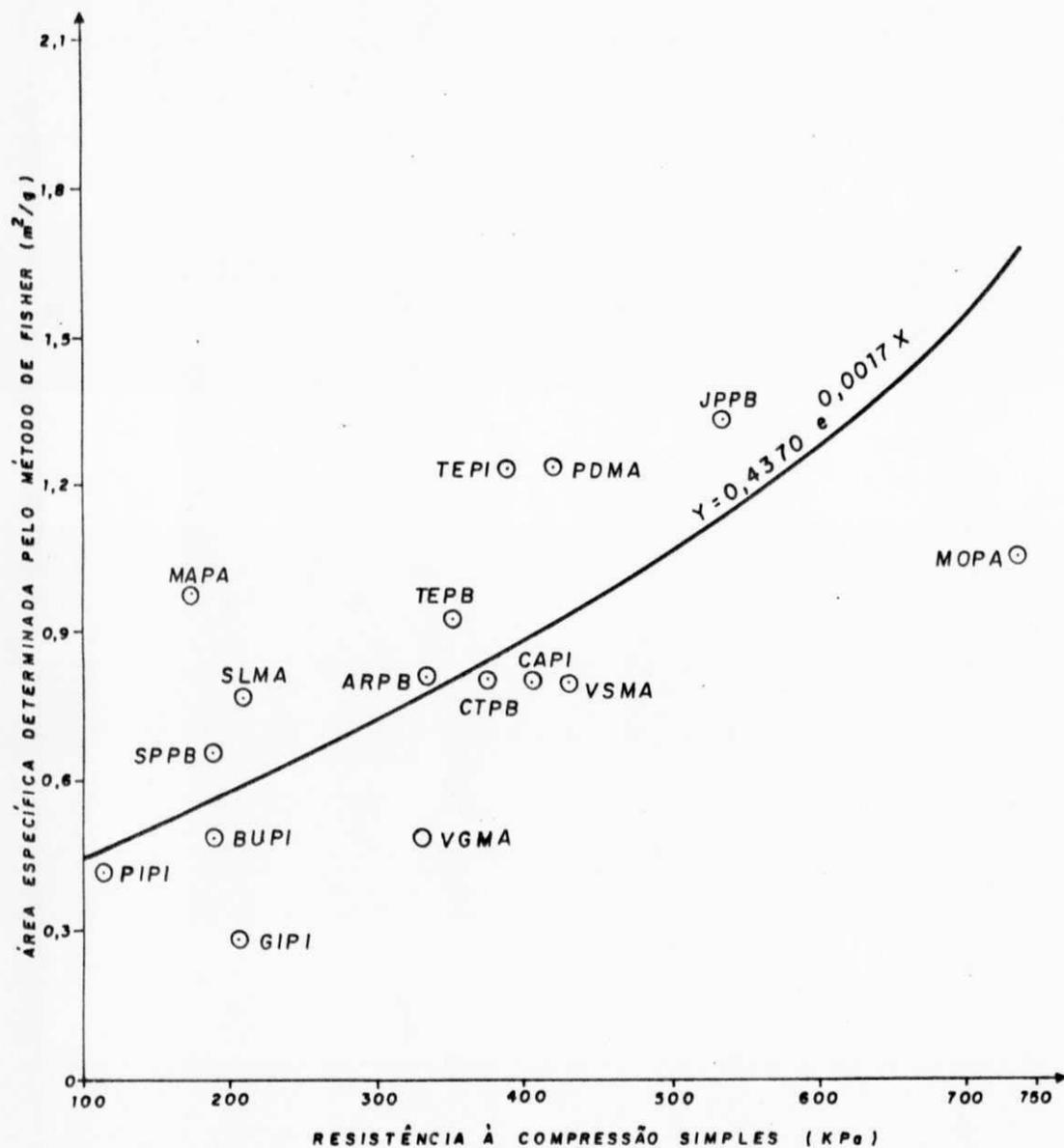


FIGURA IV.8.1.3-CORRELAÇÃO ESTATÍSTICA ENTRE ÁREA ESPECÍFICA DETERMINADA PELO MÉTODO DE FISHER E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DE SOLOS LATERÍTICOS ADITIVOS COM 3,0 % DE CAL, CURADOS POR PERÍODO DE 28 DIAS.

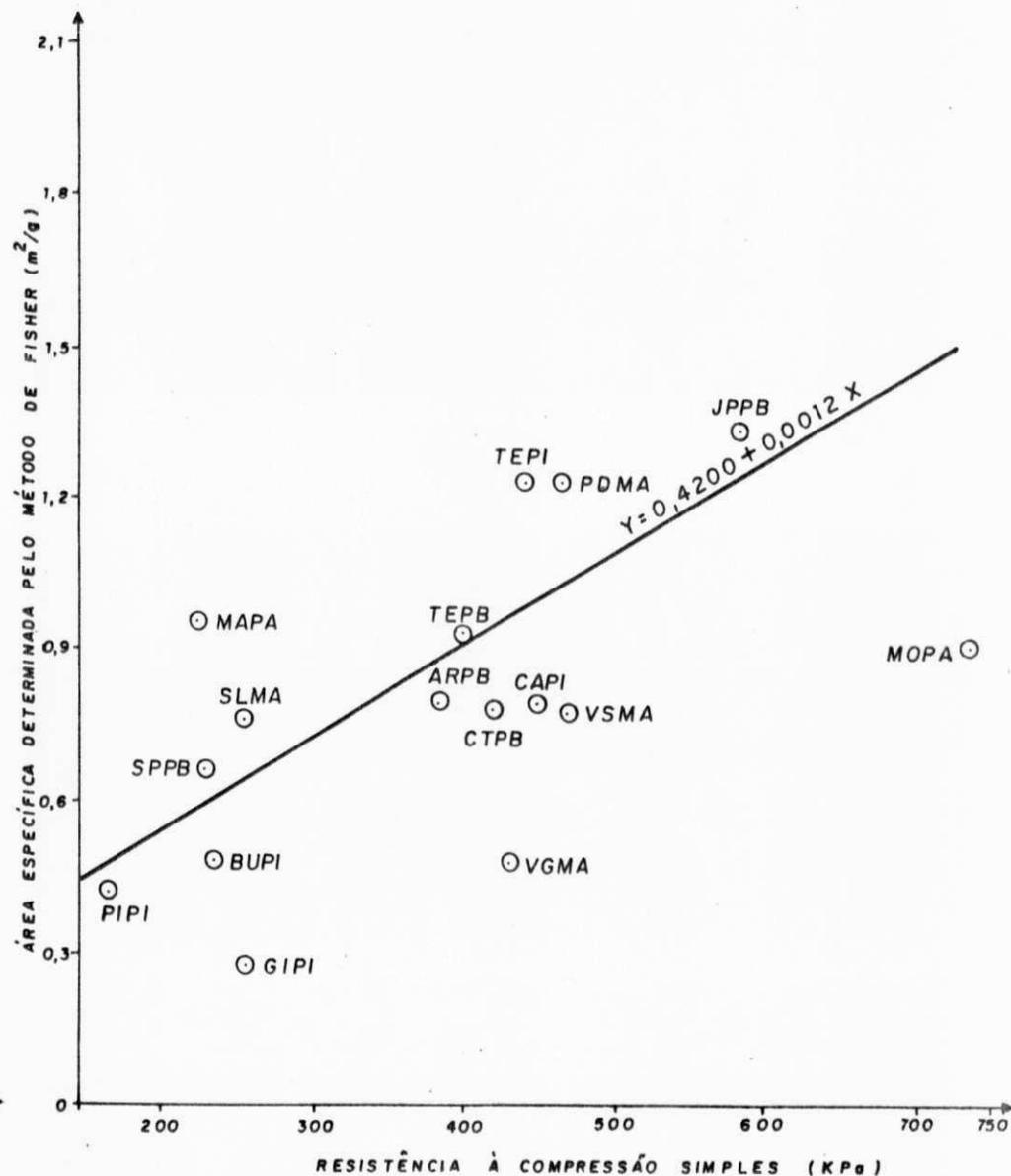


FIGURA IV.8.1.4-CORRELAÇÃO ESTATÍSTICA ENTRE ÁREA ESPECÍFICA DETERMINADA PELO MÉTODO DE FISHER E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DE SOLOS LATERÍTICOS ADITIVOS COM 3,0% DE CAL, CURADOS POR PERÍODO DE 28 DIAS.

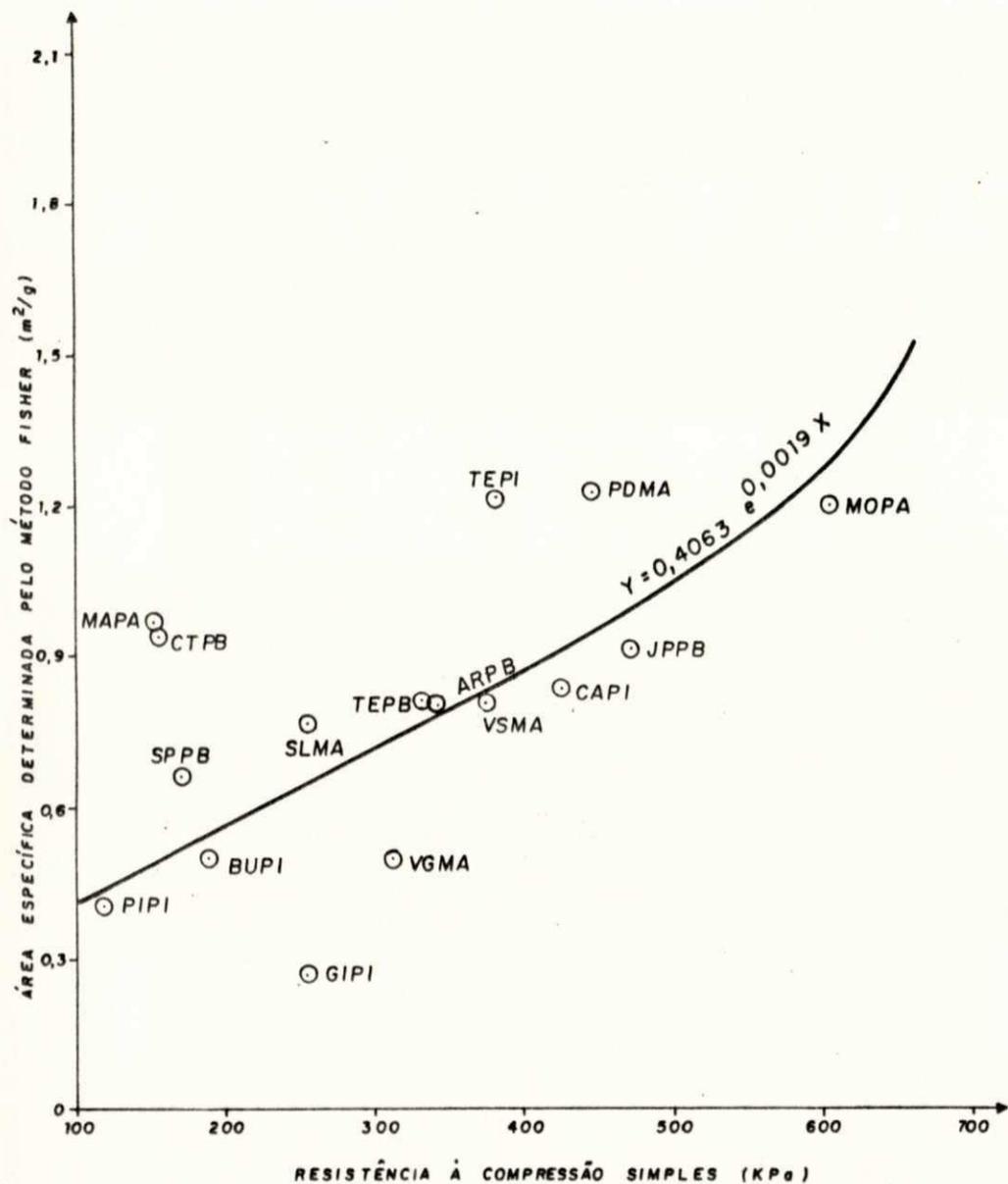


FIGURA IV.8.1.5—CORRELAÇÃO ESTATÍSTICA ENTRE ÁREA ESPECÍFICA DETERMINADA PELO MÉTODO DE FISHER E RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES DE SOLOS LATERÍTICOS ADITIVADOS COM 3,0 % DE CAL, CURADOS POR PERÍODO DE 60 DIAS.

