

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE CONCRETOS DE CIMENTO
PORTLAND POZOLÂNICO FABRICADOS COM AGREGADOS
GRAÚDOS CONVENCIONAIS E NAO CONVENCIONAIS

EDMILSON ALTER CAMPOS MARTINS

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE CONCRETOS DE CIMENTO
PORTLAND POZOLÂNICO FABRICADOS COM AGREGADOS
GRAÚDOS CONVENCIONAIS E NÃO CONVENCIONAIS

Dissertação apresentada ao Curso
de Mestrado em Engenharia Civil da
Universidade Federal da Paraíba, em
cumprimento às exigências para ob-
tenção do grau de Mestre.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GEOTECNIA

ORIENTADOR : HEBER CARLOS FERREIRA

CÓ-ORIENTADOR : CARLOS ROBERTO VASCONCELOS COSTA

CAMPINA GRANDE-PB

OUTUBRO - 1990



M379e Martins, Edmilson Alter Campos
Estudo comparativo entre concretos de cimento portland pozolanico fabricados com agregados graudos convencionais e nao convencionais / Edmilson Alter Campos Martins. - Campina Grande, 1990.
111 f. : il.

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

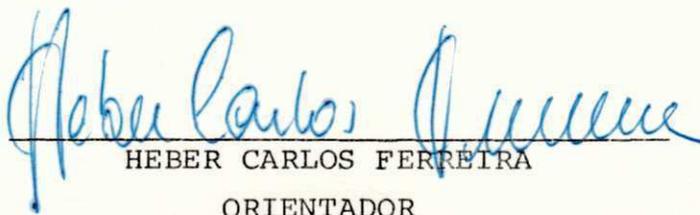
1. Concreto de Cimento Portland 2. Cimento Portland Pozolanico 3. Agregados Graudos 4. Geotecnia 5. Engenharia Civil 6. Dissertacao I. Ferreira, Heber Carlos, Dr. II. Costa, Carlos Roberto Vasconcelos, M.Sc. III. Universidade Federal da Paraiba - Campina Grande (PB). IV. Título

CDU 666.942:666.972(043)

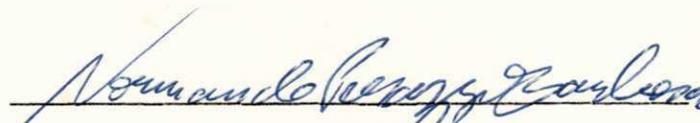
ESTUDO COMPARATIVO ENTRE CONCRETOS DE CIMENTO
PORTLAND POZOLÂNICO FABRICADOS COM AGREGADOS
GRAÚDOS CONVENCIONAIS E NÃO CONVENCIONAIS

EDMILSON ALTER CAMPOS MARTINS

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 01 de outubro de 1990


HEBER CARLOS FERREIRA
ORIENTADOR


CARLOS ROBERTO VASCONCELOS COSTA
CÓ-ORIENTADOR


NORMANDO PERAZZO BARBOSA
EXAMINADOR


VALDEZ BROGES SOARES
EXAMINADOR

OP-11-20 EHH

CAMPINA GRANDE-PARAÍBA

OUTUBRO - 1990

À Deus

Aos meus pais, Hellosman e Helena

Ao meu irmão Helman

À minha esposa Fernanda

Aos meus sogros, Augusto e Fátima

Dedico este trabalho.

AGRADECIMENTOS

- Ao Professor **Heber Carlos Ferreira**, D. Sc. do Departamento de Engenharia Civil da UFPB, pela orientação.
- Ao Professor **Carlos Roberto Vasconcelos Costa**, M.Sc., do Departamento de Engenharia Civil da UFPB, pela co-orientação.
- Aos Professores **João Batista Queiros de Carvalho**, P.h.D., **Francisco Barbosa de Lucena**, M.Sc. e **Valdez Borges Soares**, M.Sc., pelo permanente apoio à realização deste trabalho.
- Ao Professor **Normando Perazzo Barbosa**, Doc.Ing. do Departamento de Tecnologia de Construção Civil da UFPb, pelas suas valiosas sugestões.
- Aos Laboratoristas **Ronildo**, **Manoel** e **João Félix**.
- Aos Professores da área de geotecnia, de quem tanto incentivo e apoio recebi durante o trabalho.
- Ao Professor **Antônio Batista da Silva Neto**, pela revisão do texto.
- A **Lúcia** pelos serviços de datilografia e a **Joselito Souto** pela elaboração da parte gráfica.
- Aos meus pais, **Hellosman** e **Helena Martins**
- À minha esposa **Fernanda**, de quem tantos momentos de convívio foram retirados.

- Aos meus sogros **Augusto e Fátima Almeida**.
- Ao meu irmão **Helman**, pelo constante incentivo.
- A todos os que, de uma maneira ou de outra, contribuíram pa
ra a realização deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho trata de um estudo comparativo entre concretos de cimento Portland Pozolânico confeccionados com agregados graúdos convencionais (brita granítica) e outros não convencionais como o seixo rolado, as concreções lateríticas e a brita calcária. Foram definidas 05 misturas para obter várias faixas de resistência que englobam a maioria das estruturas usadas correntemente nas obras de engenharia.

Os resultados obtidos permitiram concluir que o concreto utilizando o seixo rolado estudado como agregado graúdo apresentou o mesmo e, às vezes, até melhor desempenho em relação ao concreto utilizando brita granítica. Já para o caso dos concretos utilizando concreções lateríticas e brita calcária na confecção do concreto de cimento Portland, sua performance foi próxima do concreto convencional, sugerindo as suas aplicações com segurança em obras de engenharia de pequeno porte.

ABSTRACT

This thesis deals with a comparative study between Portland's Pozolânic cement concretes made with conventional large aggregation (granitic crushed stone) and not others conventional ones such as: rolling pebble, lateritic concretions and calcareous crushed stone.

It was defined 05 mixtures to attain several strength bands on which they englobe most of the currently used forms into engineering buildings.

The attained results allowed to conclude that, the concrete using rolling pebble and studied the same as large aggregation showed to have equal and something better performance related to concrete using granitic crushed stone. In the case of concretes using lateritic concretions and calcareous crushed stone, at the concrete confection of Portland's cement, its fulfilment was almost similar the conventional one, suggesting its applications with safety into small size engineering buildings.

ÍNDICE

	Página
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO II - OBJETIVO DA PESQUISA.....	3
CAPÍTULO III - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1 - INTRODUÇÃO	4
3.2 - ALGUMAS PROPRIEDADES DOS AGREGADOS QUE INFLUENCIAM NO DESEMPENHO DOS CONCRETOS DE CIMENTO PORTLAND.....	5
3.2.1 - Introdução.....	5
3.2.2 - Forma e Textura dos Agregados.....	5
3.2.3 - Resistência aos Esforços Mecânicos.....	6
3.2.4 - Massa Unitária.....	7
3.2.5 - Massa Específica aparente e real..	7
3.2.6 - Porosidade, permeabilidade e absorção.....	8
3.2.7 - Granulometria.....	9
3.3 - PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO E ENDURECIDO.....	10
3.3.1 - Concreto Fresco.....	10
3.3.2 - Concreto Endurecido.....	13
3.4 - GRANITO, SEIXO ROLADO, MATERIAIS LATERÍTIÇOS E ROCHAS CALCÁRIAS: DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO.....	17

3.4.1 - Granitos.....	17
3.4.2 - Seixo Rolado.....	19
3.4.3 - Materiais Lateríticos.....	20
3.4.4 - Rochas Calcárias.....	23
3.5 - ALGUNS ESTUDOS UTILIZANDO AGREGADOS GRAÚDOS NÃO CONVENCIONAIS NA FABRICAÇÃO DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND.....	25
CAPÍTULO IV - MATERIAIS E MÉTODOS.....	30
4.1. INTRODUÇÃO	30
4.2. ESCOLHA DOS MATERIAIS.....	30
4.2.1 - Agregados Graúdos.....	30
4.2.2 - Agregado Miúdo.....	32
4.2.3 - Cimento.....	32
4.2.4 - Água.....	32
4.3 - COLETA DOS MATERIAIS UTILIZADOS NA PESQUI- SA.....	32
4.3.1. Brita Granítica.....	32
4.3.2. Seixos Rolados.....	33
4.3.3. Concreções Lateríticas.....	33
4.3.4. Rochas Calcárias.....	33
4.3.5. Areia.....	34
4.3.6. Cimento.....	34
4.3.7. Água.....	34
4.4 - CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS GRAÚDOS UTI- LIZADOS NA PESQUISA.....	37
4.5 - PREPARAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS NA PES- QUISA.....	37
4.6 - MÉTODOS DE ENSAIOS.....	39

4.6.1. Ensaio de Caracterização dos Agre <u>g</u> ados.....	39
4.6.2. Moldagem e Cura dos Corpos de Pro <u>v</u> a Cilíndricos de Concretos.....	41
4.6.3. Determinação da Consistência do Concreto.....	42
4.6.4. Módulo de Elasticidade.....	42
4.6.5. Avaliação da Dureza Superficial do Concreto Endurecido.....	43
4.6.6. Resistência dos Corpos de Prova Cilíndricos do Concreto à Compres <u>s</u> ão Simples.....	44
4.6.7. Resistência à Tração do Concreto por Compressão Diametral de Corpos de Prova Cilíndricos	44
4.7. ESCOLHA DE GRADUAÇÃO DOS AGREGADOS GRAÚDOS UTILIZADOS NA PESQUISA.....	44
4.8. ESCOLHA DOS TRAÇOS UTILIZADOS NA PES <u>Q</u> UISA	45
CAPÍTULO V - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	47
5.1. INTRODUÇÃO.....	47
5.2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DOS AGREGADOS GRAÚDOS.....	47
5.2.1. Granito.....	47
5.2.2. Seixo.....	49
5.2.3. Materiais Lateríticos.....	49
5.2.4. Calcário.....	50

5.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	50
5.3.1. Granulometria dos Agregados Graúdos.....	50
5.3.2. Granulometria do Agregado Miúdo.....	53
5.3.3. Massa Específica Real dos Agregados Graúdos.....	56
5.3.4. Massa Específica Aparente dos Agregados Graúdos.....	57
5.3.5. Absorção dos Agregados Graúdos.....	57
5.3.6. Massa Específica Real do Agregado Miúdo.....	59
5.3.7. Massa Unitária no Estado Compactado Seco dos Agregados Graúdos.....	60
5.3.8. Massa Unitária dos Agregados Graúdos no Estado Solto.....	60
5.3.9. Índice de Forma	61
5.3.10. Teor de Argila em Torrões nos Agregados Graúdos.....	62
5.3.11. Teor de Materiais Pulverulentos....	62
5.4. CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS.....	62
5.4.1. Desgaste do Agregado por Abrasão....	62
5.4.2. Resistência ao Esmagamento.....	64
5.5. DEFINIÇÃO DOS TRAÇOS.....	65
5.5.1. Traços Efetivados.....	65
5.6. TRABALHABILIDADE.....	66
5.7. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL.....	68
5.8. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DIAMETRAL.....	82
5.9. CORRELAÇÕES ENTRE OS VALORES DA RESISTÊN	

CIA À COMPRESSÃO DIAMETRAL DOS CONCRETOS ESTUDADOS.....	86
5.10.MÓDULO DE ELASTICIDADE	88
5.11.ENSAIO COM ESCLERÔMETRO DE REFLEXÃO.....	96
CAPÍTULO VI - CONCLUSÕES	99
CAPÍTULO VII - SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	102
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	104

CAPITULO I

INTRODUCAO

A importância dos agregados no estudo do concreto de cimento Portland os quais ocupam cerca de 70% do volume de concreto, associado à influência do preço dos transportes, no custo das obras de engenharia, tem estimulado o surgimento de pesquisas visando a utilização de agregados cujas propriedades físicas e/ou mecânicas não satisfazem totalmente os requisitos exigidos pelas especificações da Associação Brasileira de Normas Técnicas - **ABNT**:

Em algumas regiões do Brasil, verifica-se a escassez de rochas tradicionalmente utilizadas para a fabricação de agregados, como as rochas graníticas. Em contrapartida, às vezes, ocorre a existência de outros materiais como o seixolado, concreções lateríticas e rochas calcárias. Estes materiais têm sido usados, em sua maioria, de maneira empírica na fabricação de concreto de cimento Portland para construções de pequeno porte em certas áreas das regiões Norte e Nordeste do Brasil.

As experiências nacionais e internacionais existentes, objetivando a utilização de agregados não convencionais, estão em fase de ordenamento, já que, ainda, não são conheci

cidos ensaios específicos que visem a utilização desses materiais. Dessa maneira, justifica-se a realização de pesquisas que possam oferecer conhecimento técnico mais especializado do desempenho do referido concreto, com vista a alcançar, em maior escala, o seu emprego em obras de engenharia de forma racional.

CAPITULO II

OBJETIVO DA PESQUISA

A finalidade desta pesquisa tem por meta a comparação entre os desempenhos do concreto confeccionado com um agregado gráudo convencional (brita granítica), e outros concretos utilizando agregados gráudos não convencionais¹ como o seixo rolado, concreções lateríticas e brita calcária.

O estudo comparativo foi elaborado com cinco misturas, objetivando dar uma contribuição que permita o desenvolvimento de estudos e utilização de materiais alternativos na fabricação de concreto de cimento Portland, dentro de padrões adequados, implicando em grandes economias para regiões carentes de agregados gráudos convencionais.

(1) agregados gráudos não convencionais foram definidos por Brasileiro, (1983), como sendo agregados cujas propriedades físicas e/ou mecânicas não satisfazem integralmente os requisitos exigidos pelas especificações para determinados tipos de serviços, ou mesmo não ser de uso comum, em algumas regiões.

CAPÍTULO III

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. INTRODUÇÃO

Esta revisão bibliográfica tratará dos tópicos relacionados com os objetivos da pesquisa que corresponde a um estudo comparativo do concreto de cimento Portland utilizando agregados graúdos convencionais e não convencionais. Serão abordados os seguintes tópicos:

- algumas propriedades dos agregados que influenciam no desempenho dos concretos de cimento Portland;
- propriedades do concreto fresco e endurecido;
- granito, seixo rolado, materiais lateríticos e rochas calcárias: definição e classificação;
- alguns estudos utilizando agregados graúdos não convencionais na fabricação de concreto de cimento Portland.

3.2. ALGUMAS PROPRIEDADES DOS AGREGADOS QUE INFLUENCIAM NO DESEMPENHO DOS CONCRETOS DE CIMENTO PORTLAND

3.2.1. Introdução

Levando-se em consideração que cerca de 70% do concreto é constituído de agregados, torna-se fácil perceber que a sua qualidade seja de substancial importância na confecção do mesmo.

3.2.2. Forma e Textura dos Agregados

Os grãos dos agregados podem ser arredondados, como os seixos, ou de forma angular e de arestas vivas com faces mais ou menos planas, como a pedra britada.

Esta forma geométrica dos agregados graúdos tem grande importância como fator de qualidade dos concretos. Sob este aspecto, a melhor forma é a que se aproxima da esfera, para os seixos, e do cubo com as três dimensões espaciais da mesma ordem de grandeza, para as britas, Petrucci (1978).