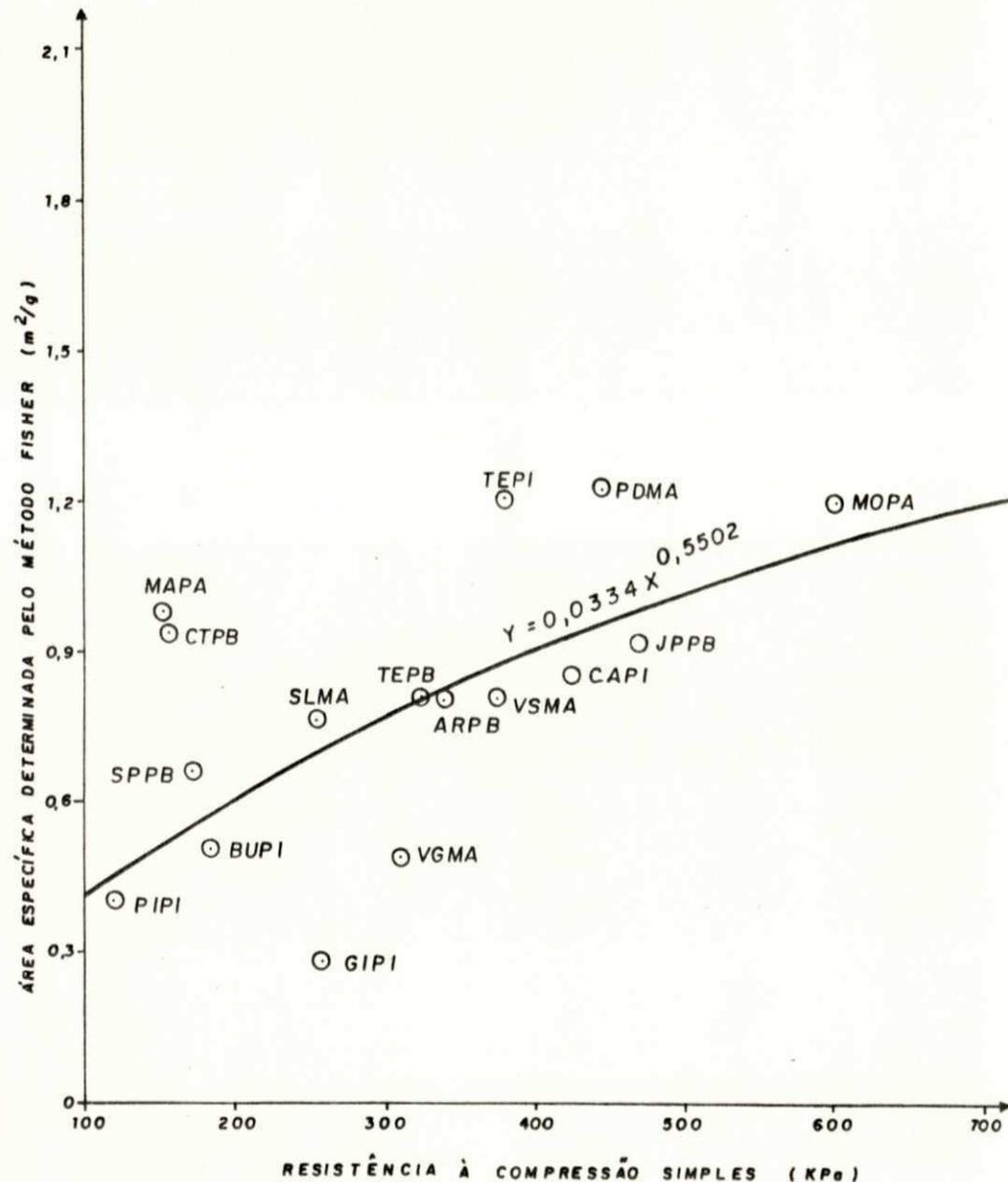


FIGURA IV.8.1.6—CORRELAÇÃO ESTATÍSTICA ENTRE ÁREA ESPECÍFICA DETERMINADA PELO MÉTODO DE FISHER E RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES DE SOLOS LATERÍTICOS ADITIVADOS COM 3,0 % DE CAL, CURADOS POR PERÍODO DE 60 DIAS.

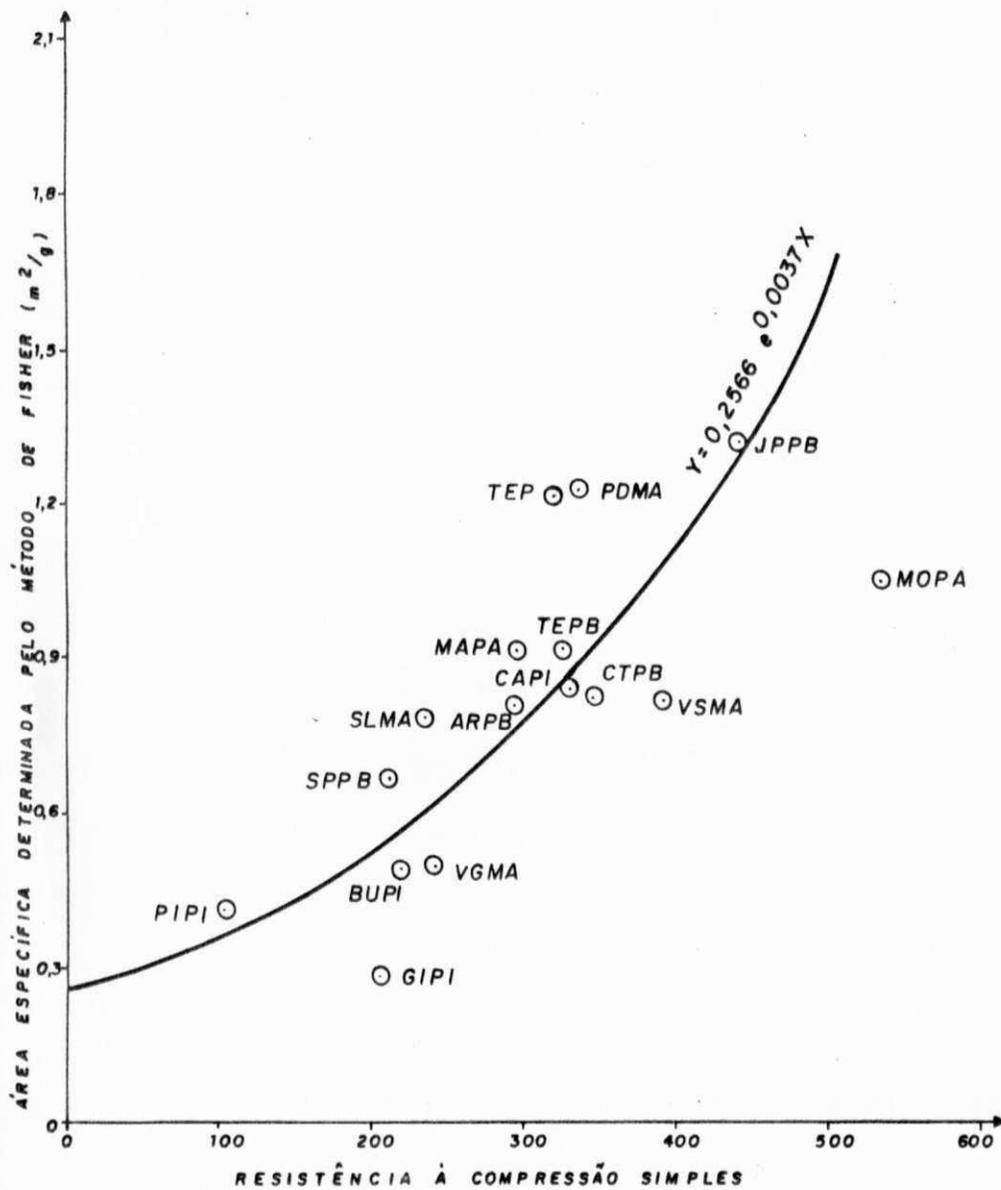


FIGURA IV.8.1.7— CORRELAÇÃO ESTATÍSTICA ENTRE ÁREA ESPECÍFICA DETERMINADA PELO MÉTODO DE BLAINE E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DE SOLOS LATERÍTICOS ADITIVADOS COM 6,0% DE CAL, CURADOS POR PERÍODO DE 7 DIAS.

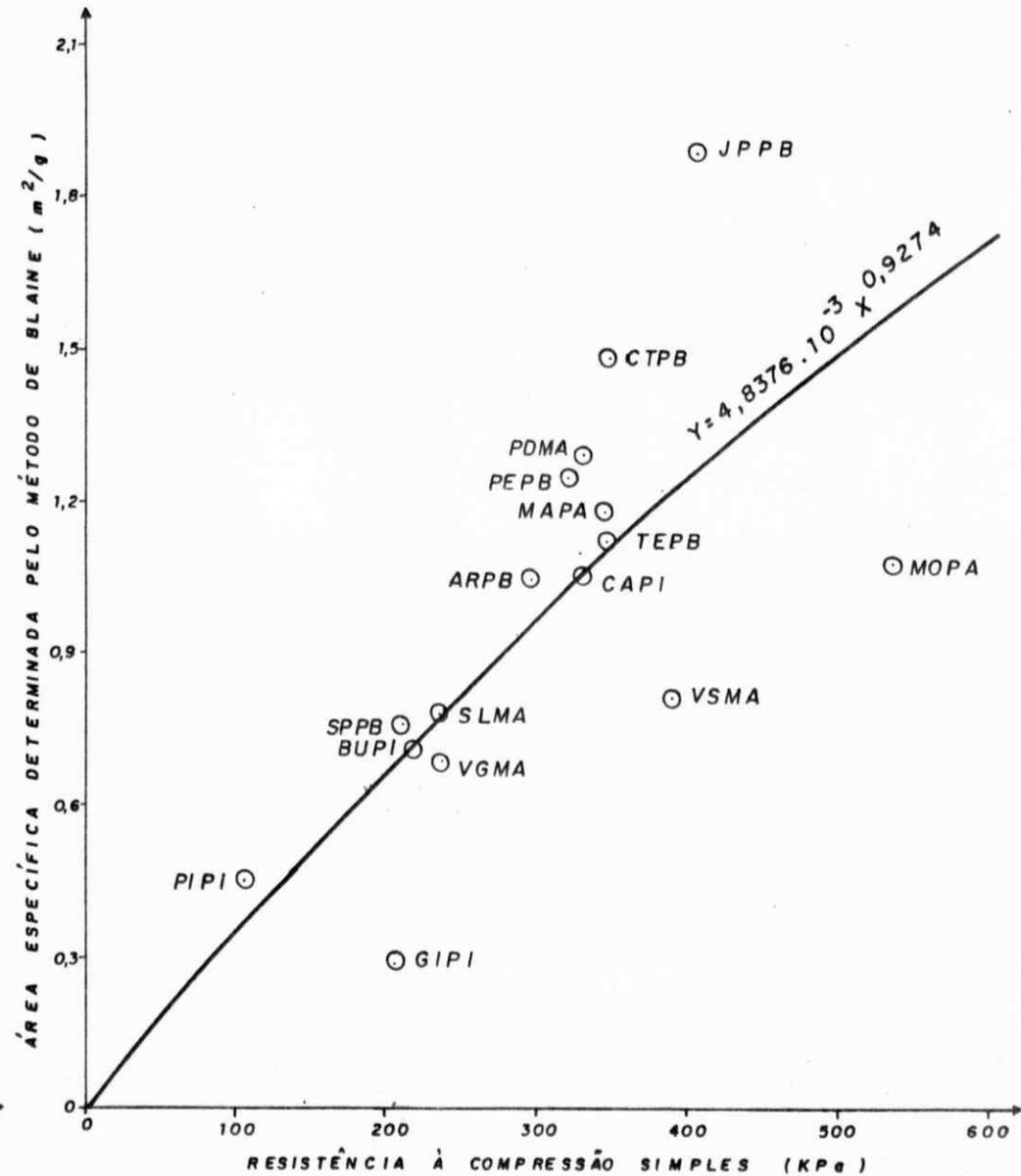


FIGURA IV.8.1.8 - CORRELAÇÃO ESTATÍSTICA ENTRE ÁREA ESPECÍFICA DETERMINADA PELO MÉTODO DE BLAINE E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DE SOLOS LATERÍTICOS ADITIVADOS COM 6,0% DE CAL, CURADOS POR PERÍODO DE 7 DIAS.

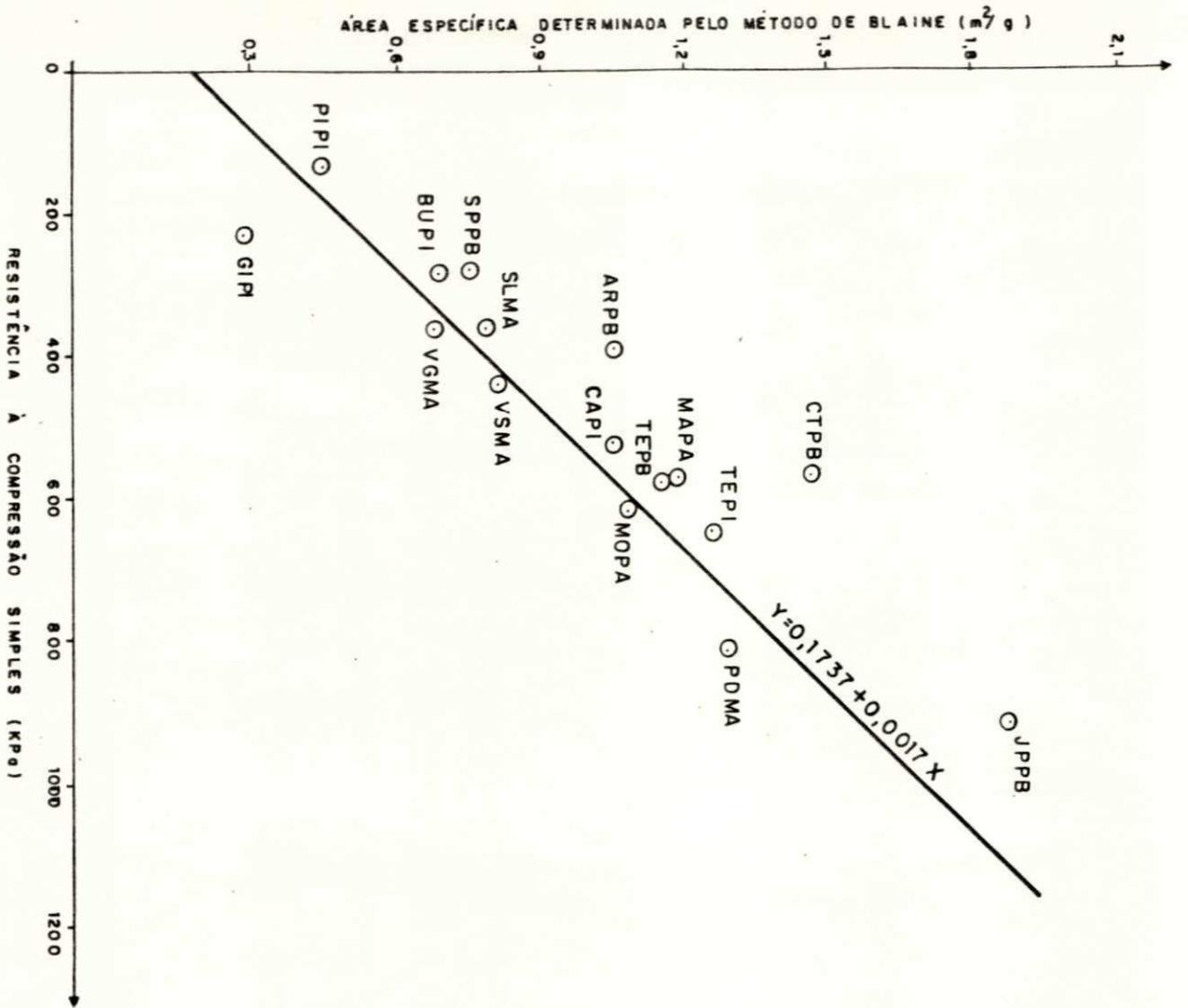


FIGURA IV.8.1.9-CORRELAÇÃO ESTATÍSTICA ENTRE ÁREA ESPECÍFICA DETERMINADA PELO MÉTODO DE BLAINE E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DE SOLOS LATERÍTIÇOS ADITIVADOS COM 6,0% DE CAL, CURADOS POR PERÍODO DE 28 DIAS.

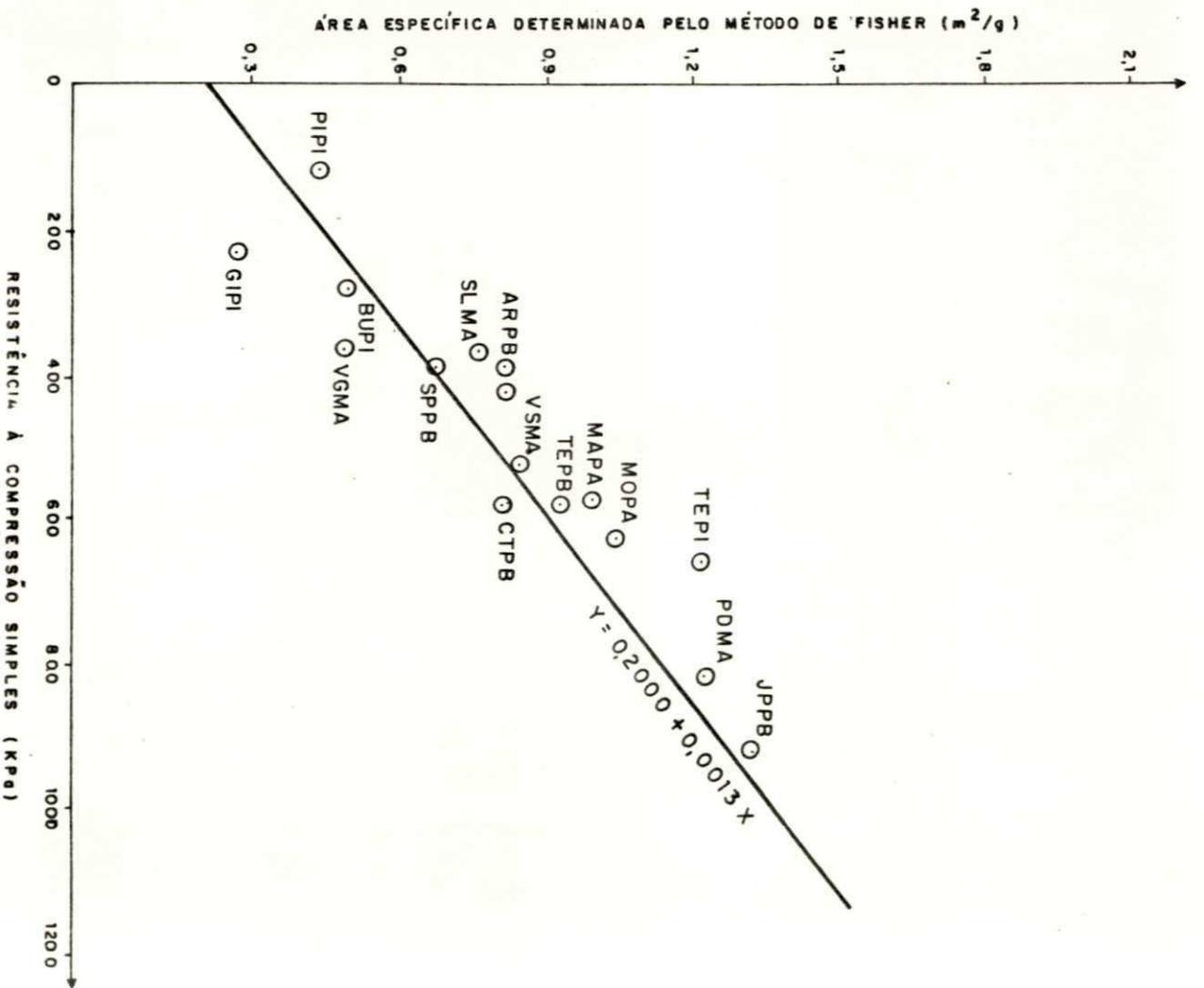


FIGURA IV.1.10-CORRELAÇÃO ESTATÍSTICA ENTRE ÁREA ESPECÍFICA DETERMINADA PELO MÉTODO DE FISHER E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DE SOLOS LATERÍTIÇOS ADITIVADOS COM 6,0% DE CAL, CURADOS POR PERÍODO DE 28 DIAS.

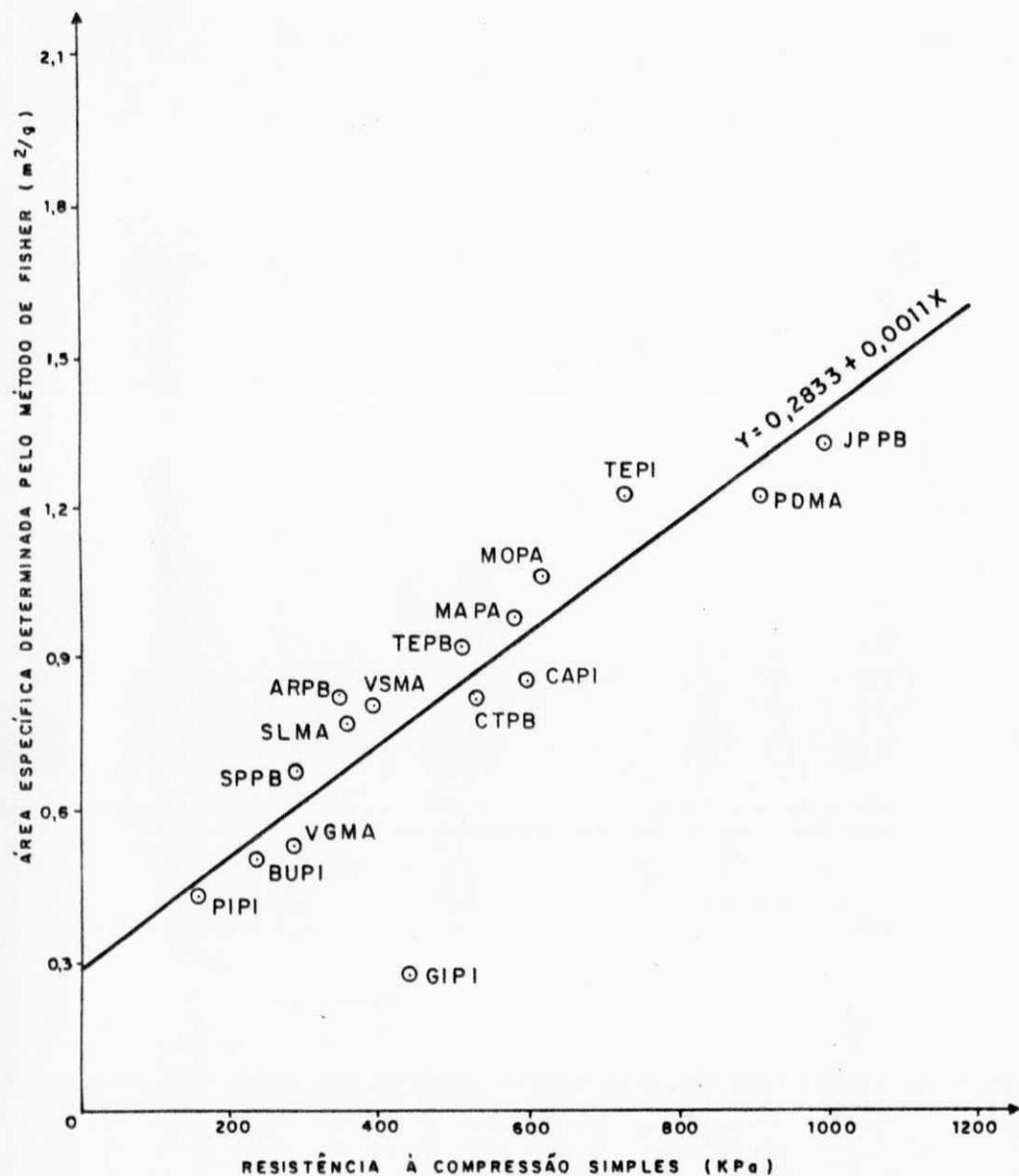


FIGURA IV.8.1.11-CORRELAÇÃO ESTATÍSTICA ENTRE ÁREA ESPECÍFICA DETERMINADA PELO MÉTODO DE FISHER E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DE SOLOS LATERÍTICOS ADITIVADOS COM 6,0% DE CAL, CURADOS POR PERÍODO DE 60 DIAS.

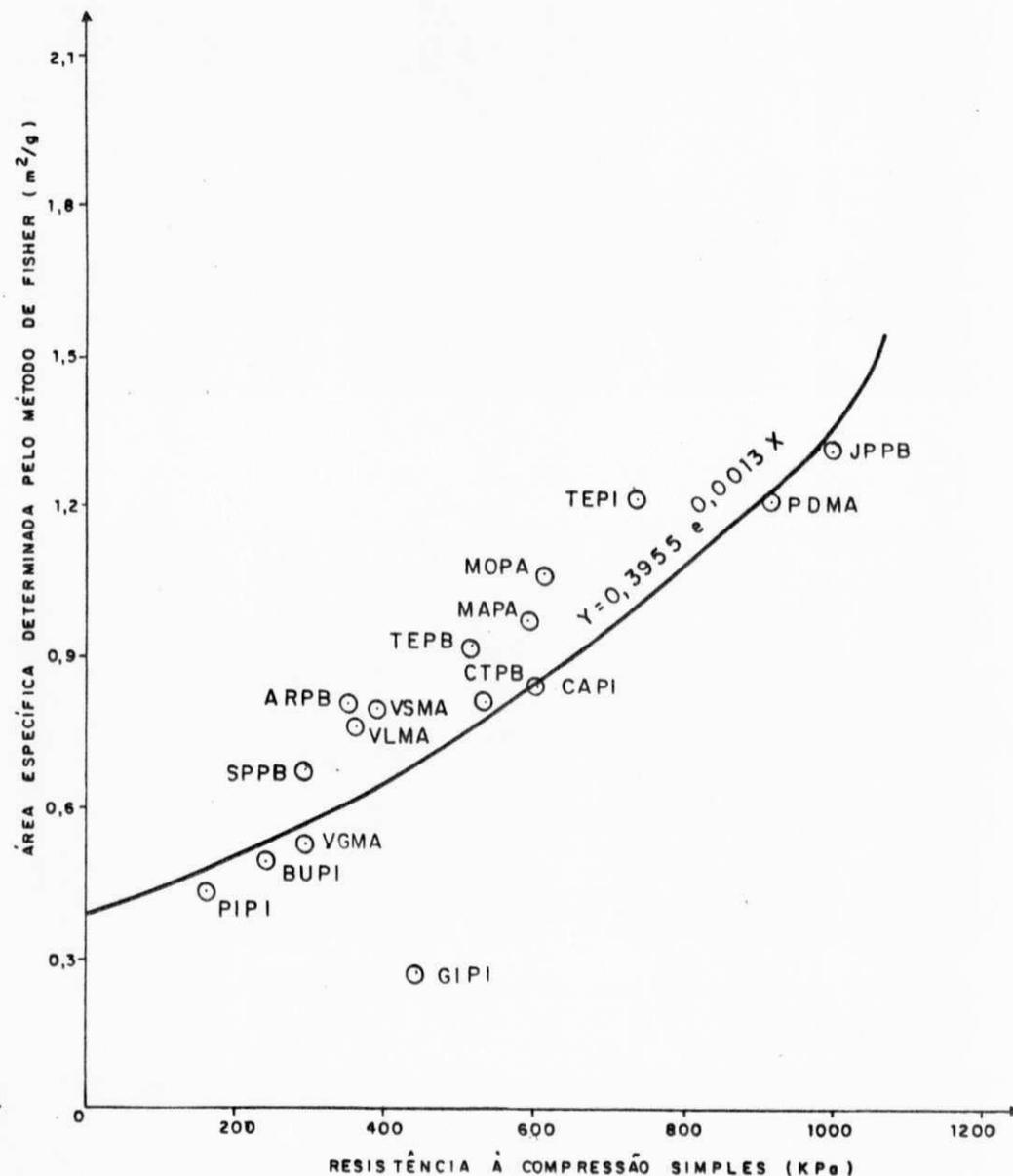


FIGURA IV.8.1.12-CORRELAÇÃO ESTATÍSTICA ENTRE ÁREA ESPECÍFICA DETERMINADA PELO MÉTODO DE FISHER E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DE SOLOS LATERÍTICOS ADITIVADOS COM 6,0% DE CAL, CURADOS POR PERÍODO DE 60 DIAS.