A classificação da textura superficial se baseia no grau em que as partículas se apresentam polidas ou opacas, lisas ou ásperas. A textura superficial depende da dureza, tamanho das partículas e características dos poros da rocha-mãe - as rochas duras, densas e de granulação fina têm, geralmente, superfícies lisas - assim como das ações sobre as superfícies das partículas no sentido de torná-las mais lisas ou mais ásperas.

Ainda não é conhecido o mecanismo completo do efeito da textura dos agregados sobre a resistência do concreto, mas é possível que uma textura áspera resulte em forças de aderência mais intensas entre as partículas e a matriz de pasta de cimento, Neville (1982)

3.2.3. Resistência aos esforços mecânicos

Os agregados graúdos para serem utilizados com proveito nos concretos, devem ter grãos resistentes e duráveis, Troxell e Davis (1956).

Tendo-se em vista ser a resistência do concreto função do seu constituinte mais fraco, segue-se que o agregado graúdo deve ter resistência maior que a argamassa, pois do contrário, esta não seria convenientemente aproveitada, Petrucci (1978).

Um ensaio de resistência de agregado ao esmagamento (DNER-ME 42/71) é uma boa indicação quando se está estudando um agregado cujo desempenho é duvidoso, (DNER-ME 37/71).

A abrasão "Los Angeles" deverá ser inferior a 50%, em peso, do material segundo a NBR 7211/83 da ABNT. O valor do abrasão do agregado é definido como sendo a perda de peso em porcentagem, de modo que valores mais altos signifiquem resistência mais baixa à abrasão.

3.2.4. Massa Unitária

A massa unitária é definida como sendo a relação entre a massa de um certo volume total do agregado e esse volume.

Sua importância decorre da necessidade, na dosagem de concretos, de transformações de traços em peso para volume e vice-versa.

A massa unitária depende, evidentemente, de quanto o agregado foi adensado, e conclui-se que para um material de uma dada massa específica, a massa unitária depende da distribuição de tamanhos e da forma das partículas.

A massa unitária realmente obtida para um agregado depende não só das várias características do material que determinam o grau potencial de adensamento, mas também do adensamento de fato aplicado em cada caso, Neville (1981).

3.2.5. Massa específica aparente e real

Interessa conhecer, na tecnologia dos concretos, o espaço ocupado pelas partículas, desprezando os vazios internos nelas existentes, dando origem à massa específica aparente, Petrucci (1978).

A massa específica aparente depende da massa específica dos minerais que constituem o agregado e também da quantidade de vazios, Neville (1981).

A massa específica real é a razão da massa, no ar, de um volume de agregado, incluindo os vazios permeáveis

e impermeáveis, para a massa no ar, de igual volume de água destilada. Massa específica aparente é a razão da massa, no ar, de um volume de agregado (incluindo os vazios impermeáveis mas não os vazios permeáveis), para a massa no ar de igual volume de água destilada, (NBR 6458/84-ABNT)

A massa específica dos agregados é usada para cálculos de consumos de materiais empregados por metro cúbico de concretos, cálculo de traços, etc., ABCP (1982).

3.2.6. Porosidade, permeabilidade e absorção

A porosidade, a permeabilidade e a absorção dos agregados têm influência sobre propriedades tais como a aderência entre o agregado e a pasta de cimento, a resistência do concreto a congelamento e degelo, assim como a estabilidade química e a resistência à absorção.

A absorção de água pelos agregados também pode resultar em perda de trabalhabilidade com o tempo, mas depois de cerca de 15 min. essa perda é pequena, Neville (1981)

Tendo em vista que um agregado totalmente seco, ao ser posto em contato com a água, absorve uma certa quantidade de água para preenchimento de seus vazios, uma correção na quantidade de água de amassamento do concreto deve ser feita, de forma a ser mantida a quantidade de água desejada para proporcionar ao concreto as características desejáveis, ABCP (1982).

3.2.7. Granulometria

A composição granulométrica, ou seja, a proporção relativa, geralmente expressa em forma percentual, em que se encontram os grãos de um determinado agregado, tem uma influência muito importante sobre a qualidade das argamassas e dos concretos, especialmente sobre a compactidade e a resistência aos esforços mecânicos, Bauer (1979).

O início dos estudos de granulometria se deu com Feret (1892), na França. Todavia, cabe a Fuller e a Thompson, (1901) nos Estados Unidos, as primeiras investigações em grande escala, Bauer (1979).

O somatório das percentagens acumuladas em cada peneira da série normal, dividido por 100, é denominado módulo de finura.

As areias, de acordo com a sua zona granulométrica, podem ser classificadas em muito fina, fina, média e grossa, (NBR 7211/83 - ABNT).

O diâmetro máximo - outro valor representativo da granulometria do agregado -, corresponde à abertura da peneira em que ficar retida, acumulada, uma percentagem igual ou imediatamente inferior a 5%, (NBR 7211/83 - ABNT)

As determinações do módulo de finura e do diâmetro máximo dos agregados são muito importantes, portanto, baseado nesses valores, podemos executar a fase inicial da dosagem de concreto preconizada pela ABCP.

3.3. PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO E ENDURECIDO

3.3.1. Concreto Fresco

3.3.1.1. Introdução

Tendo em vista a qualidade do concreto endurecido, as propriedades desejáveis para o concreto fresco são as que asseguram a obtenção de mistura de fácil transporte, lançamento e adensamento, sem segregação, e que, depois do endurecimento, se apresenta homogêneo, com o mínimo de vazios, Silva (1981).

São propriedades do concreto fresco: a consistência, a textura, a trabalhabilidade, a integridade da massa (oposto de segregação), o poder de retenção de água (oposto da exudação) e a massa específica.

As quatro primeiras citadas são, muitas vezes, englobadas sob o termo trabalhabilidade, Petrucci (1978).

3.3.1.2. Definição e Importância da Trabalhabilidade

Apesar de sua importância a definição da trabalhabilidade tem sido muito confusa, devido a complexidade dos fatores nela envolvidos.

Citamos, abaixo algumas definições de trabalhabilidade dadas por alguns pesquisadores:

Glanville, Collis e Matheus, citados por Neville, (1981) - "trabalhabilidade é o trabalho útil, necessário para

produzir adensamento total".

Troxell e Davis (1956) - "trabalhabilidade é o conjunto de propriedades que englobam facilidades de colocação e resistência à segregação.

Blanks, Vidal, Price e Russel, citados por Petrucci (1978) - "trabalhabilidade é a facilidade com que um dado conjunto de materiais pode ser misturado para formar o concreto e, posteriormente, ser colocado com pouca perda de homogeneidade.

A trabalhabilidade do concreto é fundamental para se conseguir compactação que assegure a máxima densidade possível, com aplicação de uma quantidade de trabalho compatível com o processo de adensamento a ser empregado.

3.3.1.3. Fatores que afetam a trabalhabilidade

a) Fatores internos:

- consistência, que pode ser identificada pela relação água/cimento ou teor de água/materiais secos;
- proporção entre cimento e agregado, usualmente denominado traço;
- proporção entre agregado miúdo e graúdo, que corresponde à granulometria do concreto;
- forma de grão dos agregados, em geral dependendo do modo de obtenção (agregado em estado natural e obtido por britagem). É sabido que os agregados naturais (seixos rolados),

possibilitam mais plasticidade para o mesmo teor de água/mistura seca do que os angulares, lamelares ou aciculares. Estes últimos determinam grande percentagem de vazios no concreto:

- aditivos com finalidade de influir na trabalhabilidade, normalmente denominada plastificantes

b) Fatores externos:

- tipo de mistura, quer quanto ao sentido vertical de transporte, quer quanto ao meio de transporte: em guinchos ou vagonetas, calhas e bombas;
- tipo de lançamento, de pequena ou grande altura: por pás, calhas, trombas de elefantes, etc.
- tipo de adensamento, os mais usuais: manual e vibratório além de vácuo, centrifugação, etc;
- dimensões e armadura da peça a executar, Petrucci (1978).

Outros fatores de grande importância que afetam a trabalhabilidade são a absorção do agregado e o tempo após a mistura. O concreto recém-misturado enrijece com o tempo. Isto não deve ser confundido com a pega do cimento. Simplesmente, uma parcela de água da mistura é absorvida pelo agregado, outra é perdida por evaporação, especialmente se o concreto for exposto ao sol e ao vento, e uma terceira parcela é removida pelas reações químicas iniciais, Neville (1982).

3.3.2. Concreto Endurecido

3.3.2.1. Introdução

A resistência, geralmente, é considerada a propriedade fundamental do concreto, embora, em alguns casos, a massa específica, a permeabilidade, a durabilidade e a deformação possam ser, de fato, mais importantes. Não obstante, a resistência dá, normalmente, uma indicação geral da qualidade do concreto por estar diretamente relacionada com a estrutura da pasta de cimento endurecido, Neville (1981).

3.3.2.2. Massa específica

A massa específica dos concretos comuns realizados com os agregados normais varia segundo o processo de adensamento utilizado na sua fabricação, sofrendo também influência menor do meio ambiente em que são mantidos em razão da variação da propriedade de água contida nos seus poros, Bauer (1979).

3.3.2.3. Resistência aos esforços mecânicos

O concreto é material que resiste bem aos esforços de compressão e mal aos de tração.

O concreto resiste mal ao cisalhamento, em virtude das tensões principais que, então, se verificam em planos inclinados.

Os principais fatores que afetam a resistência mecânica são:

- a) relação água/cimento: como regra geral, devemos dizer que a resistência varia na razão inversa da relação água/cimento, dentro dos limites práticos de aplicação;
- b) idade: as reações entre cimento e água progridem com o tempo sendo, porém, de caráter assintótico;
- c) forma e dimensão dos corpos de prova: a forma dos corpos de prova influencia os resultados obtidos.

Nos países europeus, costuma-se usar os cubos, já nas Américas, predomina a forma cilíndrica;

- d) forma e graduação dos agregados: podemos afirmar que o agregado miúdo age pela granulometria, de forma que quanto mais finos forem, maior superfície específica terão e exigirão maior quantidade de água para molhar os grãos, refletindo-se esse aumento d'água na queda da resistência, enquanto o agregado graúdo pela granulometria, forma e textura do grão;
- e) tipo de cimento: embora numa estrutura seja difícil isolar a influência do cimento, não há dúvida de que a variação intrínseca da resistência do cimento se reflete na variação de resistência do concreto;
- f) velocidade de aplicação da carga de ensaio e duração de carga: dentro do intervalo de valores usuais de aplicação de carga, essa veloci

dade tem uma grande influência na resistência aparente do concreto, de tal modo que quanto maior a velocidade maior o resultado obtido. Isso é causado, provavelmente, pelo aumento da deformação com o tempo, devido à influência. Entretanto, atingida a tensão limite, ocorre ruptura independente da tensão aplicada, Neville (1981). Segundo a NBR 5739/80- ABNT, a carga deve ser aplicada continuamente, com uma velocidade de 0,3 MPa a 0,8 MPa, por segundo, correspondente a uma força de aproximadamente 1 ton/seg.

3.3.2.4. Permeabilidade

O concreto é um material obrigatoriamente poroso. Os vazios presentes são de origem diversa: excesso de água de mistura necessária à obtenção de trabalhabilidade conveniente; diminuição de volume absoluto que acompanha a hidratação dos constituintes do cimento; ar eventualmente ou propositadamente arrastado durante a operação de mistura; e fissuras de diversas origens como as térmicas, de retração, mecânicas, etc, Legrand (1975).

3.3.2.5. Durabilidade

A durabilidade dos elementos construtivos do concreto é condicionada ao eventual ataque de agentes agressivos a que estejam sujeitos durante a vida em serviço.

A ausência de durabilidade pode ser causada pelo meio ambiente em que o concreto está exposto ou por causas internas do próprio concreto. As causas externas podem ser físi

cas, químicas ou mecânicas, devido às intempéries, ocorrência de temperaturas extremas, abrasão, ação eletrolítica e ataque por líquidos ou gases, naturais ou artificiais. As causas internas podem ser a reação álcali-agregado, variações de volume devido às diferenças entre as propriedades térmicas do agregado e às da pasta de cimento, sobretudo a permeabilidade do concreto. Esta é a principal determinante da vulnerabilidade do concreto aos agentes externos de modo que, para ser durável, um concreto tem que ser impermeável, Lea and Davey, (1949).

3.3.2.6. Deformações

O concreto não é um material elástico linear, apresentando além da não linearidade outras características como fluência, retração envelhecimento, etc. Sob uma tensão permanente, a deformação cresce com o tempo, em outras palavras, o concreto tem a propriedade da fluência. Além disso, sujeito ou não a esforços, o concreto se contrai durante a secagem sofrendo uma retração.

As intensidades da retração e da fluência são da mesma ordem de grandeza da deformação elástica nas tensões usuais, de modo que devem ser levados em conta todos os tipos de deformação, Neville (1981).

A importância do conhecimento das deformações é salientada pela possibilidade de uma fissuração que será caminho aberto à agressão por agentes exteriores, ou, pelo surgimento de esforços adicionais nas peças com variação dimensional, em estruturas hiperestáticas, Petrucci (1978).

3.3.2.7. Dureza superficial do concreto endurecido

Com o objetivo de evitar dificuldades como a extração, cura e ensaio dos corpos de prova normalizados foram desenvolvidos ensaios in-situ, de forma que não se danifique a parte ensaiada. Fizeram-se várias tentativas para se chegar a ensaios não destrutivos, mas poucos foram bem sucedidas. Um método que encontrou aplicações práticas, dentro de finalidades limitadas, foi o método com o esclerômetro de reflexão, desenvolvido por Ernest Schmidt. Também é conhecido como ensaio de esclerômetro, ou, simplesmente, esclerometria.

Nos ensaios com esclerômetros determina-se a dureza superficial do concreto para, a seguir, relacionar com a sua resistência à compressão.

3.4. GRANITO, SEIXOS ROLADOS, MATERIAIS LATERÍTI- COS E ROCHAS CALCÁRIAS: DEFINIÇÃO E CLASSIFI- CAÇÃO

3.4.1. Granito

Granito é a rocha eruptiva composta de três minerais essenciais: quartzo, feldspato alcalino e micas. A textura é, geralmente, granular, na qual aparecem elementos passíveis de serem apreciados a olho nu.

Na composição do granito, além dos minerais essenciais, aparecem outros que servem para designar o tipo de granito, exemplo: granito com anfibólio, piroxênio, mica bran

ca, biotita e duas micas. Os granitos podem aflorar em batólitos, lacótitos, filões camadas, etc.

Os afloramentos de granitos aparecem, geralmente, em grandes maciços, e representam cerca de 5 a 10% da área total das rochas que aparecem na superfície do globo.

Aflora em grande quantidade no "complexo cristalino brasileiro", geralmente, associado aos gnaisses. Podemos encontrar os granitos desde o Arqueano até o Terciária. No maciço do Morvan (França), encontram-se granitos terciários, em pequenos afloramentos. Não há nenhuma referência a granitos quaternários, Guerra (1966).