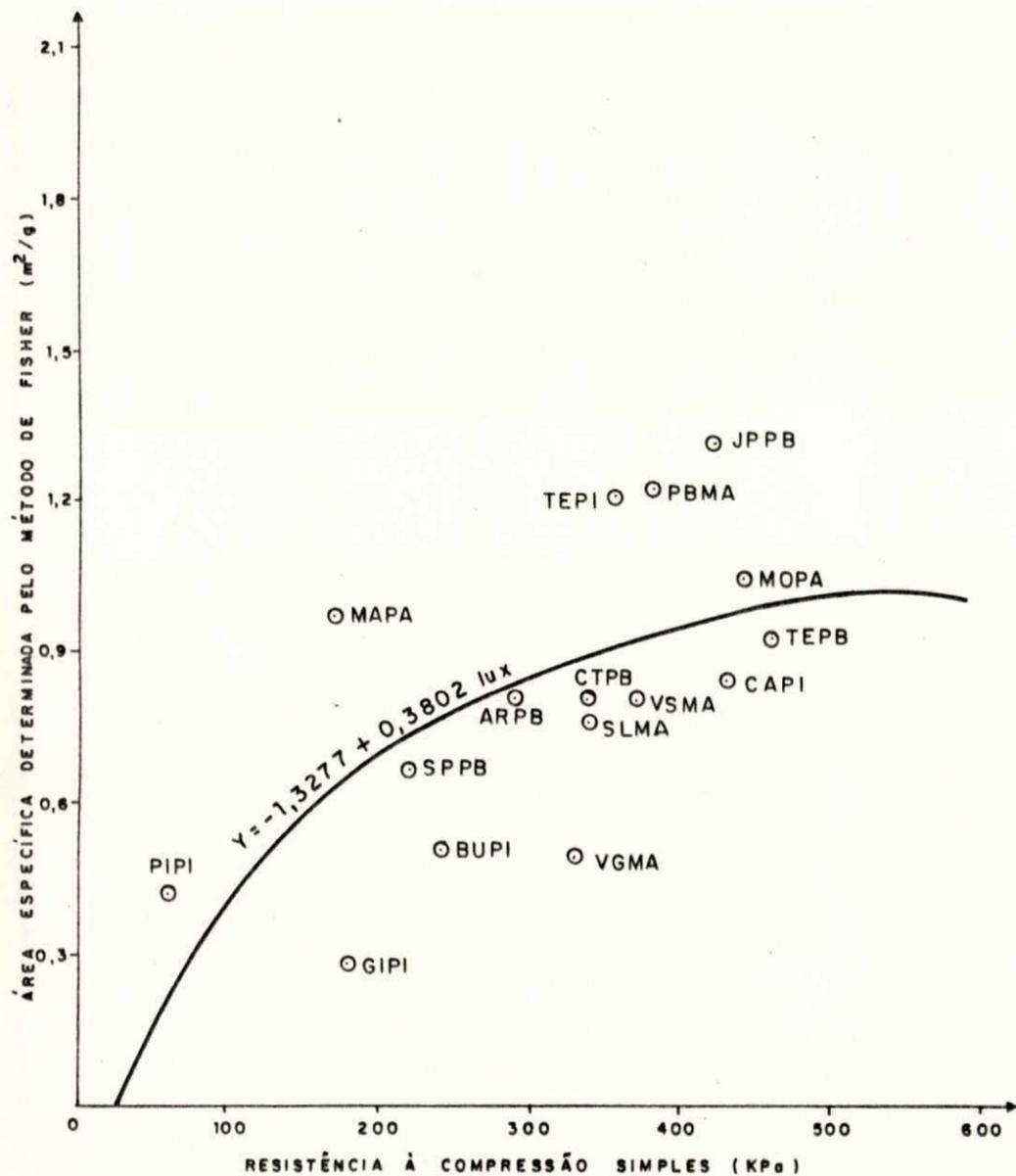


FIGURA IV.8.1.13 - CORRELAÇÃO ESTATÍSTICA ENTRE ÁREA ESPECÍFICA DETERMINADA PELO MÉTODO DE FISHER E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DE SOLOS LATERÍTICOS ADITIVADOS COM 9,0% DE CAL, CURADOS POR PERÍODO DE 7 DIAS.

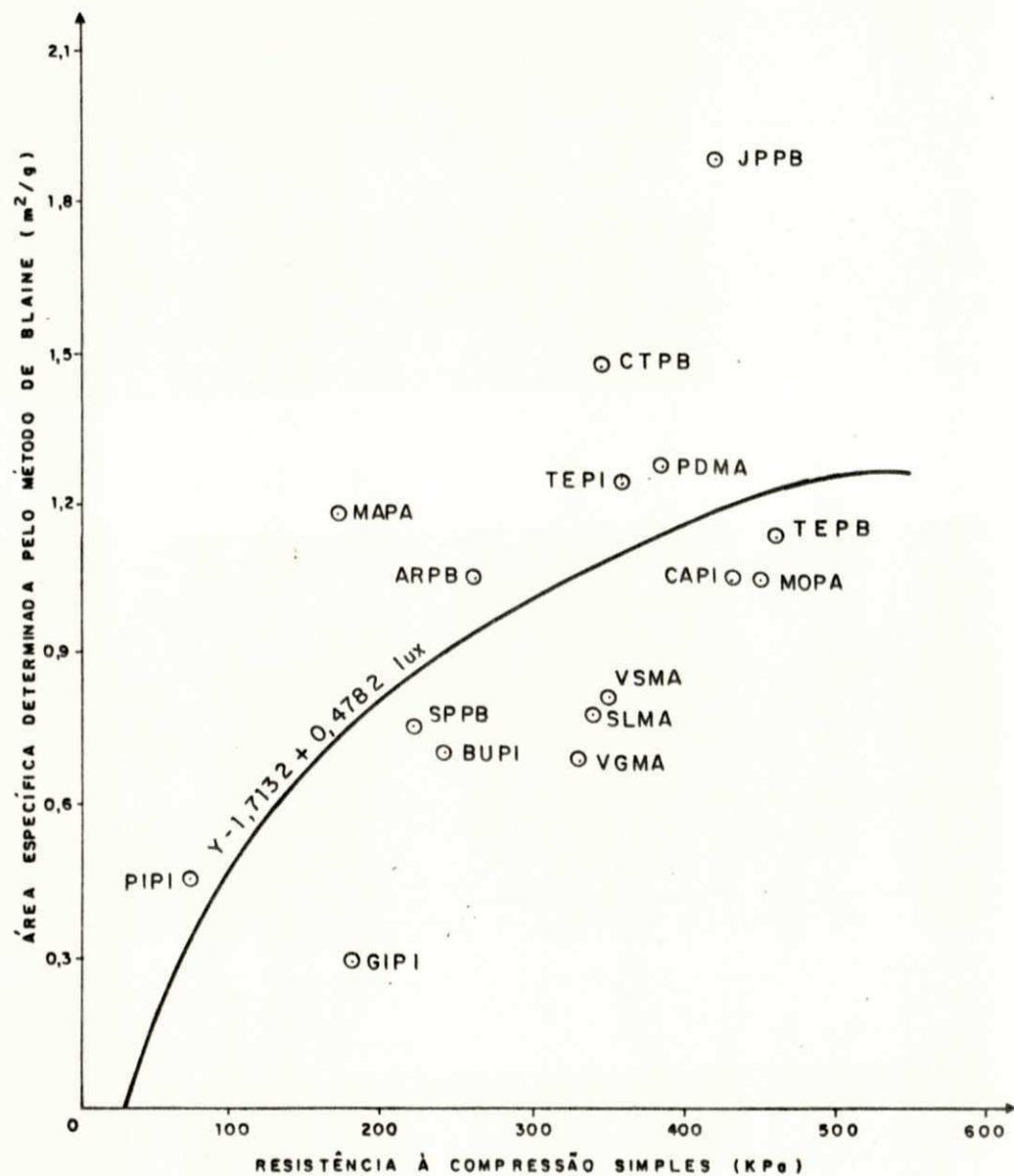


FIGURA IV.8.1.14 - CORRELAÇÃO ESTATÍSTICA ENTRE ÁREA ESPECÍFICA DETERMINADA PELO MÉTODO DE BLAINE E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DE SOLOS LATERÍTICOS ADITIVADOS COM 9,0% DE CAL, CURADOS POR PERÍODO DE 7 DIAS.

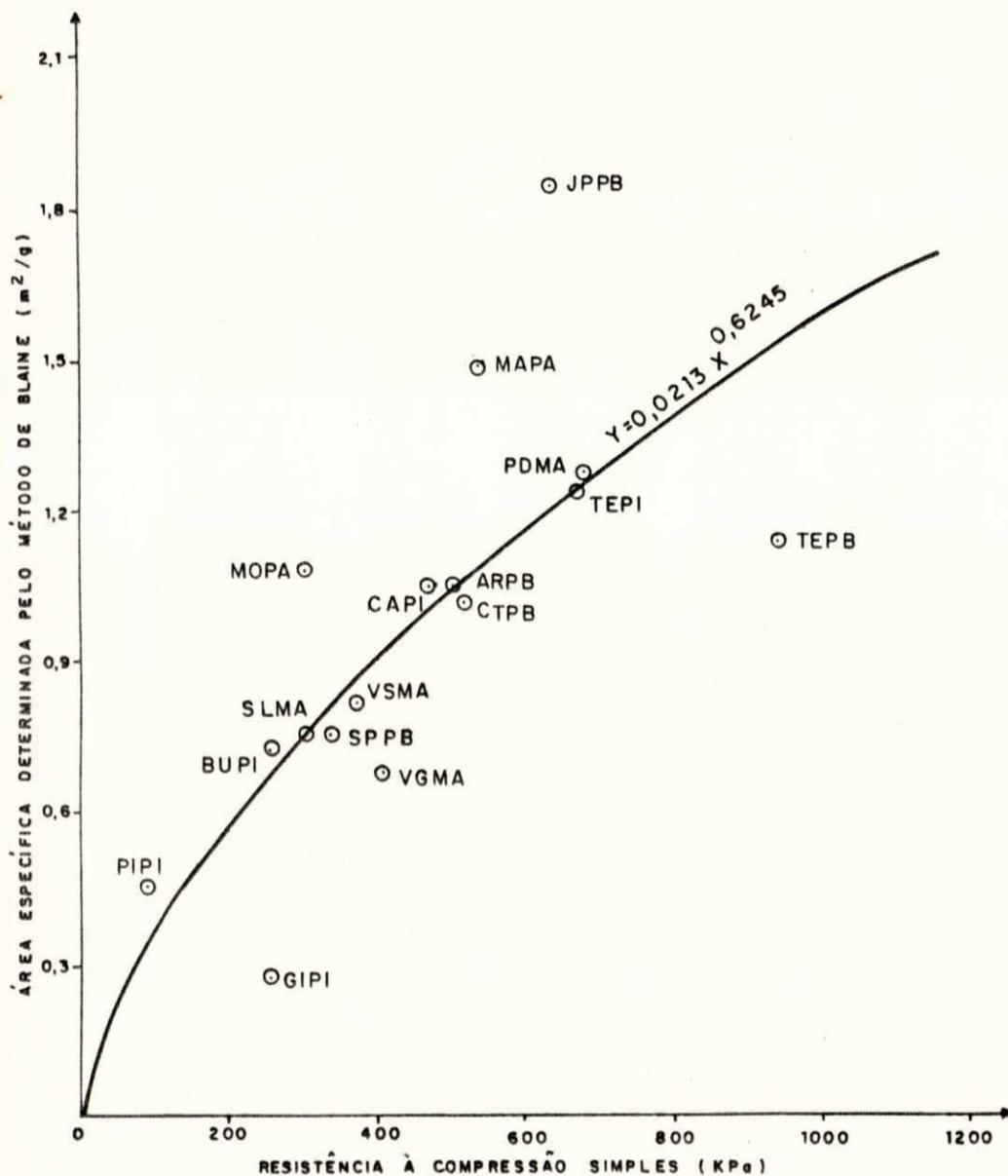


FIGURA IV.8.1.15—CORRELAÇÃO ESTATÍSTICA ENTRE ÁREA ESPECÍFICA DETERMINADA PELO MÉTODO DE BLAINE E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DE SOLOS LATERÍTICOS ADITIVADOS COM 9,0% DE CAL, CURADOS POR PERÍODO DE 28 DIAS.