O granito é excelente pedra de construção, desde que não se apresente alterada. Sua resistência e durabilidade são de sucesso comprovado, Verçozza (1975).

Uma classificação bastante prática é a da B. S. 312 - Parte 1-1965, onde, do ponto de vista petrográfico, os agregados podem ser divididos em vários grupos de rochas com características comuns, R.R.L. (1962)

GRUPO DE GRANITO	
Gnaisse	Metamórfico Regional
Granito	Ígneo, Ácido, Granulação Grossa
Granodiorito	Ígneo, Ácido, Granulação Grossa
Granulito	Metamórfico Regional
Pegmatito	-
Quartzo Diorito	Ígneo, Intermediário, Granulação Grossa
Sienito	Ígneo, Intermediário, Granulação Grossa

Quadro 3.1 - Classificação Mineralógica com Denominação Comercial dos Agregados (Fonte - R.R.L., 1962)

Normalmente os agregados denominados brita granítica são originados dos seguintes grupos de rocha, Santana (1970):

- a) grupo granítico (granito, diorito, sienito, gnais se);
- b) grupo basalto (basalto, diabásio).

3.4.2. Seixos Rolados

Seixo rolado é o agregado natural, proveniente da erosão, transporte e decomposição de detritos de desagregação das rochas pelos agentes de intemperismo.

Os seixos são compostos por diversos minerais e têm estrutura heterogênea, podendo-se encontrar num mesmo seixo várias formas microcristalinas de quartzo e, mais raramente, fragmentos de arenito e calcário, Verçosa (1975).

Os seixos são fragmentos de rochas transportadas pelas águas, cujo resultado é um arredondamento das arestas. Os fragmentos levados pelos rios, ou ainda os fragmentos de rochas despreendidos dos litorais e transportados a longas distâncias, tomam formas denunciadoras do trabalho a que foram submetidos preliminarmente. Os seixos fluviais têm, geralmente, a forma de uma esfera ou mesmo de uma elipse. Os seixos transportados pelas vagas oblíquas e correntes marinhas tomam formas muito achatadas por causa do vaivém das águas do mar junto ao litoral.

Na geologia o estudo dos seixos é feito principalmente tendo em vista a natureza do material que os constituem e a idade geológica do jazigo depositado, Guerra (1966).

Os seixos rolados são os agregados mais econômicos porque não necessitam de processos de britagem, e existem em grandes quantidades na natureza, sendo fácil a sua extração, Silva (1980).

Podem ser classificados segundo a forma como são encontrados em:

- a) seixos de depósitos dos leitos dos rios;
- b) seixos dos bancos de areia;
- c) seixos dos depósitos de enchentes;
- d) seixos dos depósitos eólicos;
- e) seixos dos depósitos marinhos.

3.4.3. Materiais Lateríticos

A expressão laterítica, do latim "later", que significa tijolo, foi lançada, inicialmente, na Índia por Buchanan (1807), para caracterizar um material natural que, quando exposto ao ar, endurece, podendo ser talhado em blocos, em forma de tijolos.

Os materiais lateríticos podem ser entendidos como sendo o produto de uma ação intempérica que leva a uma remoção concomitante de bases-elementos alcalinos e alcalinos terrosos, num processo conhecido por laterização.

No processo de laterização verifica-se uma hidratação e oxidação dos elementos minerais, sendo o ferro liberado sob a forma de hidróxido férrico. O silício e o óxido de magnésio são eliminados quase completamente, restando um resíduo insolúvel na superfície de: Fe, Al, Ti e Mn - lateritos. A late

rização acarreta uma perda em volume e em peso, por causa da partida de certos elementos. Os lateritos quando cavernosos adquirem certa permeabilidade.

Quanto à distribuição geográfica do laterito, verifica-se o seu aparecimento, apenas na faixa intertropical de clima úmido, sendo desconhecido nas outras partes do globo, onde tal tipo de clima não tenha existido.

No Brasil, a crosta ferroginosa aflora em grandes extensões nos chapadões do Centro-Oeste brasileiro. Na floresta amazônica, encontram-se algumas vezes, blocos no meio da floresta: em Terezinha (Serra do Navio - Amapá), estrada de Oiapoque à Clevelândia, etc. No Nordeste do Brasil, de clima semi-árido, é mais difícil encontrarmos este tipo de alteração. Aparece, no entanto, na Chapada do Araripe, bem como no litoral da Paraíba, no Cabo Branco, Guerra (1966).

Tem se constituído um grande problema adotar uma classificação de solo laterítico universalmente aceita, pois, a maioria desses sistemas de classificação leva em consideração fatores químicos e mineralógicos, poucos adequados à estudos de engenharia civil.

Uma classificação que podemos citar por sua razoável utilidade na engenharia civil, é a elaborada por Santana (1937), considerando os materiais lateríticos sob forma de:

- a) concreções ferruginosas (ou lateríticas) resistentes - passíveis de, por britagem, fornecerem agregados graúdos de acordo com especificações apropriadas;

- b) solos finos de comportamento laterítico - passíveis de fornecerem solos para sub-bases e bases (exceto tráfego pesado) de acordo com especificações apropriadas;
- c) solos graúdos de comportamento laterítico - passíveis de fornecerem solos para sub-bases e bases (inclusive tráfego pesado), e agregados graúdos em forma de pisólitos lateríticos (obtidos por lavagem e peneiramento), para camadas asfálticas (inclusive tratamento superficiais), e para concretos de cimento Portland de acordo com especificações apropriadas.

Uma tentativa de especificação para pedregulhos lateríticos foi apresentada por Bhatia e Hammond (1970), estudando lateritas do Oeste africano. Quadro 3.2.

Massa Específica Real (g/cm ³)	Absorção (24h)	Impacto (%)	Los Angeles (%)	Comportamento em serviço
> 2,85	< 4	< 30	< 40	Excelente
2,82 - 2,75	4 - 6	30 - 40	40 - 50	Bom
2,75 - 2,85	6 - 8	40 - 50	50 - 60	Sofrível
< 2,58	> 8	> 50	> 60	Péssimo

Quadro 3.2 - Tentativa de Especificação para Pedregulhos lateríticos. (Fonte - Bhatia e Hammond, 1970)

Joachim e Kandiah (1941), baseados nas relações moleculares sílica/alumina e sílica/sesquióxido da fração tamanho argila dos solos lateríticos, distinguem-nos da seguinte forma:

$$\frac{S}{R} < 1,33 \quad - \quad - \text{ lateritas}$$

$$1,33 < \frac{S}{R} < 2,0 \quad - \text{ solo laterítico;}$$

$$\frac{S}{R} > 2,0 \quad - \text{ solo não laterítico}$$

3.4.4. Rochas Calcárias

São rochas formadas essencialmente de carbonato de cálcio. O calcário é um termo latino "calcarius", e significa o que contém cal.

Quanto à sua origem pode ser biológica ou orgânica e química.

Os calcários de origem orgânica resultam da acumulação de restos de conchas, corais, etc.; e as de origem química da precipitação do carbonato de cálcio. Na superfície do globo os afloramentos de calcários de origem orgânica são os mais frequentes.

O calcário é uma rocha sedimentar cuja aplicação in natura ou com algum beneficiamento é bastante importante. Preliminarmente, deve-se destacar sua utilização na produção de cimento, pedra para construção, cal, mármore (calcário metamorfoseado), na calcificação dos solos para diminuir a acidez, e também como fundente na metalurgia, além da produção de barrilho, Guerra (1966).

Mineralogicamente, são compostos predominantemente, por calcita e/ou aragonita e dolomita, tendo como elementos acessórios várias espécies minerais, onde se incluem sílica

tos, carbonatos, fluoretos, sulfetos, sulfatos, fosfatos, matéria orgânica, óxidos e outros, resultantes da decomposição simultânea, metamorfismo, metassomatismo e de outros processos migratórios químicos-geológicos.

As rochas carbonatadas apresentam cores variadas, conforme o pigmento presente, desde a cor branca até a preta, passando pela cinza, amarela, verde e azulada, Guimarães (1978).

As rochas calcárias podem ser facilmente distinguidas das demais por três propriedades importantes:

- a) calcinam-se pela ação do calor, dando CO_2 e CaO ;
- b) atacados pelos ácidos, desprendem CO_2 com efervescência;
- c) são facilmente riscadas por canivete (grau 3 da escala de Mohr).

Uma classificação para rochas carbonatadas bem aceita é a elaborada por Guimarães (1978), que se baseia na composição mineralógica, considerando o autor as percentagens de calcita e dolomita presentes na rocha. Quadro 3.3.

ROCHAS	CALCITA (%)	DOLOMITA (%)
Calcário	95	5
Calcário Magnesiano	90 - 95	5 - 10
Calcário Dolomítico	10 - 50	50 - 90
Calcário Calcítico	50 - 90	10 - 50
Dolomito	10	90

Quadro 3.3. Classificação dos Calcários - Dolomitos. (Fonte-Guimarães, 1978).

São os calcários e os dolomitos rochas abundantes e ocupam 5 a 6% da parte sólida da superfície terrestre. Constituem 10 a 15% das rochas sedimentares e contribuem com significativa parcela para depósitos metamórficos e ígneos.

3.5. ALGUNS ESTUDOS UTILIZANDO AGREGADOS GRAÚDOS NÃO CONVENCIONAIS NA FABRICAÇÃO DE CONCRETOS DE CIMENTO PORTLAND

As pesquisas visando a utilização de agregados graúdos não convencionais, na fabricação de concretos de cimento Portland, encontram-se em pleno desenvolvimento.

Santos e Holanda (1988), em seu estudo "Determinação das Propriedades Mecânicas de Concreto Portland, quando da Utilização do Seixo Rolado da Região da Grande João Pessoa," usando quatro misturas e dois tipos de aditivos (um superplastificante e um incorporador de ar ao concreto), indicam que para determinadas características, como os rendimentos correspondentes às resistências à compressão simples e resistência à tração na compressão diametral, os concretos fabricados com seixos rolados mostram maior eficiência do aglomerante em relação aos fabricados com brita granítica. Nesse estudo, o seixo rolado utilizado passou pelo processo de classificação por peneiramento, seguido de eficiente lavagem. Temos um exemplo da eficiência desse seixo rolado como agregado graúdo em uma grande obra, no Estado da Paraíba, que é o Sistema Gramame-Mamuaba, que inclui barragens, reservatórios e estação de tratamento d'água, significando, assim, uma economia extraordinária.

Pompeu (1976), usando várias misturas para diferentes fatores água/cimento, concluiu que o concreto laterítico ofereceu quase a metade da resistência à compressão do concreto realizado com agregado convencional, para as mesmas relações cimento/agregado.

Caldeira (1985)⁷, em seu estudo "Uso de Laterita para Concreto", usando quatro dosagens executadas pelo Método do IPT, concluiu que o concreto laterítico estudado apresentou resistência mecânica inferior à do concreto tradicional (cerca de 20 a 30%). Nesse estudo, a laterita antes do seu emprego na confecção dos concretos, foi submetido à imersão total em água por período de vinte e quatro horas, seguida de espalhamento em estrado de madeira telado, para escoamento da água em excesso, num prazo de dezesseis horas, com a superfície exposta protegida por estopa úmida coberta com plástico. Meia hora antes de sua utilização, o material em descanso foi submetido a batidas leves espaçadas de intervalos de dez minutos, aplicados do lado externo da tela, de modo a permitir o escoamento da lâmina de água formado entre o agregado e a tela. Após sua remoção e homogeneização a laterita apresentou um teor de umidade de 5,8%, e imediatamente foi empregado na confecção dos traços.

Azevedo (1983), em seu trabalho "A Laterita Acreana Utilizada como Agregado Graúdo no Concreto", utilizando cinco traços de concreto laterítico e de basáltico, variando-se de 200 até 400 kg/m³ os consumos de cimento por m³ de concreto, concluiu que o concreto laterítico estudado, apresentou resistência mecânica próxima a do concreto basáltico. Concluiu

também que a laterita, antes de ser utilizada no concreto, deve passar por um beneficiamento de lavagem para diminuir a alta percentagem de material pulverulento, recobrando os grãos do agregado e a grande quantidade de torrões de argila. Após o peneiramento a laterita era colocada na betoneira e quipada de uma peneira cilíndrica, com uma tela de malha quadrada de 4,8mm e lavada com jatos de água, em um tempo de seis minutos, sendo que a cada três minutos a água era trocada. Terminada a lavagem, a água era retirada da betoneira, indo o material para a secagem ao sol, em um encerado de plástico estendido próximo ao local de lavagem.

Costa e Lucena (1987), em seu estudo "Utilização de um Solo Laterítico Concrecionado na Fabricação do Concreto de Cimento Portland", usando diversos traços de concreto, variando-se de 250 kg/m^3 a 425 kg/m^3 os consumos de cimento por m^3 de concreto, mantendo-se praticamente constantes as consistências dos concretos, concluíram que os resultados obtidos indicam a possibilidade de utilização do material laterítico, dosado com cimento em peças de concreto de cimento Portland desde que os mesmos sejam dimensionados com um F_{ck} (resistência característica à compressão), da ordem de 9.0 a 11.0MPa. As concreções lateríticas antes de serem utilizadas passaram pelo processo de peneiramento com lavagem e, posteriormente, secas ao ar.

Souto (1980), em seu trabalho "Estudo sobre Características do Concreto Laterítico: propriedades e metodologia", usando o traço 1:1,4, 2,6: 0,40 conseguiu com o concreto laterítico resistência à compressão aos 28 dias de 28,4MPa. Na fabricação desse concreto laterítico, a fim de diminuir a

quantidade de material pulverulento e reduzir o teor de torções de argila, lavou-se as concreções laterísticas em água corrente durante dois minutos. A fim de evitar correções do fator A/C estas foram deixadas submersas por 24 horas. Antes da preparação da mistura, as concreções foram secas ao ar livre por três horas e, desta forma, ficaram saturada com superfície seca.

Chagas Filho (1983), em seu estudo "Concreções Laterísticas: Propriedades Básicas e sua Utilização em Vigas Isostáticas Sumetidas à Flexão Simples", usando várias misturas para diferentes fatores água/cimento, concluiu que as vigas estruturais de concreto laterítico apresentaram um comportamento, em termos de resistência, semelhante às vigas utilizando concreto convencional.

Já o uso da brita calcária como agregado graúdo na fabricação de concreto de cimento Portland encontra-se na fase inicial.

ASSHTO (1966), Monteverde e Salvador (1968) e Netterberg (1971), apresentaram trabalhos com a utilização de agregados graúdos calcários para construção de pequeno porte.

Experiências práticas debatidas em Monte Carlo (1975) sobre o tema "Utilização de Agregados Calcários na Construção de Estradas", relatam que, no Aeroporto de París, utilizou-se cerca de 500.000m^3 de concreto calcário em suas pistas e vias de circulação. Nessa construção, por exemplo, com um traço 1:2,3:3,7:0,45, obteve-se resistência à flexão, aos 28 d de 4,8 MPa. Outras técnicas desenvolvidas a par

tir de experiências práticas verificadas na Argentina, França e África do Sul, permitem o uso destes materiais com certa segurança, tanto em camadas do pavimento como em revestimento betuminoso.

CAPÍTULO IV

MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. INTRODUÇÃO

Este capítulo descreve os materiais e métodos utilizados nestas pesquisas. Quando se tratar de método normalizado será feito apenas a sua citação. Para os demais casos, o desenvolvimento dos ensaios será descrito com os detalhes adequados.

O fluxograma da pesquisa é apresentado na Figura 4.1.

4.2. ESCOLHA DOS MATERIAIS

4.2.1. Agregados Graúdos

Os agregados utilizados na pesquisa foram:

- a) agregado graúdo granítico, chamado na pesquisa como agregado graúdo convencional, por ser de utilização corrente em obras de engenharia e apresentar características físicas e/ou mecânicas exigidas nas especificações para confecção de concreto de cimento;

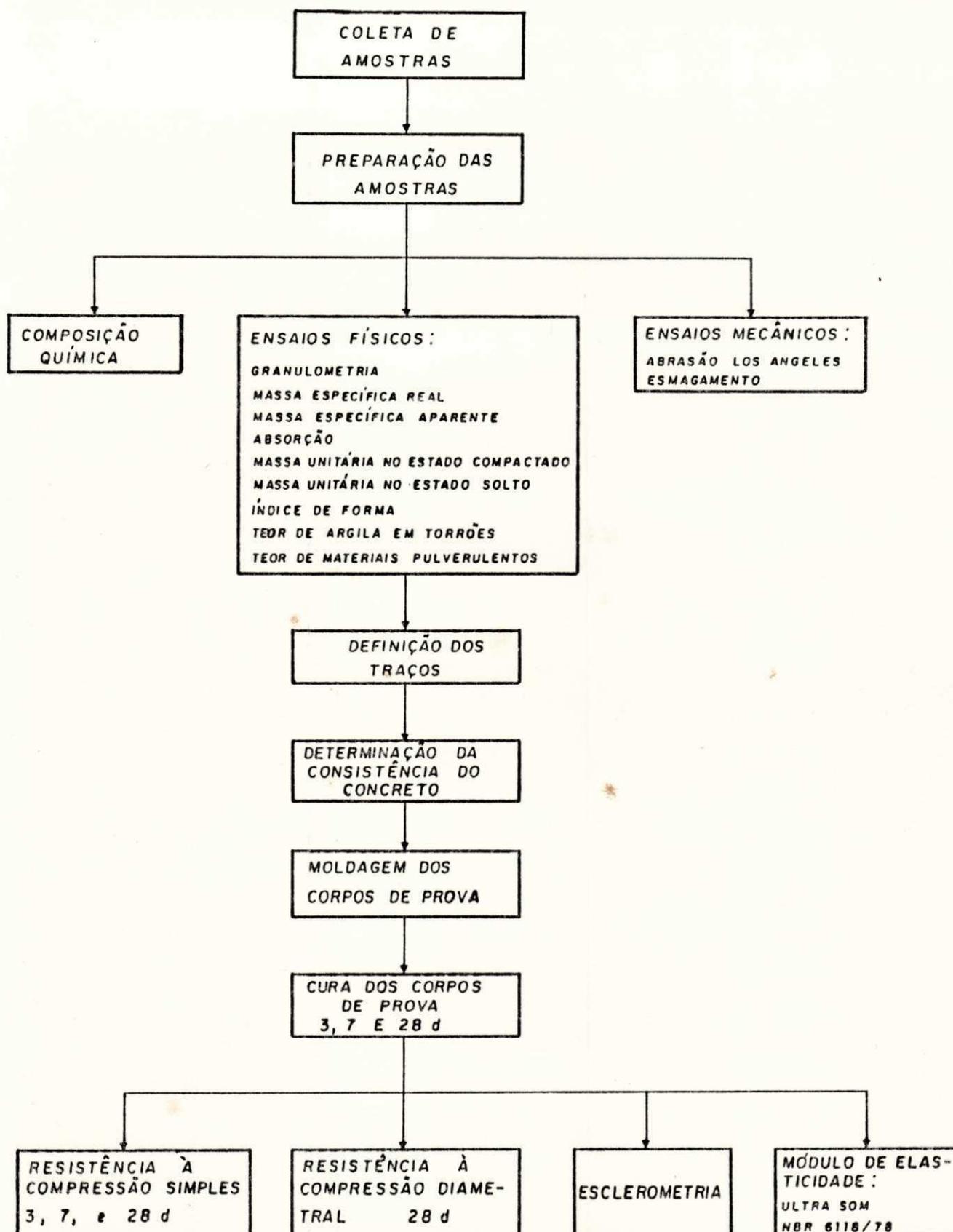


Figura 4.1-Fluxograma da Pesquisa

b) agregado graúdo calcário, originado de rochas calcárias, concreções lateríticas e seixos, todos denominados na pesquisa como agregados graúdos não convencionais, por não serem de utilização frequente em obras de engenharia (concreto), e apresentarem algumas propriedades físicas e/ou mecânicas fora das especificações para confecção do concreto de cimento.

4.2.2. Agregado Miúdo

O agregado miúdo escolhido foi uma areia de rio, por ser de uso convencional na confecção do concreto.

4.2.3. Cimento

O cimento escolhido foi do tipo Portland - Polozânico 32 acumulado em sacos de 50 kg.

4.2.4. Água

A água escolhida foi a fornecida para o abastecimento da comunidade.

4.3. COLETA DOS MATERIAIS UTILIZADOS NA PESQUISA

4.3.1. Brita Granítica

O agregado graúdo granítico, já beneficiado, foi fornecido pela Pedreira explorada pela ATECEL - UFPB com central

de britagem distante 6 Km de Campina Grande em um local denominado Sítio Cardoso. Sua granulometria e características são mostradas no Capítulo V. Com o auxílio de um trator equipado com enchedeira carregou-se o caminhão de brita e transportou-se até o laboratório.

4.3.2. Seixos

Os seixos foram obtidos, no seu estado natural, de uma jazida denominada Estramil, localizada no Distrito de Gramame, a 31 km do centro de João Pessoa. Os mesmos, após receberem o processo de beneficiamento - peneiramento com lavagem -, foram coletados da central instalada no canteiro da obra do Sistema Gramame - Mamuaba.

4.3.3. Concreções Lateríticas

As concreções lateríticas foram provenientes de uma jazida localizada na praia da Penha, próximo ao rio Cabelo, distante 14 km do centro da cidade de João Pessoa.

As amostras foram coletadas por meio manual com uso de pás e picaretas. Após a coleta o material foi acondicionado em sacos de lona e transportados para o laboratório.

4.3.4. Rochas Calcárias

As rochas calcárias foram provenientes de uma jazida próxima à Penitenciária Modelo do Roger, localizada à cerca de 4 km do centro da cidade de João Pessoa.

Os blocos de pedra, surgidos após explosão de dinam

te, foram, com o auxílio de um trator equipado com um escarificador, amontoados e levados até o caminhão e transportados para o laboratório.

4.3.5. Areia

O agregado miúdo utilizado em todas as dosagens estudadas foi uma areia de rio lavada cujo areial se encontrava às margens do rio Paraíba, numa localidade denominada Barra de Santana, município de Boqueirão, neste Estado.

4.3.6. Cimento

O cimento utilizado nesta pesquisa foi o Portland Pozolânico 32, da Paraíba de Cimento Portland - CIMEPAR, localizada na cidade de João Pessoa.

O cimento usado era novo a fim de impedir que suas propriedades originais não fossem modificadas, tendo-se evitado, ao máximo, o risco de sua hidratação pelo contato com a umidade do ar, através de cuidados especiais. Para isto, o cimento foi armazenado em sacos de plásticos fechados e pesados em quantidades adequadas para as misturas da pesquisa.

As características químicas e físico-mecânicas do cimento POZ-32 foram fornecidas pela Paraíba de Cimento Portland - CIMEPAR, e estão apresentadas na Tabela 4.1.

4.3.7. Água

A água utilizada em toda a pesquisa foi a fornecida pela Companhia de Água e Esgotos do Estado da Paraíba - CAGEPA

	FEV.	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO
P. FOGO (%)	1,17	1,24	1,46	1,29	1,27	1,55
SiO ₂ (%)	30,91	31,26	31,13	31,46	32,05	31,85
R. INS. (%)	21,19	21,84	21,23	21,58	22,12	22,11
Al ₂ O ₃ (%)	7,26	7,58	7,79	7,92	7,53	7,43
Fe ₂ O ₃ (%)	3,48	3,35	3,19	3,21	3,47	3,30
CaO (%)	48,14	47,62	47,62	48,34	47,69	47,31
MgO (%)	4,26	4,18	4,02	3,12	3,49	3,62
SO ₃ (%)	3,37	3,38	3,50	3,20	2,99	3,52
CaO LIVRE (%)	1,06	1,13	1,10	0,95	1,01	1,05
P/LITRO (g/l)	890	880	872	871	882	896
BLAINE (m ² /kg)	437	444	454	442	433	446
RES. 150u (%)	0,6	0,4	0,6	0,6	0,8	0,6
RES. 74u (%)	3,4	3,4	3,7	3,2	3,8	3,8
RES. 44u (%)	15,2	14,4	14,7	14,5	15,7	16,5
H ₂ O CN (%)	30,2	30,5	30,3	30,4	29,9	29,9
PEGA INICIAL (h)	2:15	2:50	2:15	2:20	2:20	2:30
PEGA FINAL (h)	5:15	5:20	5:50	5:40	5:40	5:50
CHAT. QUENTE (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CHAT. FRIO (mm)	0,2	0,0	0,1	0,1	0,0	0,2
COMPRES. 1d (MPa)	10,4	10,2	8,9	9,5	9,2	8,3
COMPRES. 3d (MPa)	19,4	19,4	19,5	19,4	19,0	19,3
COMPRES. 7d (MPa)	26,5	26,9	27,2	26,6	26,4	26,7
COMPRES. 28d (MPa)	35,7	37,1	37,1	35,9	35,9	36,6

Tabela 4.1 — Características químicas e físico-mecânicas do cimento ZEBU POZ-32, segundo a Cia. Paraíba de Cimento Portland - CIMEPAR expedidas de fevereiro a julho de 1988

PARÂMETROS PADRÕES	UNIDADES	RESULTADOS ENCONTRADOS NA AMOSTRA	VALORES MÁXIMOS PERMISSÍVEIS PARA QUE UMA ÁGUA SEJA CONSIDERADA POTÁVEL
ASPECTO IN-NATURA	ND	LÍMPIDA	LÍMPIDO
SABOR	ND	AGRADÁVEL	NÃO OBJETÁVEL
ODOR, A FRIO	ND	AUSENTE	IDEM
ODOR, A QUENTE	ND	AUSENTE	IDEM
TEMPERATURA	°C	AMBIENTE	ND
COR (PT-CO)	mg/l	2,00	20 (Port. Nº 56-BSB)
TURBIDEZ	mg/l	0,50	5 (IDEM)
PH	ND	7,50	ENTRE 5 A 9
SÓLIDOS TOTAIS (103°C)	mg/l	548,00	1500 (Port. Nº 56-BSB)
ACIDEZ MINERAL	mg/l	6,00	ND
CO ₂	mg/l	5,30	ND
AMÔNIA (NH ₃)	mg/l	0,00	0,5 (Segundo OMS)
NITRITOS (NO ₂ ⁻)	mg/l	0,00	1,0 (mg/l N)
NITRATOS (NO ₃ ⁻)	mg/l	0,00	45 (10 mg/l N)
OXIG. CONSUMIDO (meio ácido)	mg/l	2,50	ND
ALCAL. EM HIDRÓXIDO (CaCO ₃)	mg/l	0,00	0 (Segundo D.A.E-SP)
ALCAL. EM BICARBONATOS (CaCO ₃)	mg/l	73,00	250 (Segundo D.A.E-SP)
ALCAL. EM CARBONATOS (CaCO ₃)	mg/l	0,00	120 (Segundo D.A.E-SP)
ALCAL. TOTAL (CaCO ₃)	mg/l	73,00	ND
CLORETOS (CL ⁻)	mg/l	234,00	600 (Port. Nº 56-BSB)
FERRO TOTAL (Fe)	mg/l	0,00	0,3 (IDEM)
DUREZA TOTAL (CaCO ₃)	mg/l	182,00	200 (Segundo D.A.E-SP)
SULFATOS (SO ₄ ⁻)	mg/l	0,00	250 (IDEM)
FLÚOR (F ⁻)	mg/l	ND	1,5 (Port. Nº 56-BSB)

Tabela 4.2 — Características físico-químicas da água, segundo a Companhia de Água e Esgotos da Paraíba — CAGEPA, para o abastecimento de Campina Grande — PB

ND — Não Determinado

para o abastecimento da cidade de Campina Grande.

As características físico-químicas da água estão apresentadas na Tabela 4.2.

4.4. CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS GRAÚDOS UTILIZADAS NA PESQUISA

Na Tabela 4.3. são apresentadas as características regionais onde os agregados graúdos foram coletados como: clima, índice xerotérmico, precipitação média anual, formação geológica, pedologia e procedência.

4.5. PREPARAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS NA PESQUISA

Os materiais para utilização como agregado graúdo, granítico e seixos, foram obtidos já beneficiados. O primeiro, passando por uma central de britagem e, o segundo, por uma central de peneiramento com lavagem de propriedade da Construtora Norberto Odebrecht. Os demais materiais utilizados como agregados graúdos, ou sejam, rochas calcárias e concreções lateríticas, receberam o mesmo processo de beneficiamento. As rochas calcárias e as concreções lateríticas de maiores tamanhos, foram, através de uma marreta, reduzidas de tamanho por impacto, no sentido de se adequar a abertura máxima imposta pelo britador utilizado.

O britador utilizado na pesquisa para fabricação dos agregados graúdos, provenientes das rochas calcárias e concreções lateríticas, foi o de mandíbula BMA 21, fabricado pela

AGREGADO GRAÚDO	PROCEDÊNCIA	FORMAÇÃO GEOLÓGICA	PEDOLOGIA	CLIMA	ÍNDICE XEROTÉRMICO	PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL (mm)
GRANÍTICO	CAMPINA GRANDE-PB	PLUTÔNICA ÁCIDOS DATA DO PRECAMBIANO	RE 18 - GRANITO CATACLÁSTICO	QUENTE DE SECA ATENUADA	40 A 100	769
CONCREÇÕES LATERÍTICOS	JOÃO PESSOA-PB	FORMAÇÃO "BARREIRAS" DATA DO TERCIÁRIO	CONCREÇÕES FER- RUGINOSAS DE SO- LO PODZOLÓGICO VERMELHO AMARELO	NORDESTINO SUB-SECO	0 A 40	1.720
CALCÁRIO	JOÃO PESSOA -PB	FORMAÇÃO GRA- MAME DATA DO CRETÁCICO	CALCÁRIOS COMPACTADOS INTERCALADOS POR MARGAS	NORDESTINO SUB-SECO	0 A 40	1.720
SEIXO ROLADO	JOÃO PESSOA-PB	GNAISSES E MIGMATITOS DATA DO PRECAMBIANO	CALHAUS DE QUARTZO	NORDESTINO SUB-SECO	0 A 40	1.720

Tabela 4.3 — Características regionais dos agregados grãos estudados (Fonte - SUDENE — Reconhecimento de solos do Estado da Paraíba, boletim técnico nº 15, Recife, 1972)

Máquina Renard - Indústria e Comércio Ltda, pertencente ao La
boratório de Solos do CCT, da UFPB - CAMPUS II.