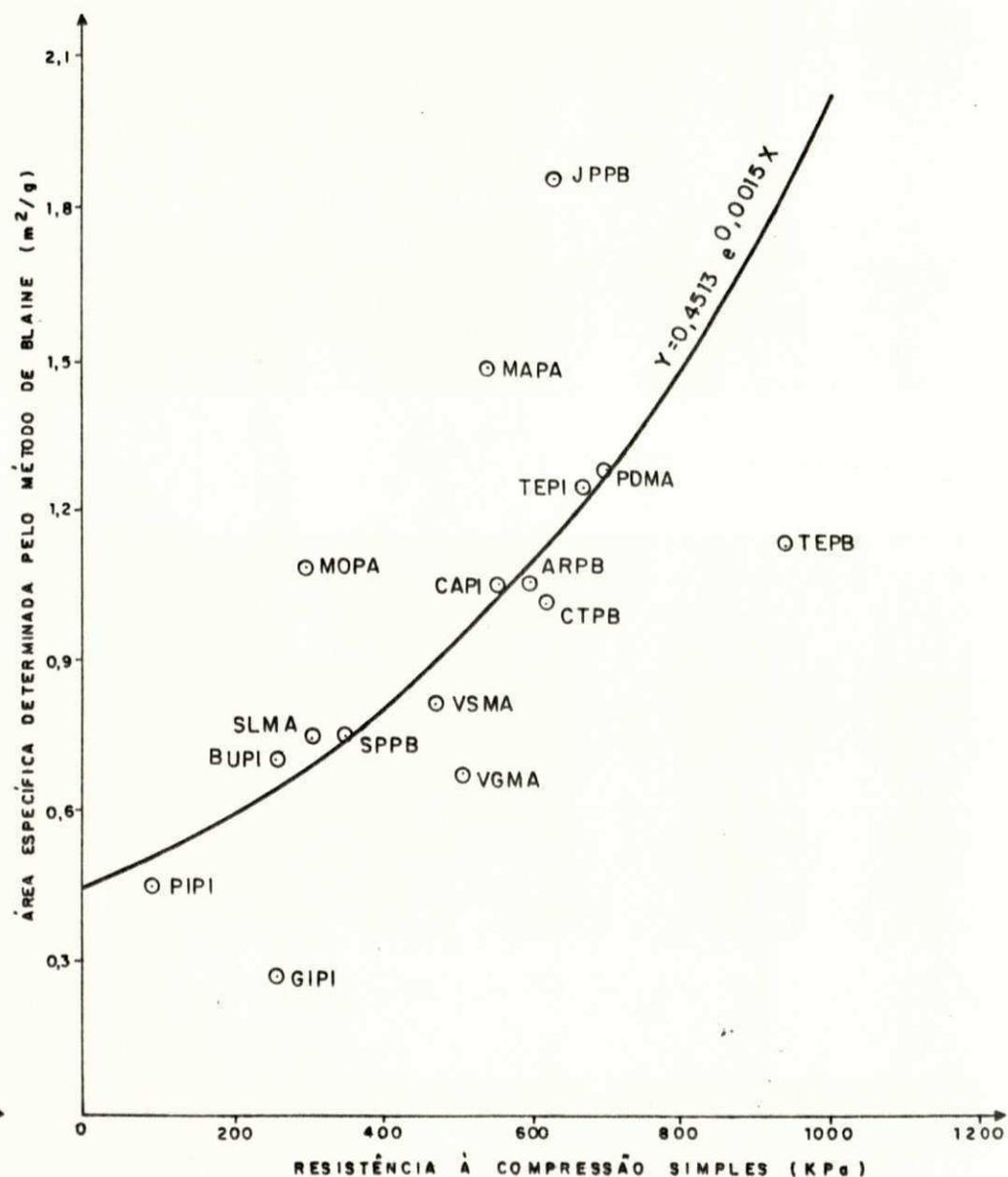


FIGURA IV.8.1.16—CORRELAÇÃO ESTATÍSTICA ENTRE ÁREA ESPECÍFICA DETERMINADA PELO MÉTODO DE BLAINE E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DE SOLOS LATERÍTICOS ADITIVADOS COM 9,0% DE CAL, CURADOS POR PERÍODO DE 28 DIAS.

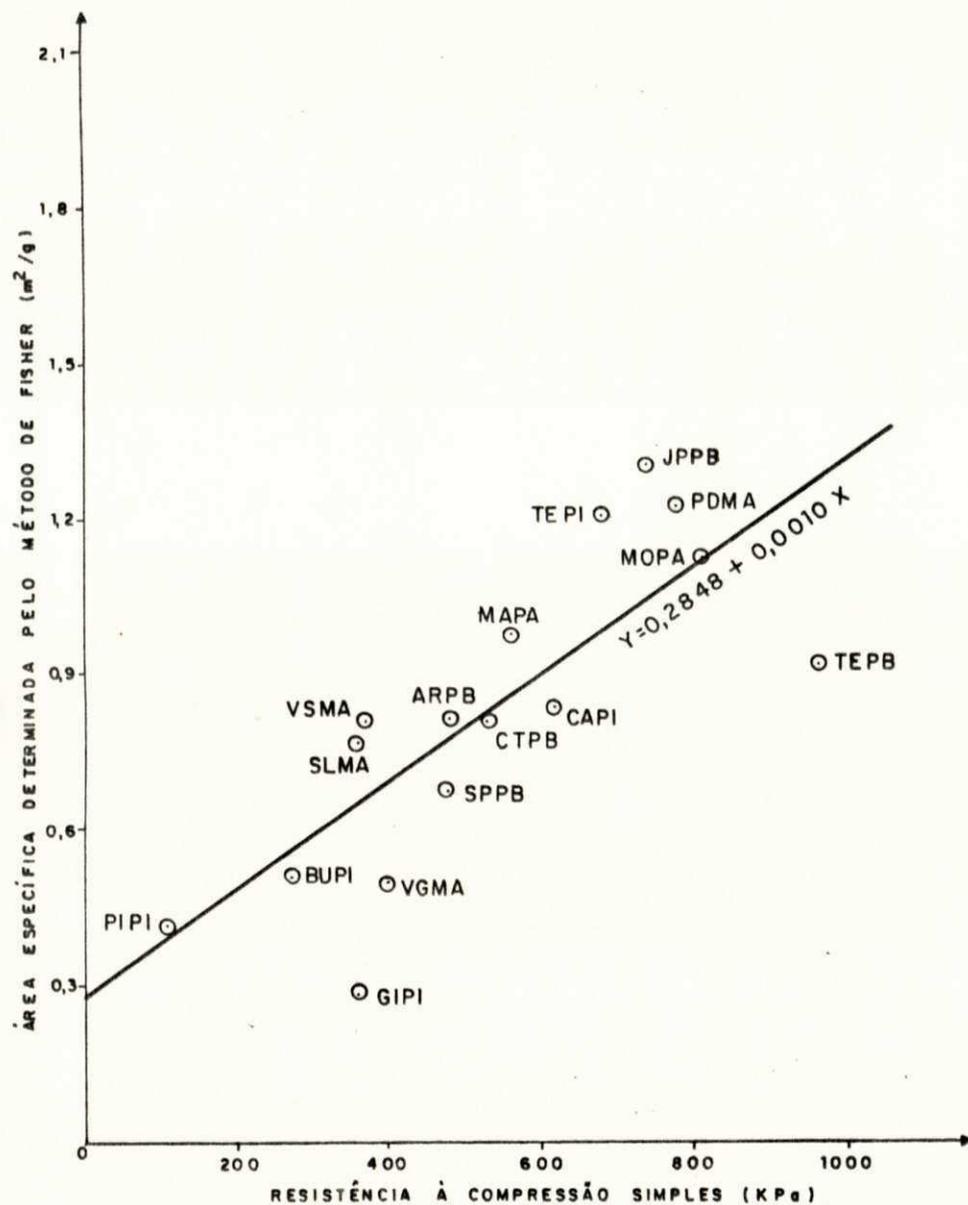


FIGURA IV.8.1.17 - CORRELAÇÃO ESTATÍSTICA ENTRE ÁREA ESPECÍFICA DETERMINADA PELO MÉTODO DE FISHER E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DE SOLOS LATERÍTICOS ADITIVOS COM 9,0% DE CAL, CURADOS POR PERÍODO DE 60 DIAS.

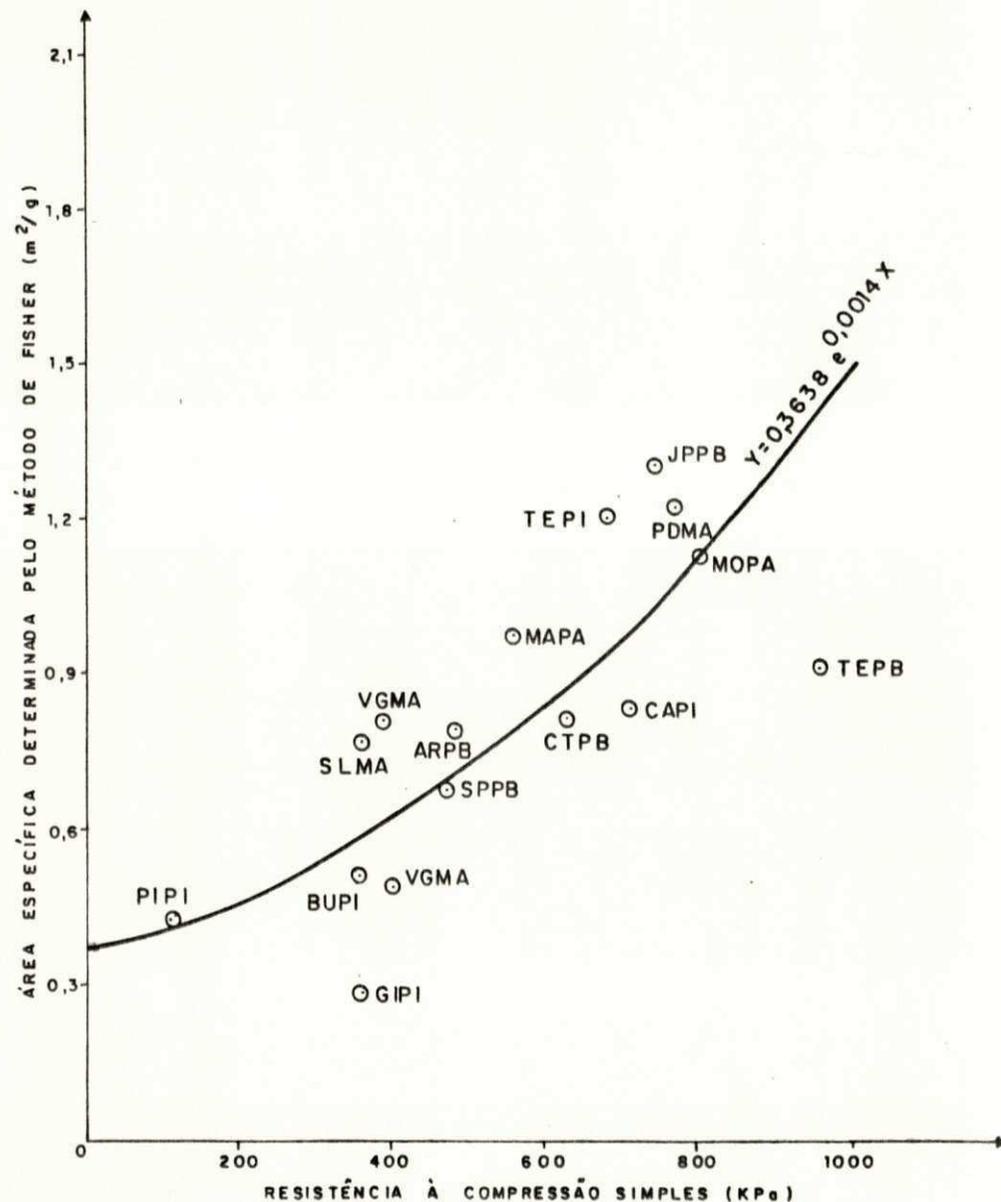


FIGURA IV.8.1.18 - CORRELAÇÃO ESTATÍSTICA ENTRE ÁREA ESPECÍFICA DETERMINADA PELO MÉTODO DE FISHER E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DE SOLOS LATERÍTICOS ADITIVOS COM 9,0% DE CAL, CURADOS POR PERÍODO DE 60 DIAS.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES

V.1 - Conclusões Parciais

Dezesseis solos vermelhos tropicais também conhecidos como lateritas provenientes da região Norte e Nordeste do Brasil, no estado natural e aditivados com 3,0%, 6,0% e 9,0% de cal, curados por períodos de 7 dias, 28 dias e 60 dias em câmara úmida com 100% de umidade relativa, foram estudados no decorrer deste trabalho, com a finalidade de contribuir com uma nova sistemática para determinação da atividade pozo-lânica de solos lateríticos estabilizados com cal, correlacionando-se informações relativas a área específica determinada pelos métodos do permeâmetro de Blaine e Fisher, inicialmente com a resistência à compressão simples determinada pelo método de Thompson (1966) e posteriormente com o Índice de Suporte Califórnia, determinado segundo metodologia do DNER, podendo chegar as conclusões parciais abaixo enumeradas.

V.1.1 - Cal

A cal estudada é do tipo calcítica contendo pequena quantidade de hidróxido de magnésio, com outras impurezas tais como, sílica e alumina.

V.1.2 - Área Específica

Os valores encontrados para as áreas específicas de

terminadas pelos métodos do permeâmetro de Blaine e Fisher , são praticamente semelhantes, sendo estes valores inferiores aos obtidos por Ferreira et alii (1972) e Ferreira et alii (1978) para os caulins nordestinos.

V.1.3 - Sistema Solo Laterítico-Cal

V.1.3.1 - Massa Específica Aparente Seca Máxima e Teor de Umidade Ótima.

A massa específica aparente seca máxima e o teor de umidade ótima, apresentou tendências a modificações com adição da cal. A massa específica aparente seca máxima diminuiu e o teor de umidade ótima aumentou.

V.1.3.2 - Resistência à Compressão Simples

A adição da cal aos solos lateríticos, melhorou consideravelmente as características de resistência à compressão simples, sendo que os melhores resultados obtidos foram para os solos lateríticos aditivados com 6,0% e 9,0% de cal, curados por períodos de 28 dias e 60 dias.

V.1.3.3 - Índice de Reatividade de Thompson (1966)

Os solos lateríticos estudados de acordo com a sistemática proposta por Thompson (1966) e Queiroz de Carvalho (1979), são classificadas como sendo solos de baixa à média reatividade.

V.1.3.4 - Índice de Suporte Califórnia

Com o incremento da cal aos solos lateríticos, ocorreu uma gradual elevação no Índice de Suporte Califórnia, sendo que os máximos valores obtidos foram para os solos lateríticos aditivados com 6,0% de cal, curados por período de 60 dias.

V.1.4 - Análise Estatística

V.1.4.1 - Correlações Estatísticas entre Área Específica e Resistência à Compressão Simples.

A) As regressões lineares simples ($Y=A+Bx$) e exponencial ($Y = Ae^{BX}$) mostraram-se mais adequadas, verificando-se os melhores resultados para resistência à compressão simples aditivados com 6,0% de cal, curados por períodos de 28 dias e 60 dias.

B) Das 72 correlações simples lineares, logarítmicas, exponenciais e potenciais realizadas entre área específica e a resistência à compressão simples, 16 foram significativas ($NS \leq 0,05$) e 56 altamente significativas, destacando-se os melhores resultados entre o Blaine e a RCS_{28} , para os solos lateríticos aditivados com 6,0% de cal.

C) Das 12 correlações múltiplas lineares estudadas, apenas 5 existem correlações significativas, sendo que os melhores resultados foram para as áreas específicas determinada pelo método do Blaine e a resistência à compressão

pressão simples dos solos lateríticos aditivados com 6,0% de cal.

V.1.4.2 - Correlações Estatísticas entre Área Específica e Índice de Suporte Califórnia.

Dos estudos realizados com as correlações simples lineares, logarítmicas, exponenciais e potenciais e as correlações múltiplas lineares entre área específica determinadas pelos métodos do permeâmetro de Blaine e Fisher e Índice de Suporte Califórnia. Das 84 correlações realizadas nenhuma foi significativa.

V.2 - Conclusão Final

Em resumo, podemos verificar que área específica determinada pelos métodos do permeâmetro de Blaine e Fisher são altamente correlacionadas com a resistência à compressão simples, quando submetida a sistemática proposta por Thompson (1966). Desta forma, fica evidenciado que esta nova sistemática serve como dado auxiliar para pré-seleção dos solos lateríticos mais adequados ao estudo de atividade pozolânica do sistema solo laterítico-cal, quando submetido a sistemática proposta de Thompson (1966). Deve-se salientar que a determinação da área específica pelos métodos do permeâmetro de Blaine e Fisher não oferece maiores dificuldades para o engenheiro civil, pois o Blaine é de uso corrente em materiais de construção para a determinação da finura do cimento, enquanto o Fisher é um permeâmetro com tecnologia operacional simplificada e avançada.

CAPÍTULO VI

SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Considerando o caráter preliminar desta pesquisa e suas limitações, há necessidade do desenvolvimento de pesquisas com o intuito de otimizar tópicos pouco detalhados, pelo fato de fugirem ao escopo deste trabalho, podendo-se, dentre outros enumerar os seguintes:

a) prosseguir os estudos com área específica para solos lateríticos estabilizados com cal, tendo por finalidade um melhor conhecimento do comportamento resultante da interação solo-aditivo;

b) estudar aceleração de cura de solo laterítico e não laterítico aditivado com cal em ambiente controlado, com o intuito de obter-se um outro método para previsão da atividade pozolânica;

c) verificar a influência da área específica na resistência à compressão simples e no Índice de Suporte Califórnia para solos lateríticos tratados com outros aditivos;

d) estudar o comportamento dos solos lateríticos aditivados com vários tipos de "dopping" e energia de compactação, procurando-se verificar a interdependência entre a área específica e a resistência à compressão simples e o Índice de Suporte Califórnia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- . ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - Determinação da Finura de Cimento Portland Mediante Emprego de Permeâmetro do Ar, MB-348, 1966.
- . ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - Ensaio de Caracterização da Cal, MB-342, 1977.
- . ABPC - Associação Brasileira dos Produtores da Cal - Aplicação da Cal nas Construções Civas, 1985.
- . AFLITOS, A.O., A Influência de Aditivos Químicos em Propriedades Tropicais do Norte e Nordeste do Brasil, Dissertação de Mestrado, DEC/CCT/UFPB, 1981.
- . BRITO, L.P., Caracterização de Pós Através da Área Especifica Aplicada a Solos Lateríticos da Região Nordeste do Brasil, Dissertação de Mestrado, DEC/CCT/UFPB, 1984.
- . BRITO, L.P. e FERREIRA, H.C., Determinação da Área Especifica da Fração Fina de Solos Lateríticos da Região Norte e Nordeste do Brasil, Cerâmica 30 (171), 69 (1984).
- . BORBA, S.M.C., Estudo das Propriedades Químicas e Mineralógicas de Solos Vermelhos Tropicais do Norte e Nordeste do Brasil, Dissertação de Mestrado, DEC/CCT/UFRS , 1981.
- . BEZERRA, R.L., FERREIRA, A.M. e FERREIRA, H.C., Estudo Estatístico Através de Correlações Lineares Simples e Múltiplas Entre a Área Específica Determinada por Diversos Métodos, e os Componentes Amorfos, Sílica, Alumina e Óxido de Ferro, de Alguns Solos Lateríticos do

- Nordeste Brasileiro, Revista Cerâmica 34 (196), 46 (1986).
- . CABRERA, J.G. e NWAKANMA, C.A., "Pozzolanic Activity and Mechanism of Reaction of Red Tropical Soil - Lime Systems", 2nd International Conference on Low - Volume Roads, Transportation Research Board, Iowa, U.S.A. , 1979a.
 - . CABRERA, J.C. e NWAKANMA, C.A., "Reaction Products and Strength of Red Tropical Soil - Lime Systems", To be Published in Cement and Concrete Research, 1979b.
 - . COSTA, C.R.V., Relação entre Índice de Suporte Califórnia com Imersão e sem Imersão para Solos Lateríticos, Anais da 18ª Reunião Anual de Pavimentação, Volume nº 2, Porto Alegre-RS, 1983.
 - . COSTA, C.R.V. et alii, Estudo de Solos Lateríticos Estabilizados com Cal, 21ª Reunião Anual de Pavimentação , 1986.
 - . CONCIANI, W. e FERREIRA, H.C., Determinação da Área Específica da Fração Fina de Solos Lateríticos por Medição Direta, Anais da 23ª Reunião Anual de Pavimentação , 1988.
 - . DNER - Departamento Nacional de Estradas e Rodagem - Método de Ensaio. Divisão de Pesquisa e Normas Técnicas . Métodos de Ensaio, Rio de Janeiro, 1972.
 - . DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - Especificações para Base de Solos Lateríticos, pp. 10 , ES-48/74 - Especificações para Sub-Base de Solos Late-

- ríticos, pp. 11, ES-49/74, 1974.
- . DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - Materiais para Obra Rodoviária Métodos e Instruções de Ensaio, 1977.
 - . DINIZ, A.A., Resistência à Compressão Simples para os Solos Lateríticos, Avaliação da Metodologia e Influência dos Efeitos da Temperatura de Secagem e Energia Mecânica, Dissertação de Mestrado, DEC/CCT/UFPB, 1984.
 - . D'HOORE, J.L., "Soil Map of Africa, Scale 1 to 5.000,00". Explanatory Monograph. Comm - For Technology Co-Op in Africa. Publication nº 205p, (1964).
 - . DIAMOND, S. e KINTER, E.B., "Gravimetric Determination of Monolayer Glycerol Complexes of Clay Minerals". N.A.S. NRC 5th Conference on Clays and Clay Minerals. Pub. 556, pp. 318-347 (1968).
 - . DEERE, D.U. e PATTON, F.D., "Slope Stability in Residual Soils". Proc. 4th Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, pp. 88-170, México City, 1971.
 - . EADES, J.L., NICHOLS, F.P. Jr. e GRIM, R.E., "Formation of New Minerals with Lime Stabilization as Provera" by Field Experiment in Virginia Highway Research Board, Bull. nº 335, pp. 31-39 (1962).
 - . EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa do Algodão, Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - Ministério da Agricultura, Rio de Janeiro (1980).
 - . FERREIRA, H.C. et alii, Correlações Lineares entre Área

Específica de Caulins Determinada por Diversos Métodos de Aplicação da Região Nordeste Brasileira (Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte), Cerâmica 18 , (171) 333, (1972).

- . FERREIRA, H.C. et alii, Ensaio de Caracterização e Técnicas Visando Aplicação em Cobertura de Papel de Caulins do Nordeste Brasileiro, Editora Universitária, UFPB, João Pessoa, 1978.
- . FERREIRA, H.C. e LUCENA, F.B., Utilização de Solos Vermelhos Tropicais (Solos Lateríticos) Como Matéria Prima para Uso em Cerâmica Vermelha ou Estrutural, Cerâmica 30 (169), 7 (1984).
- . FERREIRA, H.C., LIMA, R.C. e FERREIRA, A.M., Correlação Estatística entre Área Específica Determinada por Diversos Métodos e Parâmetros de Compactação e Índice de Suporte Califórnia de Solos Lateríticos do Nordeste do Brasil, Cerâmica 32 (193), 43 (1986).
- . FERREIRA, H.C., SANTOS, P.G.P. e MACHADO, E.C.C., Estudos Estatísticos Através de Regressão Linear Simples e Múltiplas entre Diversos Métodos de Determinação da Área Específica e Propriedades Químicas de Solos Lateríticos da Região Nordeste do Brasil, Cerâmica 32 (169) , 93 (1986).
- . FERREIRA, H.N., Conceito de Laterita na Engenharia Civil, Luanda, 1963.
- . FERRO, J.G.O., Influência da Cal nas Propriedades de Engenharia de Solos Lateríticos, Dissertação de Mestrado, DEC/CCT/UFPB, C. Grande-PB, 1986.

- . GIDIGASU, M.D., "Laterite Soil Engineering, Developments in Geotechnical Engineering", 9 Elsevier Scient. Pub. Co. Amsterdam p. 554 (1976).
- . GRAF - JOHNSON, J.W.S., BHATIA, M.S. and GIDIGASU, M.D. , "The Engineering Charecteristics of the Laterite Gravels of Ghana". Proceeding of the Specialty Session on Engineering Properties of Lateritic Soils. VII ICSMFE. V. 1, p. 117-128 (1969).
- . KYOHARA, P.K. et alii, Algumas Propriedades Físico-Químicas dos Caulins do Estado do Amazonas e Paraíba, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, IPT, Rio de Janeiro, 1974.
- . HAYTER, M.A. e CAIRNS, H., "A Field an Laboratory Investⁱgation in the Strength of a Trial Stretch of Lime - Stabilized Soil Pavements in Eastern Nigeria", Road Research Oversears Bulletin nº 20, p. 39, (1966).
- . HAYTER, J.R. e THOMPSON, M.R., "Lime Reactivity of Tropical and Sub-Tropical Soils. HRB nº 442, pp. 102-111 (1973).
- . HAMILTON, R., "Microscopic Studies of Laterita Formation" In: A. Jungerivs (Editor); Soil Micromorphology, Elsi-ver, Amsterdam, pp. 269-278 (1964).
- . INGLES, O.G., "Advances in Soil Stabilization", 1961-1967, Reviews of Pure and Applied Chemistry, 18 291 (1968).
- . LYONS ASSOCIATES INC., United States Agency for Interna - tional Development. "Laterite and Lateritic Soils and

Other Problem Soils of Africa". Report Prepared by Lyons Associates Inc., and Building and Road Research Institute Ghana. Usaid., 1971.

- . LOUGHNAN, F.C., "Chemical Weathering of the Silicate Minerals". Elsevier, N.Y., p. 154 (1969).
- . LITTLE, A.L., "Proceeding of the 3rd Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering", V. II, p. 61 (1967).
- . LIMA, R.C., Granulometria de Solos Lateríticos: Metodologia Efeitos das Energias Térmicas e Mecânica e Relação com a Composição Química e Mineralógica, Dissertação de Mestrado, DEC/CCT/UFPB, C. Grande-PB (1983).
- . LOHNES, R.A. e DEMIREL, T., "Strength and Structure of Laterites and Lateritic Soils". Engineering Geology, V. 7, pp. 13-33 (1973).
- . LAL, N.B. e BINDRA, S.R., "A Simple Mechanical Test for Classification and Determination of Compaction Characteristics for the Tropical Soil of India". Proceeding of the Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia. COPPE-UFRJ-CNPq-ABMS, pp. 42-52 (1981).
- . MACHADO, E.C.C. e FERREIRA, H.C., Interdependência entre Área Específica da Fração Fina de Solos Lateríticos e Algumas Propriedades Mineralógicas e de Engenharia . Parte I - Correlações Lineares Simples, Anais da 25ª Reunião Brasileira de Pavimentação, Salvador-BA, 1986.
- . MACHADO, E.C.C. e FERREIRA, H.C., Interdependência entre Área Específica da Fração Fina de Solos Lateríticos e Algumas Propriedades Mineralógicas e de Engenharia .