Após a obtenção dos diversos agregados graúdos e miúdos, estes foram colocados para secagem ao ar. Em seguida, cada material foi peneirado utilizando-se a série de peneiras recomendadas pela especificação para determinação da composi
ção granulométrica dos agregados para concreto. As frações de agregados retidas nas diversas peneiras foram separadas e colo
 cadas em sacos para posterior utilização, em função das per
centagens, de acordo com a graduação escolhida.

Foi feita uma regulagem no britador de mandíbulas com o fim de confeccionar os agregados graúdos oriundos de ro
chas calcárias e concreções lateríticas com comportamento gra
nulométrico similar ao seixo extraído e utilizado no seu esta
do natural.

4.6. MÉTODOS DE ENSAIOS

4.6.1. Ensaio de Caracterização dos Agregados

4.6.1.1 Ensaio químicos

- Composição química dos agregados graúdos

Executado conforme o Método de Análise N^o 09 e N^o 38 do Ministério do Interior - SUDENE - DRN - Di
visão de Geologia/SAN, no Laboratório de Análise Mi
nerais da UFPB - CAMPUS II, com as determinações de PR (perda ao rubro, exclusivo para o calcário), RI

(resíduo insolúvel), SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O e K_2O .

4.6.1.2. Ensaio físico

- Granulometria dos agregados:

O ensaio de granulometria para os agregados foi executado segundo os procedimentos do método de ensaio NBR 7217/87 - ABNT por via seca (1).

- Massa específica real e aparente do agregado graúdo:

executado conforme as recomendações do método de ensaio NBR 6458/84 - ABNT.

- Massa específica real do agregado miúdo:

determinação feita através da NBR 7251/82 - ABNT.

- Absorção dos agregados graúdos:

executado segundo as recomendações do método de ensaio NBR 6453/84 - ABNT.

- Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária:

este ensaio seguiu as recomendações da NBR 7251/82 - ABNT.

- Agregado em estado compactado seco - Determinação da massa unitária:

executada conforme o método de ensaio NBR 7310/83 - ABNT.

(1) Como ponto de partida fez-se o ensaio granulométrico do seixo, material este utilizado em seu estado natural.

ca, Petrucci (1978).

5.2.2. Seixo

O resultado dos constituintes químicos do seixo estão inseridos na Tabela 5.1.

Observa-se que o resultado apresentado foi quase que, na sua totalidade, de quartzo - SiO_2 (97,36%), estando de acordo com a literatura, pois, são, geralmente, ricos em sílica, Verçoza (1975).

5.2.3. Materiais Lateríticos

A composição química dos materiais lateríticos está mostrada na Tabela 5.1.

As concreções apresentaram ricos teores de Al_2O_3 (47,54%) e satisfatórios teores de SiO_2 (24,88%) e Fe_2O_3 (22,36%), o que nos leva a concluir que o material está altamente laterizado, haja vista que os elementos lateríticos perfazem um total de 70%. A relação sílica/sesquióxidos apresentou-se com o valor de 0,68, o que nos leva a concluir seguindo as faixas definidas por Joachim e Kandiah (1941), que os materiais são lateritas. (Quadro 5.1.)

<1,33	- Lateritas
1,33 a 2	- Solos Lateríticos
>2,00	- Não Laterita

Quadro 5.1 - Faixas dos valores da relação sílica-sesquióxidos
(Fonte Joachim and Kandiah, 1941).

Segundo a tentativa de especificação para pedregulhos lateríticos apresentando por Bhatia e Hammand (1970), as concreções lateríticas estudadas têm uma perspectiva de comportamento em serviço entre bom e sofrível.

5.2.4. Calcário

A composição química do calcário está apresentada na Tabela 5.1.

Os constituintes químicos no calcário foram o óxido de cálcio (38,20%), seguindo do óxido de magnésio (9,00%), o que o caracteriza como uma rocha calcária, Petrucci (1976), e Macêdo (1989), haja visto que ambos comentam que são esses dois constituintes predominantes nos calcários.

5.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS AGREGADOS

5.3.1. Granulometria dos Agregados Graúdos

As composições granulométricas dos agregados graúdos estão apresentadas na Tabela 5.2.

Com o objetivo de anular esse parâmetro da influência no estudo comparativo, buscou-se definir neste ensaio a mesma faixa de distribuição granulométrica para todos os agregados.

Tendo em vista as graduações 1 e 2 da NBR 7211/83 - ABNT para agregados graúdos serem as mais usadas na construção civil, as mesmas serviram de base para a escolha de uma que melhor se adaptasse à granulometria dos agregados graúdos.

O ensaio granulométrico do seixo, material este uti

PENEIRA	MATERIAL RETIDO			% QUE PASSA DA AMOSTRA TOTAL	PENEIRA mm
	PESO - g	% AMOSTRA TOTAL	% ACUMULADA		
1 pol.	0	0	0	100	25,4
3/4 pol.	1.000	10	10	90	19,1
1/2 pol.	—	—	—	—	12,7
3/8 pol.	8.000	80	90	10	9,5
Nº	800	8	98	2	6,3
Nº 4	200	2	100	0	4,8
Nº 8	0	0	100	0	2,4
Nº 16	0	0	100	0	1,2
Nº 30	0	0	100	0	0,6
Nº 40	—	—	—	—	0,42
Nº 50	0	0	100	0	0,30
Nº 80	—	—	—	—	0,18
Nº 100	0	0	100	0	0,15

AMOSTRA 10.000 g

DIÂMETRO MÁXIMO = 25,4 mm

MÓDULO DE FINURA = 7,0

Tabela 5.2 — Composição granulométrica ajustada para os agregados graúdos estudados

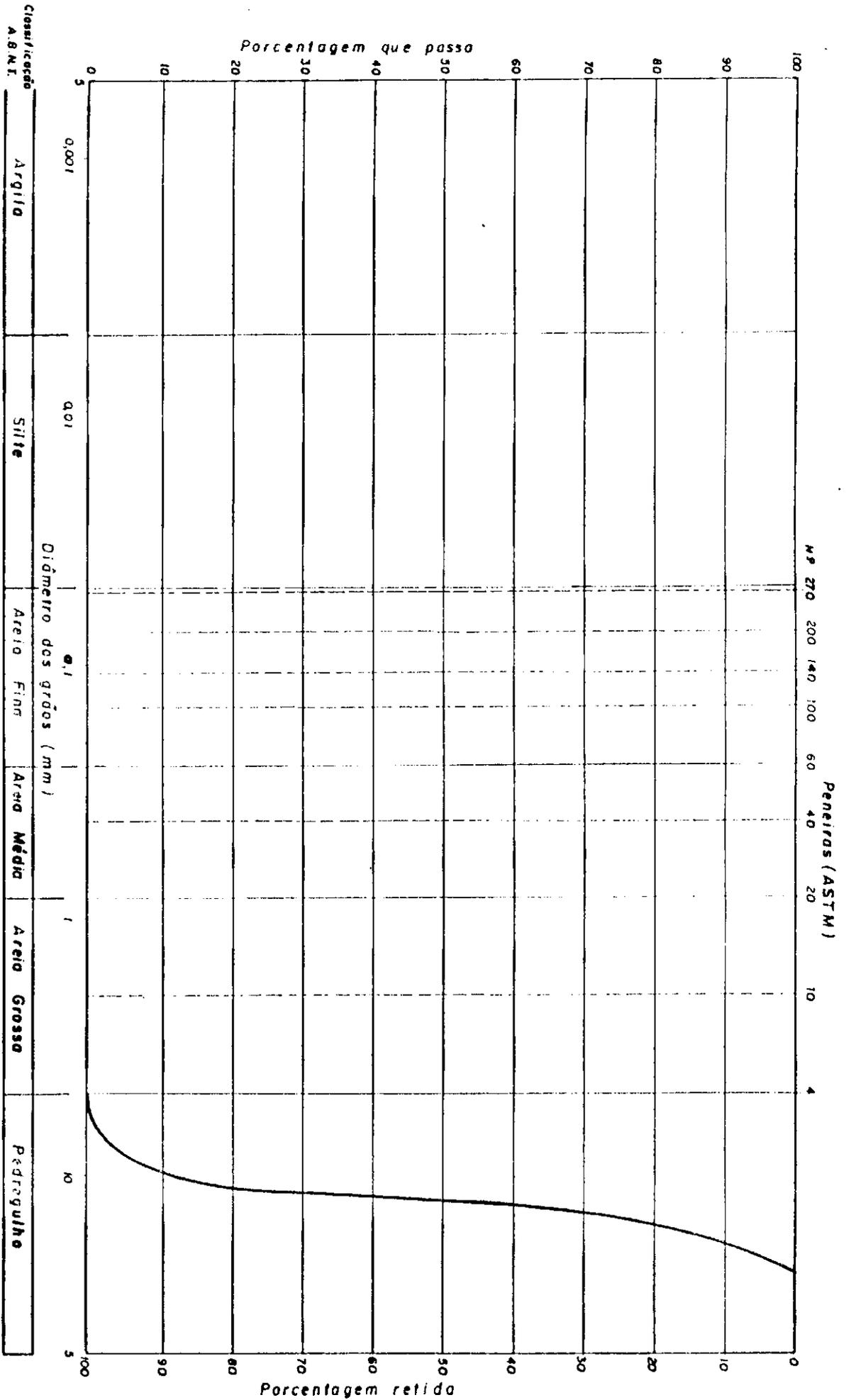


Figura 5.1 — Curva granulométrica dos agregados graúdos estudados

lizado na pesquisa em seu estado natural, comportou-se favoravelmente a uma correção granulométrica visando o uso da graduação 1 da NBR 7211/83 - ABNT.

Diante da escolha dessa graduação para a pesquisa, prosseguiu-se com a britagem dos demais agregados graúdos até todos apresentarem o comportamento granulométrico do seixo mostrado na Figura 5.1.

A curva granulométrica apresenta-se com 100% do material, com diâmetro superior a 4,8 mm o que caracteriza ser um agregado graúdo. Pelo comportamento da curva observamos também que 90% do material ficou retido nas peneiras acima de 9,5 mm, podendo-se deduzir que os agregados graúdos se enquadraram nos limites granulométricos impostos pela graduação 1 da NBR 7211/83 - ABNT.

O diâmetro máximo dos agregados graúdos foi de 25,4 mm e o módulo de finura 7,0.

5.3.2. Granulometria do Agregado Miúdo

Os resultados da análise granulométrica e da curva granulométrica estão apresentados na Tabela 5.3 e na Figura 5.2, respectivamente.

De acordo com a NBR 7211/83 - ABNT, a granulometria do agregado miúdo se enquadra nos limites granulométricos da zona 3, podendo classificá-lo como sendo uma areia média.

O diâmetro máximo do agregado miúdo foi de 4,8 mm e o seu módulo de finura, 2,7.

PENEIRA	MATERIAL RETIDO			% QUE PASSA DA AMOSTRA TOTAL	PENEIRA mm
	PESO-g	% AMOSTRA TOTAL	% ACUMULADA		
3/8 pol.	0	0	0	100	9,5
Nº 4	20,4	2,04	2,04	97,96	4,8
Nº 8	32,8	3,28	5,32	94,68	2,4
Nº 10	—	—	—	—	2,0
Nº 16	130,0	13,00	18,32	81,68	1,2
Nº 30	345,7	34,57	52,89	47,11	0,6
Nº 40	—	—	—	—	0,42
Nº 50	396,8	39,68	92,57	7,43	0,30
Nº 80	—	—	—	—	0,18
Nº 100	56,7	5,67	98,24	1,76	0,15

AMOSTRA 1.000 g

DIÂMETRO MÁXIMO = 4,8 mm

MÓDULO DE FINURA = 2,7

Tabela 5.3 — Composição granulométrica de agregado miúdo estudado

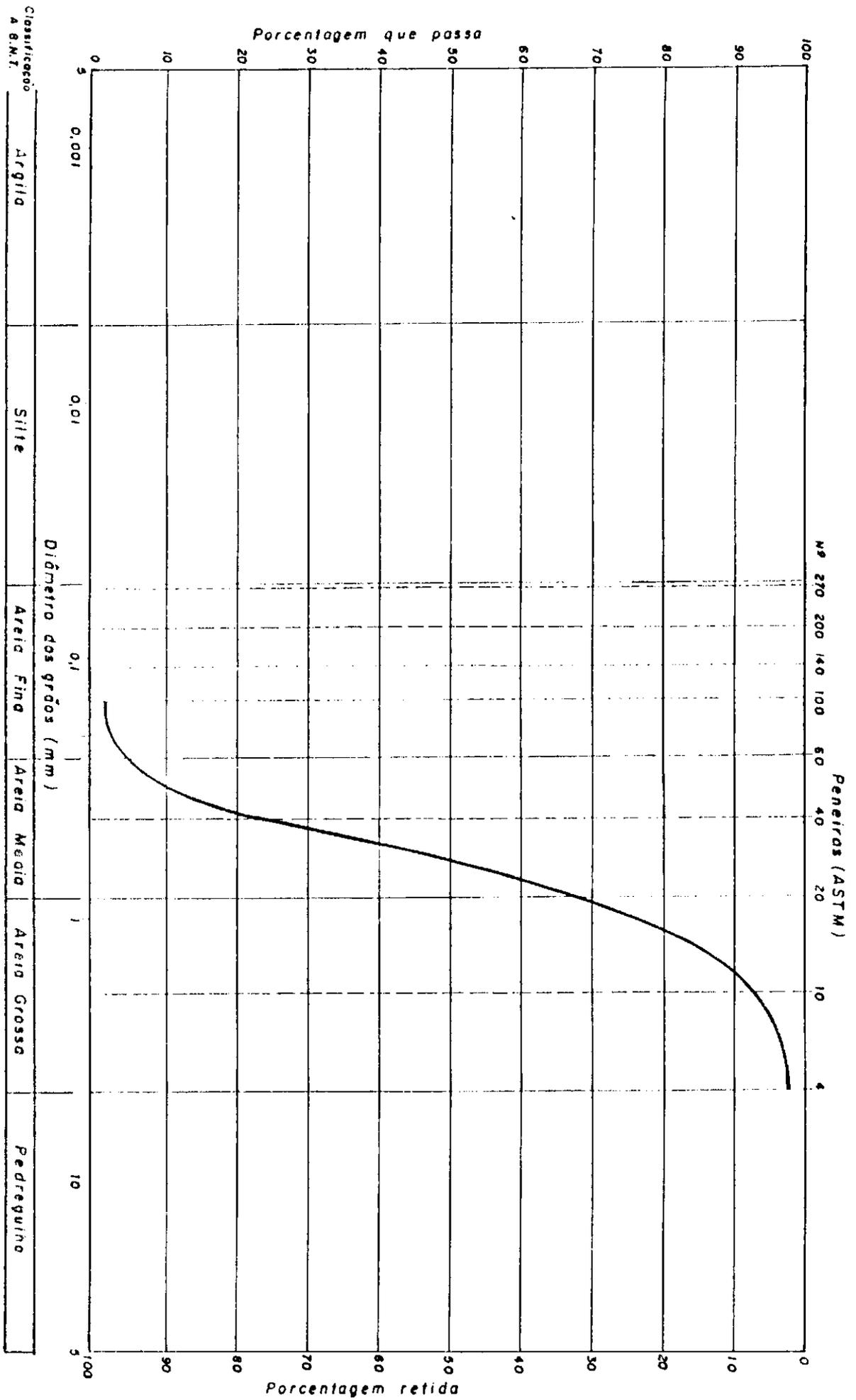


Figura 5.2 — Curva granulométrica do agregado miúdo

5.3.3. Massa Específica Real dos Agregados Graúdos

A Tabela 5.4. mostra os resultados das massas específicas reais dos agregados graúdos estudados.