Parte II - Correlações Lineares Múltiplas, Anais da 21ª Reunião Anual de Pavimentação, Salvador-BA, setembro, 1986.

- . MEDINA, J. e PREUSSLER, E.S., "Resilient Characteristics of Brazilian Soils". Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, V. 108, No. GTS, pp. 697-712, (1982).
- . MACHADO, E.C.C. e FERREIRA, H.C., Influência da Área Específica na Estabilização de Solos Lateríticos com Cal, Anais do 31º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Brasília, 1987a.
- . MACHADO, E.C.C. e FERREIRA, H.C., Influência da Área Específica na Estabilização de Solos Lateríticos com Cal, Resultados Preliminares, Anais da 22ª Reunião Anual de Pavimentação, Maceió-AL, 1987b.
- . MACHADO, E.C.C. e FERREIRA, H.C., Estudos de Correlações entre Área Específica da Fração Fina de Solos Lateríticos, Anais da 22ª Reunião Anual de Pavimentação, Maceió-AL, 1987c.
- . NÓBREGA, M.T. e GUIMARÃES, E.P., Estabilização de Latossolo Vermelho e Proposição do Manual Brasileiro de Construção de Solos Estabilizados com Cal, 16ª Reunião de Pavimentação, Associação Brasileira dos Produtores de Cal, Agosto, 1981.
- . NÓBREGA, M.T., Estabilização de Latossolo Rôxo com Adição de Cal. Boletim nº 13 Associação Brasileira dos Produtores de Cal, Parte III, 1981.

- . NOGAMÍ, J.S. e VILLIBOR, D.F., "A New Soil Classification for Highway Purposes". Proceeding of the Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia - COPPE-UFRJ-CNPq-ABMS, pp. 30-41 (1981).
- . NIE, N.H., HULL, C.H., JENKINS, J.G., STAINBRENNER, K. , BENT, D.H., SPSS - Statistical Package for the Social Science, Editora McGraw-Hill Book Company, USA, 1975.
- . OLA, S.A., "The Potencial of Lime Stabilization of Lateritic Soil, Engineering Geology, nº 11, pp. 305-317, 1977
- . PROGRESS REPORT - "Characterization, Identification and Classification of Tropical Soil." First International Conference on Geomechanics in Tropical Lateritic and Saprolitic Soils. Brazilian Society for Soil Mechanics Rio de Janeiro, Brazil, 1981 - 1985.
- . PREUSSLER, E.S., MEDINA, J. e PINTO, S., "Resiliency of Tropical Soils and its Application to Pavement Mechanics". Proceeding of the Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia - COPPE-UFRJ-CNPq-ABMS, Rio de Janeiro, pp.591-609, 1981.
- . PERSONS, B.S., "Laterite Genesis, Location and Use". Plenum Press, London, p. 103, 1976.
- . QUEIROZ DE CARVALHO, J.B., "Soil Properties Affecting the Lime Stabilization of Red Tropical Soil From North and East Brazil". Ph.D Tesis. Depart. Civil Engng. University of Leeds - England, March, 1979.
- . QUEIROZ DE CARVALHO, J.B. e CABRERA, J.G., "A Simple Method for the Assessement of Pozolanic Activity in Red Tropical Soils", VI Congresso Panamericano de Mecânica

dos Solos e Engenharia de Fundações, Lima, Peru, dezembro, 1979.

- . QUEIROZ DE CARVALHO, J.B., Um Método Simples para Quantificar os Comportamentos da Fração Tamanho Argila de Solos Lateríticos, Anais do Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia, pp. 179-186, Rio de Janeiro, 1981.
- . QUEIROZ DE CARVALHO, J.B., Presença de Componentes Amorfos nos Solos Lateríticos, Anais da 18ª Reunião Anual de Pavimentação, Porto Alegre, setembro de 1983.
- . QUEIROZ DE CARVALHO, J.B., Estudo Sobre um Processo Acelerado de Cura para Solos Lateríticos Estabilizados com Cal, Anais da 20ª Reunião Anual de Pavimentação, Fortaleza, 1985.
- . RUDDOCK, E.C., "Properties and Position in Lateritic Ground" Proceedings of the Specialty Session on Engineering Properties of Lateritic Soil. VII ISCMFE, México, V.1, pp.11-21, 1969.
- . RAMEZANIANPOUR, A.A. e CABRERA, J.G., "The Measurement of Lime Activity of Natural and Artificial Pozzolans the University of Leeds, Leeds, 1988.
- . SOUZA SANTOS, P., Tecnologia de Argilas, Vol. II, Editora Edgar Blucher Ltda. Editora da USP, São Paulo, 1975.
- . SPIEGEL, M.R., Estatísticas - Tradução de Pedro Consentino, Editora McGraw-Hill do Brasil, Rio de Janeiro, 1980.
- . SCHELLMANN, W., "Geochemical Principles of Lateritic Nic

- kel ore Formation". Proc. of II International Seminar on Laterisation Processes. pp.119-135, São Paulo, 1983
- . THOMPSON. M.R., "Lime Reactivity of Illinois Soils", Journal of the Soil Mech and Foundation Division, ASCE , September. pag. 67-92, 1966.
 - . TUNCER, E.R., "Engineering Behavior and Classification of Lateritic Soils in Relation to Soil Genesis". Iowa State University, Ph.D Thesis, 1976.
 - . USA - "Soil Taxonomy, a Basic System of Soil Classifica - tion for Making and Interpreting Soil Surveys". Agriculture hand Book 436, U.S. Dep. Agric. 754p., Washing - ton D.C. 1975.
 - . VARGAS, M., "The Use of the Atterberg Limits in the Clas - sification of Tropical Soils" Original title. O Uso dos Limites de Liquidez na Classificação de Solos Tro - picais. Proceedings of the VII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, pp. 262-278, 1982.
 - . VALLERGA, B.A., VAN TIL, C.I. and RANAMAND, N., "Enginee - ring Properties of Lateritic Materials Use in Thailand Road Construction". Proceeding of the Specialty Ses - sion on Engineering Properties of Lateritic Soil. VII ICSMFE, V. 2, pp. 109-121, 1969.
 - . VILLIBOR, D.F. e NOGAMÍ, J.S., Novo Critério para Escolha de Solos Arenosos Fino para Base de Pavimentos, 17ª Reunião Anual de Pavimentação, Brasília-DF, 1982.
 - . VAN DE VOORT, M., "The Lateritic Soils of Indonesia , Trans." Int. Congr. Soil Sci. V. 1, pp.277-281, 1950.

- . WINTERKORN, F.M. and CHANDRASENKHARAN, E.C., "Lateritic Soil and Their Stabilization". Highway Research Board Bulletin, No 44, pp.10-29, 1951.

APÊNDICES

Método do Permeâmetro de Blaine

Método do Permeâmetro de Fisher

Método de Determinação da Resistência à Compressão
Simples

Método de Determinação do Índice de Suporte Cali-
fórnia.

APÊNDICES

INTRODUÇÃO

Algumas das metodologias constantes desta pesquisa, não são usualmente abordadas em engenharia dos materiais. Por este fato foram selecionados alguns métodos de ensaios que se encontram a seguir descritos de forma a permitir um conhecimento mais adequado deste campo de pesquisa que situa-se numa interface (materiais - geotecnia), de modo a complementar de forma acadêmica o trabalho desenvolvido nesta dissertação.

APÊNDICE I

MÉTODO DO PERMEÂMETRO DE BLAINE

A metodologia para determinação da área específica de solos lateríticos através do permeâmetro de Blaine, baseia-se na norma da ABNT (1966).

Amostra

As amostras utilizadas foram beneficiadas em peneira ABNT Nº 200 (0,074 mm), posteriormente secas em estufa a 110°C.

Área Específica

Área específica consiste em fazer passar uma quantidade

determinada de ar. O número e tamanho dos poros da camada são função das partículas e determinam a velocidade com que o ar atravessa a camada.

As expressões utilizadas na pesquisa para cálculo das área específicas, em função do tempo de fluxo de ar que atravessa a amostra foram:

$$S_c = \frac{K_5 \cdot \sqrt{e^3} \cdot \sqrt{T}}{\rho (1 - e)} \quad K_5 = \frac{S_p \cdot \rho_p (1 - e_p)}{\sqrt{e_p^3} \cdot \sqrt{T_p}}$$

onde:

S_c = superfície específica da amostra do pó, em cm^2/g ;

K_5 = constante;

e = porosidade da camada preparada da amostra do pó;

T = tempo de fluxo do ar através da amostra do pó, em seg.;

ρ = massa específica da amostra do pó, em g/cm^3 ;

ρ_p = massa específica da camada da amostra padrão, $3,24\text{g}/\text{cm}^3$;

S_p = superfície específica da amostra padrão, $3420\text{ cm}^2/\text{g}$;

e_p = porosidade da camada preparada da amostra padrão igual a 0,5;

T_p = tempo de fluxo do ar de cimento da amostra padrão, em segundos.

A calibração do aparelho foi feita na seguinte ordem:

a) determinação do volume aparente da camada compacta de cimento.

- 1) coloca-se dois papéis de filtro no tubo de permeabilidade;
- 2) enche-se o tubo de permeabilidade com mercúrio e rasa-se o mercúrio com uma lâmina de vidro plana;
- 3) retira-se o mercúrio e rasa-se, obtendo-se " P_A " em gramas;

- 4) retira-se um dos papéis de filtro;
- 5) coloca-se 2,80 g de cimento ou solo;
- 6) coloca-se o papel de filtro retirado anteriormente;
- 7) comprime-se com o êmbolo o cimento ou solo;
- 8) completa-se o tubo de permeabilidade com mercúrio e rasa se novamente com a lâmina de vidro;
- 9) retira-se o mercúrio e pesa-se, obtendo-se " P_B " em gramas;
- 10) o volume aparente da camada compactada é então obtido pela expressão:

$$V_c = \frac{P_A - P_B}{\rho_{Hg}}$$

onde:

V_c = volume aparente da camada, em cm^3 ;

ρ_{Hg} = é a massa específica do mercúrio na temperatura ambiente em g/cm^3 .

- 11) Faz-se duas ou mais determinações do " V_c " e toma-se a média de dois resultados, cuja diferença seja $\pm 0,005cm^3$

b) determinação da massa da amostra padrão.

- 1) Agita-se a amostra padrão por dois minutos em frasco de $150 cm^3$;
- 2) determina-se o peso da amostra padrão " P_p " pela expressão:

$$P_p = \rho_p \cdot V_c (1 - C_p)$$

onde:

ρ_p = massa específica da amostra padrão, em g/cm^3 ;

C_p = porosidade da amostra padrão;

- 3) coloca-se um papel de filtro no tubo de permeabilidade;

- 4) coloca-se o peso da amostra padrão no tubo de permeabilidade;
 - 5) golpeia-se os lados do tubo para nivelar o pó;
 - 6) coloca-se em cima da amostra padrão outro papel de filtro e comprime-se com o êmbolo.
- c) determinação do tempo padrão de fluxo.
- 1) inicia-se o ensaio de permeabilidade com a amostra padrão, ligando-se o tubo de permeabilidade com o manômetro;
 - 2) puxa-se o ar até a primeira marca do manômetro;
 - 3) liga-se o cronômetro quando o menisco atinge a segunda marca;
 - 4) desliga-se o cronômetro quando o menisco atinge a terceira marca;
 - 5) anota-se o tempo padrão de fluxo " T_p " empregando-se três porções diferentes da amostra padrão e utiliza-se a média.

APÊNDICE II

MÉTODO DO PERMEÂMETRO DE FISHER

A metodologia para determinação da área específica de solos lateríticos através do permeâmetro de Fisher, baseia-se em método de ensaio do Departamento de Controle de Qualidade da CVRD.

Amostra

As amostras utilizadas foram beneficiadas em peneira ABNT Nº 200 (0,074 mm), posteriormente seca em estufa a 110°C.

Área Específica

O permeâmetro de Fisher opera sob o princípio de permeabilidade ao ar para medir o tamanho médio das partículas de um material pulverulento. O princípio baseia-se no fato de que através das partículas permeia um fluxo de ar regular que será afetado pelo seu tamanho e porosidade.

Os princípios básicos operacionais do permeâmetro de Fisher são relativamente simples; a bomba de ar desenvolve gradualmente uma pressão na parte superior do tubo vertical do regulador de pressão. Sob essa pressão, o ar é conduzido para a amostra de pó compactada, contida no cilindro da amostra. A pressão do ar que atravessa a amostra de pó é medido em um manômetro calibrado no qual o nível do fluido indica o diâmetro médio das partículas do pó.