Pela observação dos resultados obtidos, verificamos que as concreções lateríticas apresentaram massa específica real de $2,82 \text{ g/cm}^3$, superiores aos valores alcançados para o agregado graúdo granítico ($2,76 \text{ g/cm}^3$), o seixo rolado ($2,64 \text{ g/cm}^3$) e o calcário ($2,64 \text{ g/cm}^3$). Este aumento da massa específica real nas concreções lateríticas, provavelmente, tenha como justificativa a presença de compostos de ferro nas mesmas, Lucena (1976).

Os resultados obtidos foram coerentes comparando-se com os resultados de outros estudos utilizando materiais parecidos, Brasileiro (1983), Costa (1983), Chagas Filho (1986), Macêdo (1989).

MATERIAIS PESQUISADOR	Brita Granítica (g/cm^3)	Seixo Rolado (g/cm^3)	Brita Calcária (g/cm^3)	Concreções Lateríticas (g/cm^3)
Brasileiro	2,73	2,69	2,67	3,08
Costa	-	-	-	2,82
Chagas	2,79	-	-	3,14
Macêdo	2,73	-	2,67	3,08

Quadro 5.1 . Resultados da massa específica real obtidos em outros estudos utilizando materiais semelhantes.

5.3.4. Massa Específica Aparente dos Agregados Graúdos

A Tabela 5.4 indica os resultados obtidos.

Verificamos que os agregados graúdos granito e o seixo apresentaram os maiores valores da massa específica aparente, com $2,74 \text{ g/cm}^3$ e $2,62 \text{ g/cm}^3$, respectivamente, enquanto que os agregados graúdos lateríticos com $2,39 \text{ g/cm}^3$ e o calcário com $2,22 \text{ g/cm}^3$, os menores. Isto se justifica devido à existência de uma maior quantidade de vazios permeáveis existentes nesses dois últimos agregados. Os agregados graúdos granítico e seixo apresentaram os valores das massas específicas reais e aparentes próximos, devido a menor quantidade de vazios permeáveis existentes nesses dois materiais. Os valores alcançados situam-se nas faixas encontradas por Brasileiro (1983), utilizando materiais similares, os quais foram para o granito $2,69 \text{ g/cm}^3$, o seixo $2,63 \text{ g/cm}^3$, as concreções lateríticas $2,43 \text{ g/cm}^3$ e o calcário $2,38 \text{ g/cm}^3$.

5.3.5. Absorção dos Agregados Graúdos

Os valores do ensaio de absorção, tomados a 24h, dos quatro tipos de agregados graúdos estudados estão na Tabela 5.4.

Pelos resultados de absorção, observamos que os agregados brita granítica e seixo foram os materiais que apresentaram menores valores com 0,3% em ambos, devido à inexistência de vazios permeáveis. Já nos casos das concreções lateríticas e calcário notamos grandes valores de absorção, 6,4%

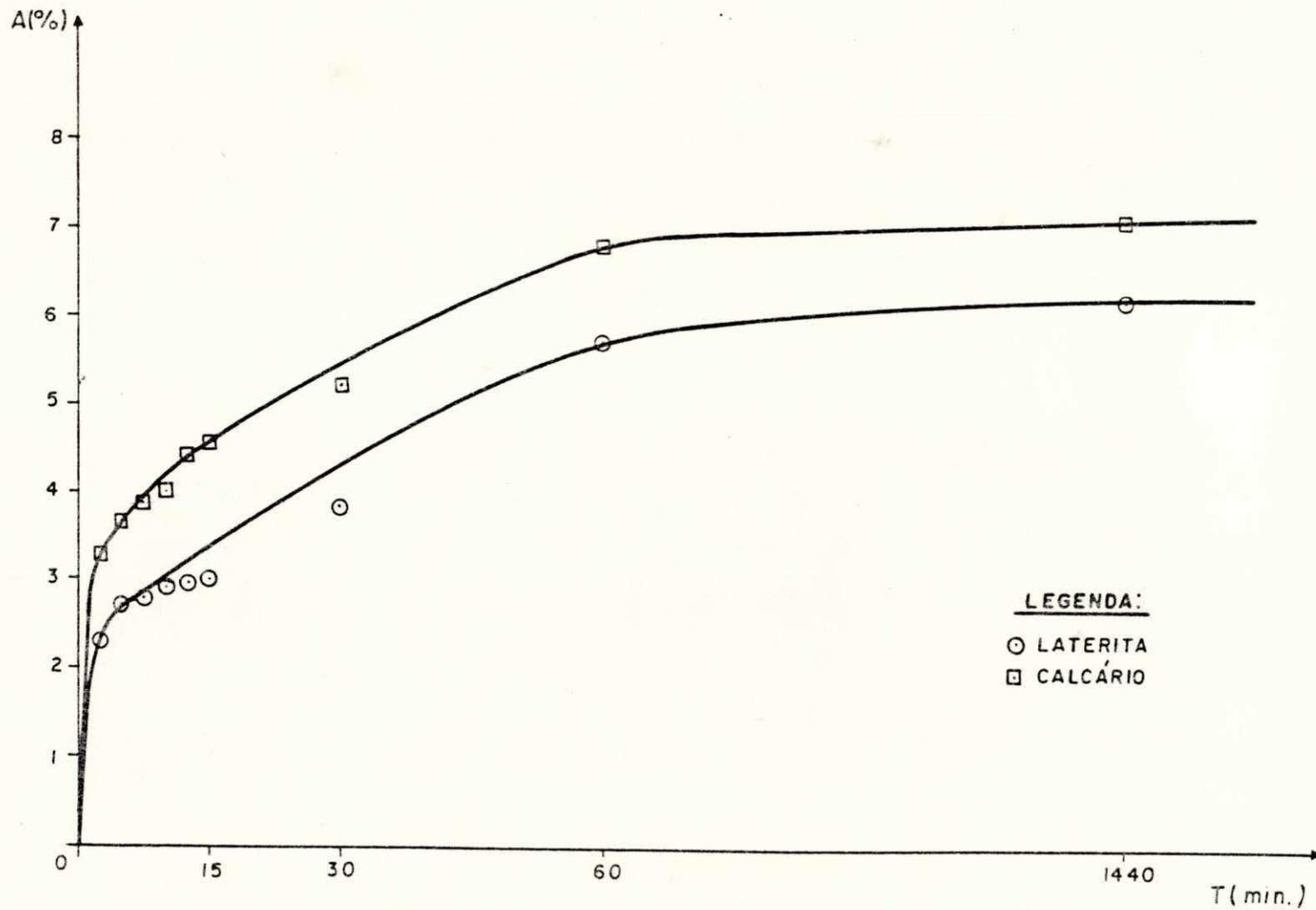


Figura 5.3 — Gráfico da absorção x tempo de imersão da laterita e do calcário

e 7,1%, respectivamente, em virtude desses materiais possuírem maiores quantidades de vazios permeáveis.

Pela Figura 5.3, vê-se o gráfico que relaciona a absorção com vários intervalos de tempo de imersão da laterita e do calcário.

Percebemos que, após os primeiros 60 min, a absorção desses agregados atinge valores da ordem de 90% do valor final obtido para 24h. Isto deve, provavelmente, ao fato do preenchimento dos poros e vazios dos agregados no ensaio de absorção ocorrer logo na primeira hora, devendo, a partir daí, a absorção da água pelo agregado se tornar mais lenta ou cessar completamente.

Os valores obtidos foram coerentes comparando-se com os resultados alcançados por Helga (a publicar), utilizando materiais iguais e da mesma origem, os quais foram 6,3% de absorção para as concreções lateríticas e 7,0% para o calcário.

5.3.6. Massa Específica Real do Agregado Miúdo

A Tabela 5.4. mostra o resultado da massa específica do agregado miúdo.

O agregado miúdo utilizado na pesquisa apresentou massa específica real de $2,63 \text{ g/cm}^3$, valor este coerente com as determinações feitas em outros estudos utilizando material

de mesma origem e natureza, Brasileiro (1983), Macêdo (1989) e Costa (1987), que obtiveram $2,65 \text{ g/cm}^3$.

5.3.7. Massa Unitária no Estado Compacto Seco dos Agregados Graúdos

Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 5.4.

A brita granítica apresentou-se com um valor da massa unitária de $1,48 \text{ kg/dm}^3$, compatível com os valores encontrados na literatura da Associação Brasileira de Cimento Portland.

O seixo apresentou-se com o maior valor da massa unitária ($1,64 \text{ kg/dm}^3$), face o mesmo possuir um potencial de adensamento maior. Isso ocorre tendo em vista a sua superfície lisa que facilita a mobilidade das partículas.

As concreções lateríticas com $1,33 \text{ kg/dm}^3$ e o calcário com $1,32 \text{ kg/dm}^3$ apresentaram-se com o menor valor da massa unitária em virtude dos mesmos possuírem o menor potencial de adensamento.

5.3.8. Massa Unitária dos Agregados Graúdos no Estado Solto

Os resultados alcançados estão inseridos na Tabela 5.4.

A brita granítica apresentou-se com o valor de $1,41 \text{ kg/dm}^3$, as concreções lateríticas com $1,24 \text{ kg/dm}^3$, o seixo com $1,57 \text{ kg/dm}^3$ e a brita calcária com $1,26 \text{ kg/dm}^3$.

A brita granítica apresentou valor da massa unitária coerente com o encontrado na literatura especializada, que corresponde entre 1 a 2 kg/dm³. O seixo rolado voltou a obter o maior valor da massa unitária, pois, suas partículas com superfície lisa e forma arredondada permitiram uma melhor capacidade de acomodação, ocupando os espaços vazios.

5.3.9. Índice de Forma

Os resultados obtidos para esse parâmetro encontram-se na Tabela 5.4.

Podemos observar que pelos valores do fator de cubidade alcançados pela brita granítica (0,92), seixo rolado (0,96), concreções lateríticas (0,95) e calcário (0,93), os agregados graúdos apresentaram-se semelhantes, ou seja, pouco lamelar, o que indica predominância de partículas arredondadas, adequadas à confecção de concreto, segundo o índice de forma estabelecido por norma ($f > 0,5$). Como era de se esperar, o maior fator de cubidade, dentre todos os agregados graúdos estudados, foi o seixo rolado ante a sua forma bem arredondada.

Os valores encontrados estão nas faixas obtidas por outros pesquisadores com materiais parecidos. Chagas Filho (1986), nas concreções lateríticas obteve 0,85 e Macêdo (1989), no granito, 0,79, nas concreções lateríticas, 0,94 e no calcário, 0,83.

5.3.10. Teor de Argila em Torrões dos Agregados Graúdos

Como mostrado na Tabela 5.4, os agregados graúdos não apresentaram teor de argila em torrões, estando, portanto, os quatro agregados estudados dentro dos limites permitidos, que é, no máximo 3%, segundo a NBR 7211/83 - ABNT.

5.3.11. Teor de Materiais Pulverulentos

A Tabela 5.4 mostra os percentuais obtidos para os quatro tipos de agregados graúdos estudados.

Verificamos que, de acordo com as especificações para concreto (NBR 7211/83 - ABNT), apenas a brita granítica, com 0,3% e o seixo rolado, com 0,1%, se enquadraram no limite máximo permitido que é 1,0%, enquanto as concreções lateríticas, com 2,8% e a brita calcária com 3,5%, estrapolaram esse limite permitido.

Por outro lado, devemos considerar que tais especificações foram elaboradas para agregados de usos frequentes (convencionais), em obras de engenharia civil.

5.4. CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DOS AGREGADOS GRAÚDOS

5.4.1. Desgaste do Agregado por Abrasão

Através dos resultados apresentados na Tabela 5.4, concluímos que os agregados graúdos brita granítica (19%), seixo rolado (32%), e concreções lateríticas (49%), estiveram na

DETERMINAÇÕES	A G R E G A D O S				
	CALCÁRIO	SEIXO	LATERITA	GRANITO	AREIA
MASSA ESPECÍFICA REAL (g/cm ³)	2,64	2,64	2,82	2,76	2,63
ABSORÇÃO (%)	7,1	0,3	6,4	0,3	ND
MASSA UNITÁRIA COMPACT. (kg/dm ³)	1,32	1,64	1,33	1,48	ND
LOS ÂNGELES SECO (%)	57	32	49	19	NA
ESMAGAMENTO SECO (%)	37,6	26,7	52,9	26,6	NA
MASSA UNITÁRIA SOLTO (kg/dm ³)	1,26	1,57	1,24	1,41	1,49
MASSA ESP. APARENTE (g/cm ³)	2,22	2,62	2,39	2,74	ND
MATERIAIS PULVERULENTOS (%)	3,5	0,1	2,8	0,3	ND
TORRÕES DE ARGILA (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	ND
ÍNDICE DE FORMA (f)	0,93	0,96	0,95	0,92	NA

Tabela 5.4 — Algumas características físicas e índices de qualidades dos agregados estudados

NA - Não Adequado

ND - Não Determinado

faixa permitida pela norma NBR 7211/83 - ABNT - Agregado para Concreto que é de 50%, exetuando-se apenas o agregado graúdo calcário com o valor provocado pela ação das cargas abrasivas de 57%.

Os valores apresentados estão coerentes com os valores encontrados por Macêdo (1989), os quais foram para a brita granítica 21%, para o calcário 44% e para a laterita 50%.

5.4.2. Resistência ao Esmagamento

Os resultados encontrados nos ensaios de resistência ao esmagamento estão mostrados na Tabela 5.4.

Nesse ensaio o agregado graúdo brita granítica apresentou desgaste de 26,6% semelhante ao apresentado pelo agregado seixo rolado, com 26,7%, consequentemente, inferior aos desgastes verificados pelas concreções lateríticas com 52,9% e aos do calcário, com 37,6%.

Os agregados graúdos graníticos, seixo rolado e calcário, se enquadraram nas especificações da B.S. 882/1973, para os diversos tipos de concreto, onde o limite permitido é de 45%, exceto quando submetidos ao desgaste superficial, onde o agregado graúdo granítico e o seixo rolado foram os únicos a se enquadrarem no limite máximo permitido de 30%. As concreções lateríticas, em nenhuma das duas situações, não satisfizeram as exigências impostas. Já comparando-se os resultados obtidos no ensaio de esmagamento com os limites impostos pelo método do DNER - 37/71, que é 35% para concreto submetido ao desgaste superficial e 45% para outros tipos de

concretos, mais uma vez, as concreções lateríticas não satisfizeram.