Embora as fórmulas matemáticas envolvidas na calibração do Fisher sejam complexas, como consequência do trabalho de Gooden e Smith (1940) sobre a padronização das condições, os diâmetros médios das partículas podem ser lidos diretamente no gráfico do instrumento, sem computação matemática pelo operador. Gooden e Smith (1940) chegaram à seguinte expressão para o diâmetro médio das partículas:

$$d_m = \frac{60.000}{14} \sqrt{\frac{\eta C F L^2 M^2}{(V\rho - M)^3 (P - F)}}$$

onde:

d_m = diâmetro médio, em m;

η = viscosidade do ar, em Poise;

C = viscosidade cinemática, devido a resistência nas paredes do manômetro, em $\text{cm}^3/\text{s.cm}$;

F = diferença de pressão, em g/cm^2 ;

ρ = massa específica da amostra, em g/cm^3 ;

L = massa da amostra, em g;

V = volume aparente da amostra, em cm^3 ($V = A.L.$, onde:

A = área da seção transversal do cilindro da amostra que é igual a $1,267 \text{ cm}^2$);

P = altura da pressão de ar total, em g/cm^2 ;

M = massa da amostra, em g.

A área específica é obtida a partir do diâmetro médio das partículas do pó pela expressão:

$$S_c = \frac{6 \times 10^4}{d_m \rho_r}$$

onde:

S_c = área específica do pó, em cm^2/g ;

d_m = diâmetro médio, em m;

ρ_r = densidade real do pó, em g/cm^3 .

a) Determinação do ponto de porosidade excelente

- 1) Desloca-se a chave de força para "on" (ligado) e deixa-se que o instrumento se aqueça durante 20 min, enquanto se permite que a unidade se aqueça, executa-se as etapas de 2 a 8;
- 2) coloca-se um disco de papel sobre as extremidades do tubo da amostra. Em seguida, com a superfície perfurada da tampa porosa de encontro a superfície do disco de papel, comprime-se uma das tampas porosas cerca de meia polegada dentro do tubo, forçando o papel amassar-se em torno das margens;
- 3) coloca-se verticalmente o tubo no suporte do tubo da amostra, com a extremidade aberta para cima;
- 4) pesa-se fora a amostra de pó, seco à 110°C, igual em gramas à densidade da amostra;
- 5) usando-se funil adequado, transfere-se completamente a amostra pesada para o tubo de amostra. Bate-se levemente no lado do tubo para assentar o pó;
- 6) coloca-se um segundo papel sobre a parte superior aberta do tubo de amostra e força-se outra tampa porosa para dentro do tubo;
- 7) coloca-se o tubo de amostra na baliza de metal amarelo com a tampa inferior tocando a parte superior da baliza;
- 8) usando-se o controle do pinhão e da cremalheira, abaixa-se esta até que a extremidade de fundo plano toque a tampa superior;
- 9) move-se o gráfico do calculador para a direita até que

- o ponteiro esteja colocado na porosidade de 0,80;
- 10) usando-se o controle do pinhão e cremalheira, abaixa-se esta até que a ponta do ponteiro, localizado na cremalheira, esteja colocada na curva de altura da amostra , no gráfico;
 - 11) sem mover-se o gráfico, ergue-se a cremalheira e retira-se o tubo de amostra, tomando-se cuidados para não agitar-se a amostra;
 - 12) instala-se o tubo de amostra entre os suportes alcochoados com borracha, justamente à direita da baliza de metal amarelo e gira-se o controle da unidade prendedora para a direita até que o tubo fique fixo no lugar, fazendo-se uma vedação impermeável no ar, em ambas as extremidades do tubo;
 - 13) regula-se o seletor de controle de pressão até que se elevem bolhas no tubo vertical do regulador de pressão , na proporção de duas a três por segundo. O nível d'água, o que não significa anormalidade. O nível do líquido no tubo do manômetro elevar-se-á lentamente e alcançará uma altura máxima dentro de segundos ou minutos, dependendo do tamanho da partícula;
 - 14) depois que o líquido do manômetro alcança o seu nível máximo, e sem desarranjar-se o gráfico do calculador, gira-se para cima a cremalheira até que a borda superior da barra transversal coincida com o menisco do líquido manométrico;
 - 15) lê-se o tamanho da partícula diretamente no gráfico e registra-se a leitura. O tamanho da partícula é indicada pela localização da ponta do ponteiro com relação as curvas no gráfico do calculador;

16) move-se o gráfico do calculador para a esquerda a uma porosidade de 0,75 e repete-se as etapas 10 até 15. Em seguida, move-se o gráfico do calculador para a esquerda a uma porosidade de 0,70 e repete-se as etapas 10 a 15. E assim sucessivamente até que a amostra fique tão compactada quanto possível;

17) registra-se todas as leituras numa folha de papel milimetrado e conecta-se os pontos. O ponto mediano do platô da curva é o ponto de porosidade excelente, ou o ponto no qual a escala de porosidade deve ser colocado para medir o tamanho das partículas, com o máximo grau de erro;

b) Determinação do diâmetro médio das partículas

O diâmetro médio das partículas é determinado de modo idêntico à determinação da porosidade excelente, obedecendo-se os seguintes procedimentos:

- 1) executa-se as etapas 1 a 8 relativa a determinação da porosidade excelente;
- 2) ajusta-se o gráfico do calculador para indicar a porosidade desejável;
- 3) executa-se as etapas 10 até 15, relativas à determinação da porosidade excelente.

c) Cálculo da área específica

Conhecido o diâmetro médio das partículas tirado diretamente do gráfico do calculador, a área específica da amostra do solo pode ser obtida pela expressão:

$$S_c = \frac{6 \times 10^4}{d_m \cdot \rho_r}$$

onde:

S_c = área específica do pó, em cm^2/g ;

\bar{d}_m = diâmetro médios das partículas, em mm;

ρ_r = densidade real do pó, em g/cm^3 .

APÊNDICE III

MÉTODO DE ENSAIO UTILIZADO PARA A DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA
À COMPRESSÃO SIMPLES

A metodologia para determinação da resistência à compressão simples não confinado de solos lateríticos, baseia-se nos trabalhos de Thompson (1966), Queiroz de Carvalho (1979) e Aflitos (1980).

Amostra

As amostras utilizadas foram beneficiadas em peneira ABNT 9,5 mm (3/8"), obtida antes por quarteamento.

Para determinação da resistência à compressão simples, as amostras foram colocadas em um cilindro de 5 cm de diâmetro (d) por 10 cm de altura (h) compactada estaticamente em molde projetado para tal fim. A quantidade de solo necessária à moldagem do corpo de prova para compactação estática é baseada na seguinte expressão:

$$P_s = \gamma_s \cdot V_1$$

$$P_h = P_s (1 + h_i)$$

$$V = \frac{\pi D^2 h}{4}$$

$$P_a = P_s \left(\frac{h_{ot} - h_i}{100} \right)$$

$$P_{cal} = P_s \times \% Cal$$

onde:

P_s = massa do solo seco, em g;

γ_s = massa específica aparente seca máxima obtida no ensaio de compactação dinâmica, em g/cm³;

V = volume do cilindro de $d = 5$ cm e $h = 10$ cm, em cm³;

d = diâmetro interno do cilindro, em cm;

Ph = massa do solo úmido a ser utilizado no ensaio de resistência à compressão simples, em g;

hot = umidade em que se deseja moldar, em (%);

hi = umidade higroscópica, em (%);

Pa = massa da água a adicionar afim de obter a umidade desejada, em g;

Pcal = massa da cal a ser adicionada em relação ao Ps; tomada em função da percentagem da cal no ensaio, em g.

Inicialmente a carga foi aplicada no topo do cilindro, até se obter um corpo de prova com $12,5$ cm \pm $0,1$ cm de altura. A seguir o molde foi invertido e aplicado uma carga na base do cilindro até uma altura de 10 cm \pm $0,1$ cm, deixada durante o tempo de 2 min. Após a moldagem, os parâmetros massa específica aparente seca máxima e umidade ótima foram verificados de forma a se reproduzir os dados obtidos no ensaio dinâmico. Quando os resultados da massa específica aparente seca máxima e umidade ótima dos corpos de prova diferiam \pm 5% dos valores do ensaio dinâmico, novos corpos de prova foram moldados.

a) Determinação da Resistência à Compressão Simples.

O ensaio de resistência à compressão simples foi realizado com deformação controlada a uma velocidade de 0,8mm/min.

O aparelho para determinação da resistência à compres-

são simples foi constituído de pratos entre os quais o corpo de prova foi comprimido, sendo as deformações medidas por um deflectômetro e a carga por um anel dinamométrico. O valor máximo da carga aplicada dividido pela área do corpo de prova foram os valores da resistência à compressão simples.

APÊNDICE IV

MÉTODO DE ENSAIO UTILIZADO PARA A DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA.

A metodologia para determinação do Índice de Suporte Califórnia baseia-se no método do DNER (1977).

Amostra

As amostras foram beneficiadas em peneira ABNT 19,1mm (3/4 pol) obtidos antes por quarteamento.

Aparelhagem

A aparelhagem necessária para a execução do ensaio foram as seguintes:

- a) balanças que permitam pesar nominalmente 20 kg e 1500 g com resoluções de 1g e 0,1g, respectivamente, e sensibilidade de compatíveis;
- b) peneiras de 19 mm de acordo com a NBR 5734;
- c) estufa capaz de manter a temperatura entre 105°C e 110°C;
- d) cápsulas metálicas, para determinação de umidade;
- e) bandejas metálicas;
- f) régua biselada com comprimento de 30 cm;
- g) espátula de lâmina flexível com aproximadamente 10 cm;
- h) cilindro; compreende o molde cilíndrico de bronze, latão ou ferro galvanizado, base perfurada, cilindro complementar de mesmo diâmetro (colarinho) e dis

co espaçador metálico;

- i) soquete de latão ou bronze com massa (4500 ± 2) g;
- j) prato perfurado de bronze, latão ou ferro galvanizado, com 149 mm de diâmetro e 5 mm de espessura;
- k) disco anelar de aço para sobrecarga, com 2270 g de massa total;
- l) prensa, composta dos seguintes elementos: conjunto dinamométrico com capacidade de 50 KN, sensível a 25 N, constituído por anel dinamométrico calibrado, de aço, com dimensões compatíveis com a carga acima apresentada, com dispositivo para se fixar ao entalhe da travessa, extensômetro graduado um 0,001mm, ao centro do anel, para medir encurtamentos diâmetros, pistão de penetração, com 49,6 mm de diâmetro e com altura de cerca de 190 mm, variável conforme as condições de operação;
- m) extrator de corpo de prova;
- n) tanque ou recipiente com capacidade tal que permita a imersão total do corpo de prova;
- o) papel de filtro circular com cerca de 150 mm de diâmetro.

Energia de Compactação

A energia de compactação para realização desta pesquisa, foi equivalente ao Proctor Normal (6,0 kg.cm/cm³).

Cálculo

A quantidade de solo e cal necessária para a moldagem dos corpos de prova, foram baseadas nas seguintes expressões:

$$P_s = D_{sm\acute{a}x} \times V$$

$$P_{st} = P_s + \text{ACR\acute{E}SC}$$

$$P = P_{st} (1 + h_i)$$

$$P_a = P_{st} (h_o - h_i)$$

$$P_{cal} = P_{st} \cdot \%Cal$$

onde:

P_s = massa do solo seco, em g;

$D_{sm\acute{a}x}$ = massa espec\u00edfica aparente seca m\u00e1xima obtida na compacta\u00e7\u00e3o, em kg/m^3 ;

V = volume do cilindro de di\u00e2metro 15 cm e altura 10 cm , em cm^3 ;

P_{st} = massa do solo seco total, em g;

h_o = umidade \u00f3tima, em (%);

h_i = umidade higrosc\u00f3pica, em (%);

P_{cal} = massa da cal, em g.

Moldagem dos Corpos de Prova

As moldagens dos corpos de prova foram feitas na massa espec\u00edfica aparente seca m\u00e1xima e no teor de umidade \u00f3tima obtidos na compacta\u00e7\u00e3o dos solos later\u00edticos no estado natural e aditivados com 3,0%, 6,0% e 9,0% de cal. Em seguida levado para c\u00e2mara \u00famida com 100% de umidade relativa para os per\u00edodos de cura de 7 dias, 28 dias e 60 dias, sendo colocado posteriormente quatro dias de imers\u00e3o.

Ensaio do \u00cdndice de Suporte Calif\u00f3rnia

O ensaio para a determina\u00e7\u00e3o do \u00cdndice de Suporte Ca

liforniana foi realizado de acordo com método do DNER (1977), o qual consiste, basicamente, na medida da penetração do pistão no solo, a uma velocidade constante e igual a 1,27 mm/min , (0,05 pol/min). Cada leitura considerada no extensômetro do anel é função de uma penetração do pistão no solo e de um tempo especificado para o ensaio. De posse do gráfico de aferição do anel, tem-se a correspondência entre as leituras efetuadas no extensômetro do anel e as cargas atuantes.

Apresentando a curva pressão - penetração um ponto de inflexão, torna-se necessário corrigir esta curva. Esta correção consiste em se traçar uma tangente à curva neste ponto , até que a mesma intercepte o eixo das abcissas. A curva corrigida será então esta tangente mais a porção convexa da curva original, considerada a origem mudada para o ponto em que a tangente corta o eixo das abcissas; somar esta distância nos pontos correspondentes as penetrações de 2,54 mm e 5,08 mm e determinar as novas pressões corrigidas.

O Índice de Suporte Califórnia (ISC), em percentagem , é obtido pela fórmula:

$$\text{ISC} = \frac{\text{Pressão Calculada ou Pressão Corrigida}}{\text{Pressão Padrão}} \times 100 ,$$

adotando-se o maior dos valores nas penetrações de 2,54 mm e 5,08 mm.