Devemos lembrar, entretanto, que tais limites são fixados para agregados graúdos convencionais.

O ordenamento na classificação da qualidade dos agregados graúdos, baseado na resistência ao esmagamento, foi o mesmo apresentado por Macêdo (1989), ou seja, granito (23%), brita calcária (34%), e, por último, as concreções lateríticas (40%).

5.5. DEFINIÇÃO DOS TRAÇOS

5.5.1. Traços Efetuados

Para todos os quatro tipos de concretos estudados foram feitas cinco misturas conforme mostra a Tabela 5.5.

DENOMINAÇÃO DO TRAÇO	TRAÇO EM PESO (Kg)	FATOR A/C	FATOR A/C EFETIVO	
			LATERITA	CALCÁRIO
A	1:1,50:2,50	0,45	0,54	0,58
B	1:2,00:3,00	0,50	0,61	0,66
C	1:2,50:3,50	0,55	0,68	0,73
D	1:3,00:4,00	0,65	0,80	0,86
E	1:3,50:4,50	0,75	0,92	0,98

Tabela 5.5. - Traços Efetuados.

Como se depreende da Tabela 5.5, no caso dos concretos lateríticos e calcário, adotamos água adicional de

reção, com 3,84% e 5,22% de absorção, respectivamente. Estas correções foram adotadas tendo em vista as mesmas oferecerem, nos concretos laterítico e calcário, idêntica consistência a apresentada no concreto granítico estudado.

Os resultados obtidos para os cálculos do consumo de cimento por m^3 do concreto pelas duas expressões utiliza da estão na Tabela 5.6. Observamos que há uma coerência entre os valores encontrados pelos dois consumos calculados.

5.6. TRABALHABILIDADE (1)

Os resultados no ensaio de abatimento para determi nação da consistência dos concretos, nos cinco traços utiliza dos na pesquisa, estão apresentados na Tabela 5.6.

Constatamos que os concretos confeccionados com agregado graúdo granítico, concreções lateríticas e calcário apresentaram-se com a consistência medida, através do ensaio de abatimento em torno de 10,0 mm, nos cinco traços estuda dos, por ter-se adotado misturas de consistência rijas. Já nos traços confeccionados com o seixo rolado o abatimento mê dio apresentado foi em torno de 30,0 mm, ante a sua forma ar redondada e sua superfície lisa o que facilita a sua mobilida de.

(1) Optamos, inicialmente, por concretos mais plásticos, com o concreto granítico oferecendo consistência medida através do ensaio de abatimento em torno de 50 mm, entretanto, es tes traços quando aplicados ao concreto utilizando seixo, os mesmos apresentaram consistência impraticável para a confecção de concreto.

TRAÇO - FATOR A/C	TIPO DE CONCRETO	MASSA UNITÁRIA (kg/m ³)	CONSUMO REAL (kg/m ³)	COMPRESSÃO AXIAL (MPa)			DIAMETRAL (MPa) 28 DIAS	ABATIMENTO (mm)	% RELATIVO A COMP AXIAL DE 28 DIAS DE GRANITO	% RELAT A COMP DIAMETRAL DE 28 DIAS DE GRANITO	CONSUMO TEÓRICO (kg/m ³)
				3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS					
1:1,50:2,50:0,45	GRANÍTICO	2.431	446	19,21	25,33	31,03	2,99	10,0	100,00	100,00	443
	SEIXO	2.414	443	16,85	22,03	28,62	2,82	30,0	92,23	94,49	435
	LATERÍTICO	2.360	433	15,03	18,88	23,65	2,39	10,0	76,22	79,99	452
	CALCÁRIO	2.311	424	14,03	15,89	18,27	1,83	10,0	58,88	61,42	435
1:2,00:3,00:0,50	GRANÍTICO	2.444	376	15,87	19,60	28,62	2,66	1,00	100,00	100,00	373
	SEIXO	2.385	367	14,89	21,28	25,71	2,59	30,0	89,83	97,33	366
	LATERÍTICO	2.353	362	12,99	16,82	20,15	2,03	10,0	70,40	78,75	376
	CALCÁRIO	2.249	346	10,51	13,46	16,60	1,65	10,0	60,52	61,94	366
1:2,50:3,50:0,55	GRANÍTICO	2.461	326	15,46	19,49	25,04	2,64	10,0	100,00	100,00	322
	SEIXO	2.416	320	12,81	16,29	22,47	2,57	30,0	89,74	97,31	317
	LATERÍTICO	2.371	314	9,51	12,99	17,65	1,95	10,0	70,49	74,10	325
	CALCÁRIO	2.265	300	7,19	10,21	14,41	1,50	10,0	57,55	57,14	317
1:3,00:4,00:0,65	GRANÍTICO	2.439	282	8,95	11,36	18,72	2,05	10,0	100,00	100,00	280
	SEIXO	2.396	277	9,79	14,87	17,74	2,16	30,0	94,76	105,75	275
	LATERÍTICO	2.370	274	8,81	11,39	16,06	1,81	10,0	85,79	88,49	282
	CALCÁRIO	2.258	261	6,08	8,47	12,52	1,46	10,0	67,41	71,28	275
1:3,50:4,50:0,75	GRANÍTICO	2.418	249	6,21	8,34	15,10	1,76	10,0	100,00	100,00	247
	SEIXO	2.350	241	6,65	10,26	14,84	1,95	10,0	98,28	111,00	243
	LATERÍTICO	2.252	231	6,79	8,70	11,45	1,29	10,0	75,83	73,57	249
	CALCÁRIO	2.194	225	4,99	7,16	10,92	1,13	10,0	72,32	67,10	243

Tabela 5.6 - Resumo das características dos concretos fabricados com os agregados estudados

5.7. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

Os resultados da resistência à compressão axial nas idades de 3, 7 e 28 dias, nos concretos confeccionados com brita granítica, seixo rolado, concreções lateríticas e brita calcária, estão apresentados na Tabela 5.6.

Observamos que, para a faixa de consumo mais elevada estudada, em torno de 436 Kg/m^3 , o concreto granítico apresentou a maior resistência com 31 MPa, enquanto os demais concretos apresentaram o seguinte: seixo rolado, 28,6 MPa, concreções lateríticas, 23,6 MPa e brita calcária, 18,3 MPa.

Tomando como comparação a resistência à compressão do concreto com agregado granítico - correspondente a 100% -, podemos observar que, para o mesmo traço e faixa de consumo de cimento, os percentuais de resistência do concreto com relação aos demais agregados estudados corresponderam a cerca de:

- seixo rolado: 90 a 98% (média de 93%);
- concreções lateríticas: 70 a 85% (média de 76%);
- brita calcária: 57 a 72% (média de 63%).

Os percentuais para cada traço estudado estão incluídos na Tabela 5.6. Verificamos que para consumo em torno de 240 kg/m^3 , o concreto utilizando o seixo apresentou 98,3% da resistência obtida no concreto com o uso de brita granítica devido, provavelmente, a forma arredondada do grão seixo resultar concretos mais trabalháveis. Além disso, a influência do agregado diminuiu com o aumento da relação água/cimento, possivelmente pelo fato de que passe a prevalecer a resistência da pasta, como verificado por Kuczynski (1958), onde para uma

relação água/cimento de 0,65 não se observou diferença entre resistências de concreto preparado com brita granítica ou com seixos.

Nos Gráficos 5.1, 5.2 e 5.3, que relacionam o consumo de cimento com a resistência à compressão axial, nas idades de 3, 7 e 28 dias, notamos que há um aumento da resistência à medida que se aumenta o consumo de cimento nos quatro tipos de concreto estudados.

No entanto, percebemos que, a partir de 260 kg/m^3 para os concretos confeccionados com brita calcária e 280 kg/m^3 para os concretos confeccionados com concreções lateríticas, a resistência à compressão axial desses concretos tende a estabilizar, não crescendo como a resistência dos demais concretos estudados. Isto se deve, provavelmente, ao fato de a resistência do concreto ser limitada à do agregado.

O Gráfico 5.4. relaciona a resistência à compressão axial com o fator água/cimento dos concretos estudados aos 28 dias de idade. Assim, notamos que a resistência à compressão dos concretos utilizando seixo rolado, concreções lateríticas e brita calcária aumenta com a diminuição do fator água/cimento, conforme acontece no concreto utilizando-se brita granítica. Vemos, destarte, que para grandes valores do fator água/cimento, em torno de 0,75, reduz-se a diferença da resistência dos concretos calcários e lateríticos com relação aos concretos com seixo e granito. Isto, provavelmente, acontece porque parte do excesso de água de amassamento é absorvida pelos agregados calcário e concreções lateríticas.

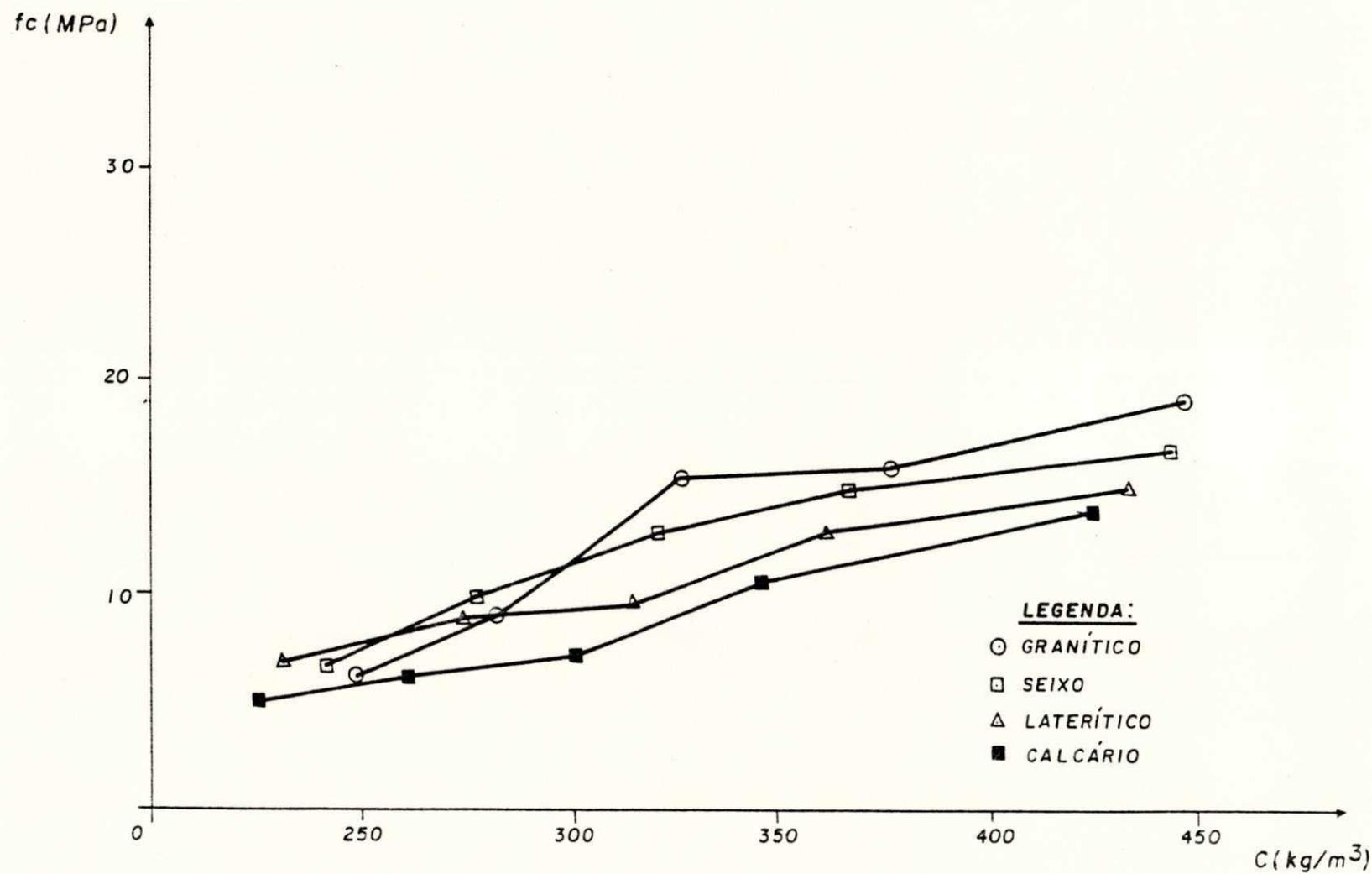


Gráfico 5.1—Relação entre o consumo de cimento versus resistência à compressão simples para a idade de 3 dias nos concretos estudados

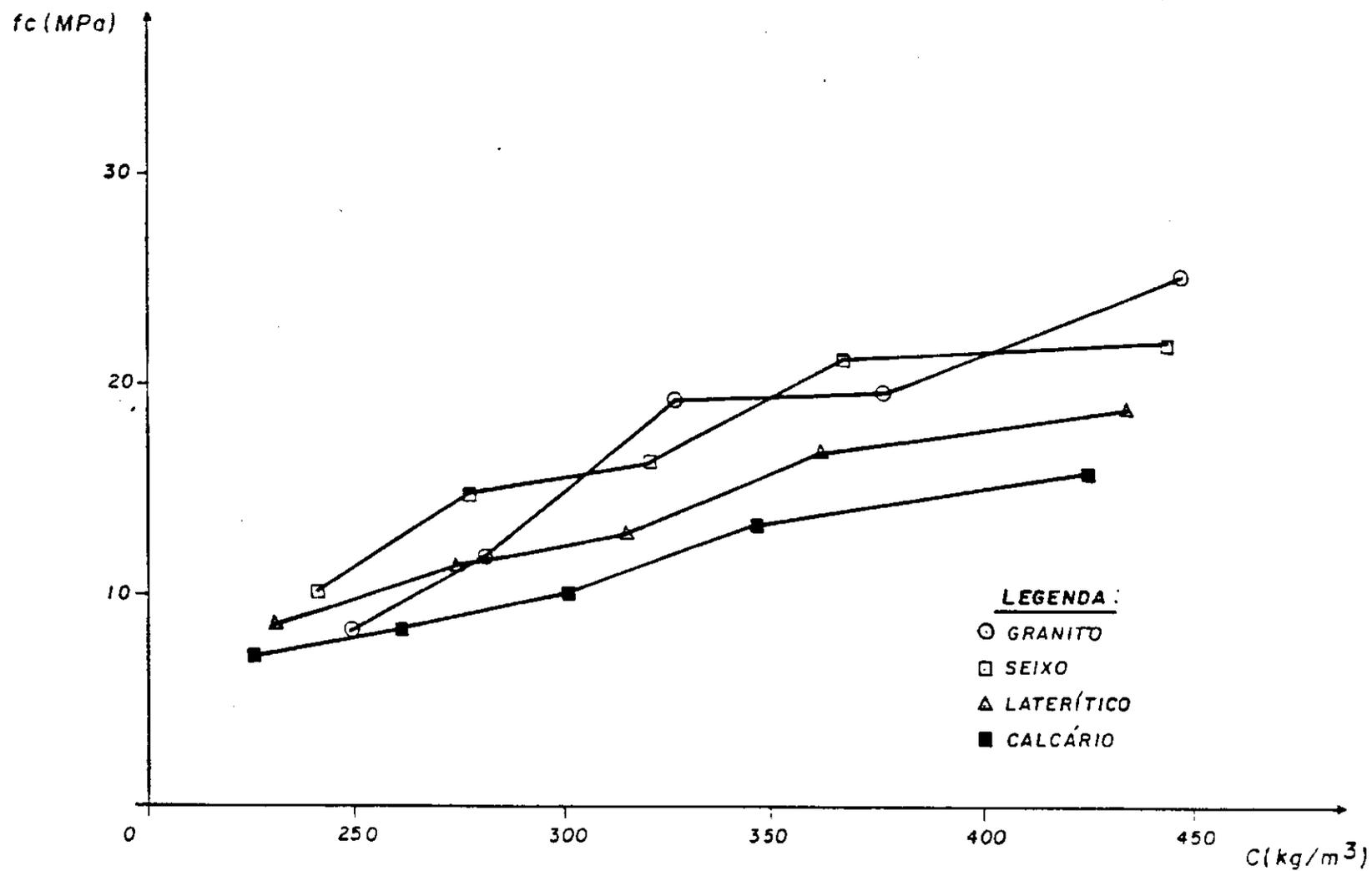


Gráfico 5.2 — Relação entre o consumo de cimento versus resistência à compressão simples para a idade de 7 dias para os concretos estudados

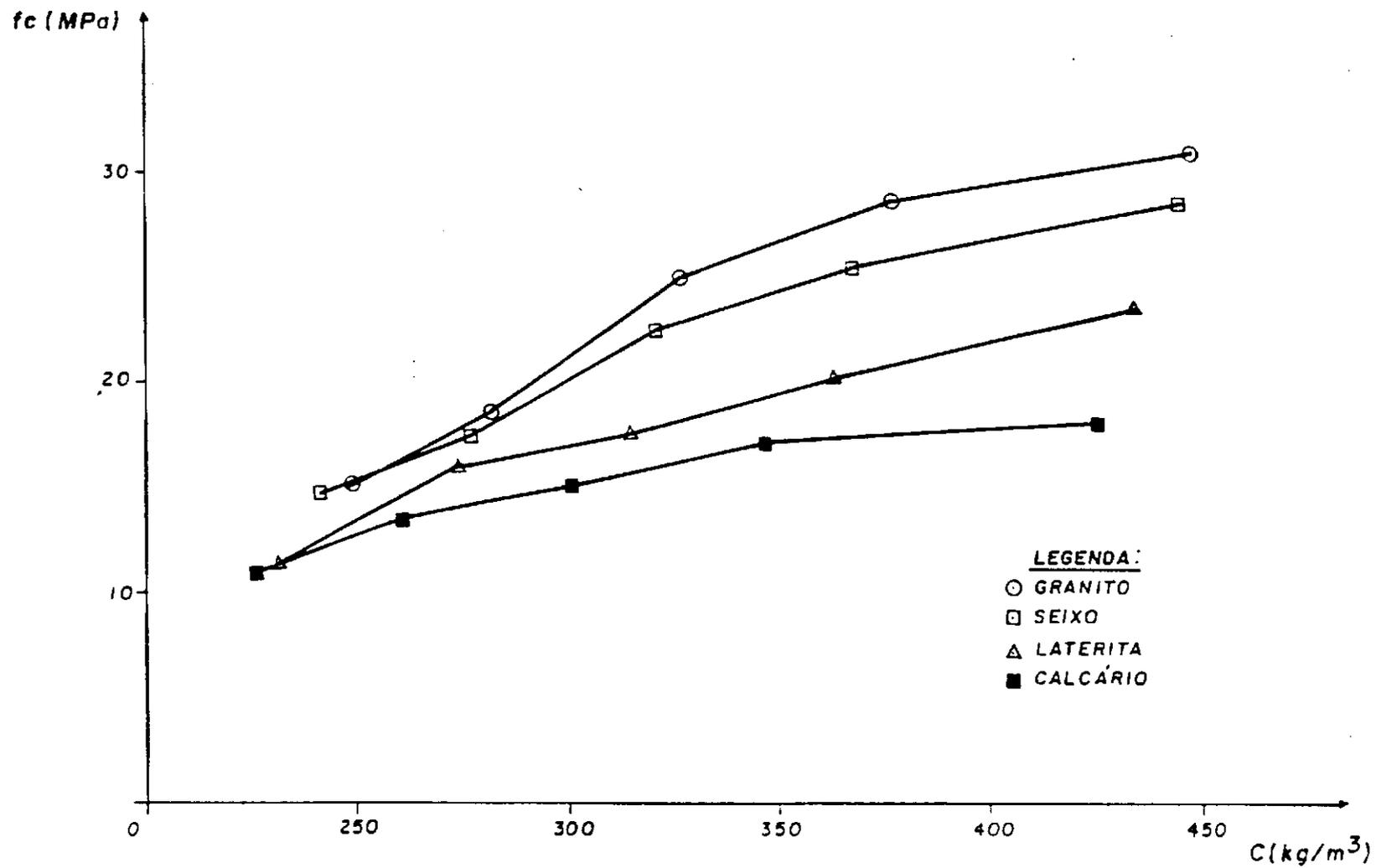


Gráfico 5.3-Relação entre o consumo de cimento versus resistência à compressão simples para a idade de 28 dias para os concretos estudados

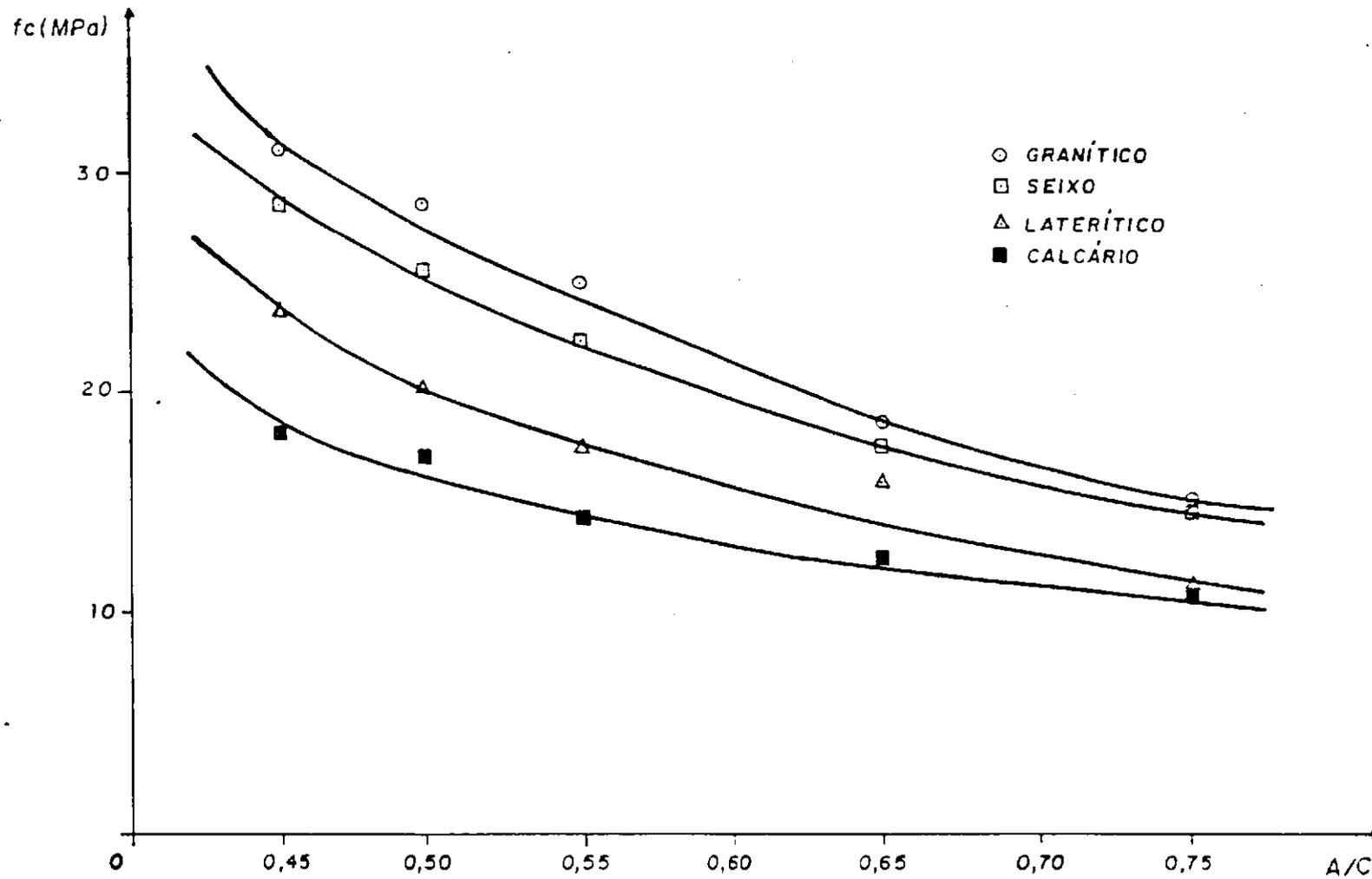


Gráfico 5.4 – Comparação da relação de resistência média à compressão x fator água/cimento dos concretos granítico, seixo, laterítico e calcário aos 28 dias de idade

Nos Gráficos 5.5, 5.6, 5.7 e 5.8, observamos que há um aumento da resistência à compressão axial com o aumento do tempo de cura nos quatro tipos de concretos estudados. Isto se deve ao fato de a resistência da argamassa aumentar em decorrência da maior hidratação do cimento.

As reações que transformam o cimento Portland em agente ligante ocorrem na pasta de água e cimento. Em outras palavras, na presença de água, os silicatos (C_3S , C_2S) e aluminatos (C_3A , C_4AF), formam produtos hidratados, que, com o decorrer do tempo, dão origem a uma massa firme e dura, a pasta de cimento endurecido.

Com o auxílio das Tabelas 5.7a, 5.7b, 5.7c e 5.7d, e do Gráfico 5.9 que mostram a relação das resistências obtidas para os concretos estudados, nas idades de 28 dias com os consumo de cimento utilizados, podemos aferir que os teores de cimento para atenderem às condições técnicas e econômicas mais recomendáveis são, as seguintes:

- brita granítica:	326 kg/m ³
- seixo rolado:	320 kg/m ³
- concreções lateríticas	274 kg/m ³
- brita calcária	261 kg/m ³

As Tabelas 5.8a, 5.8b, 5.8c e 5.8d refletem a percentagens das resistências obtidas para a idade de 7d em relação às resistências para a idade de 28d. De maneira geral, percebemos um acréscimo nesta relação à medida que cresce o consumo de cimento. Donde observamos que para consumos de cimento da ordem de 360 kg/m³ a resistência aos 7d no

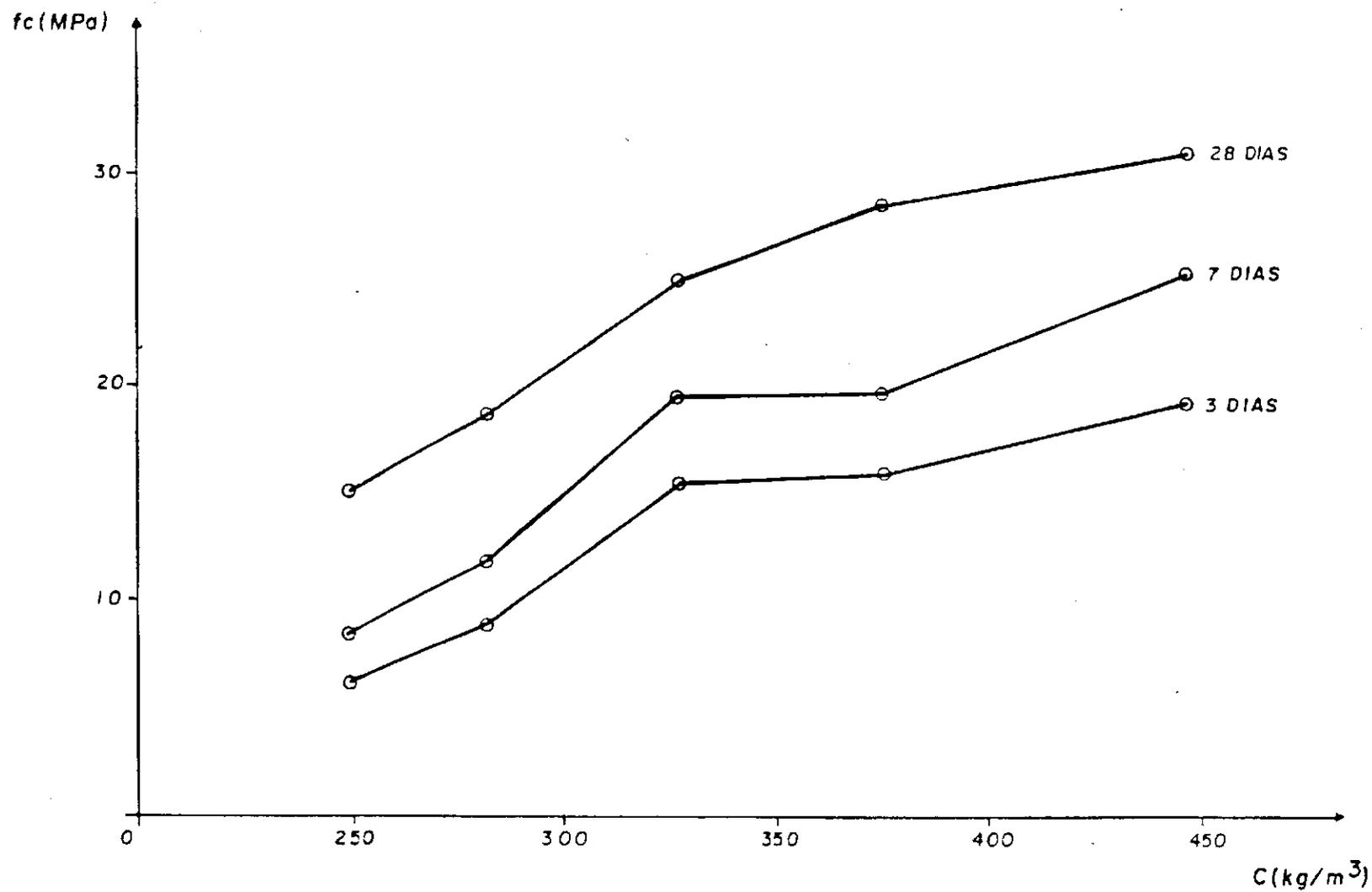


Gráfico 5.5 - Variação da resistência à compressão x consumo de cimento aos 3, 7 e 28 dias de cura do concreto granítico estudado

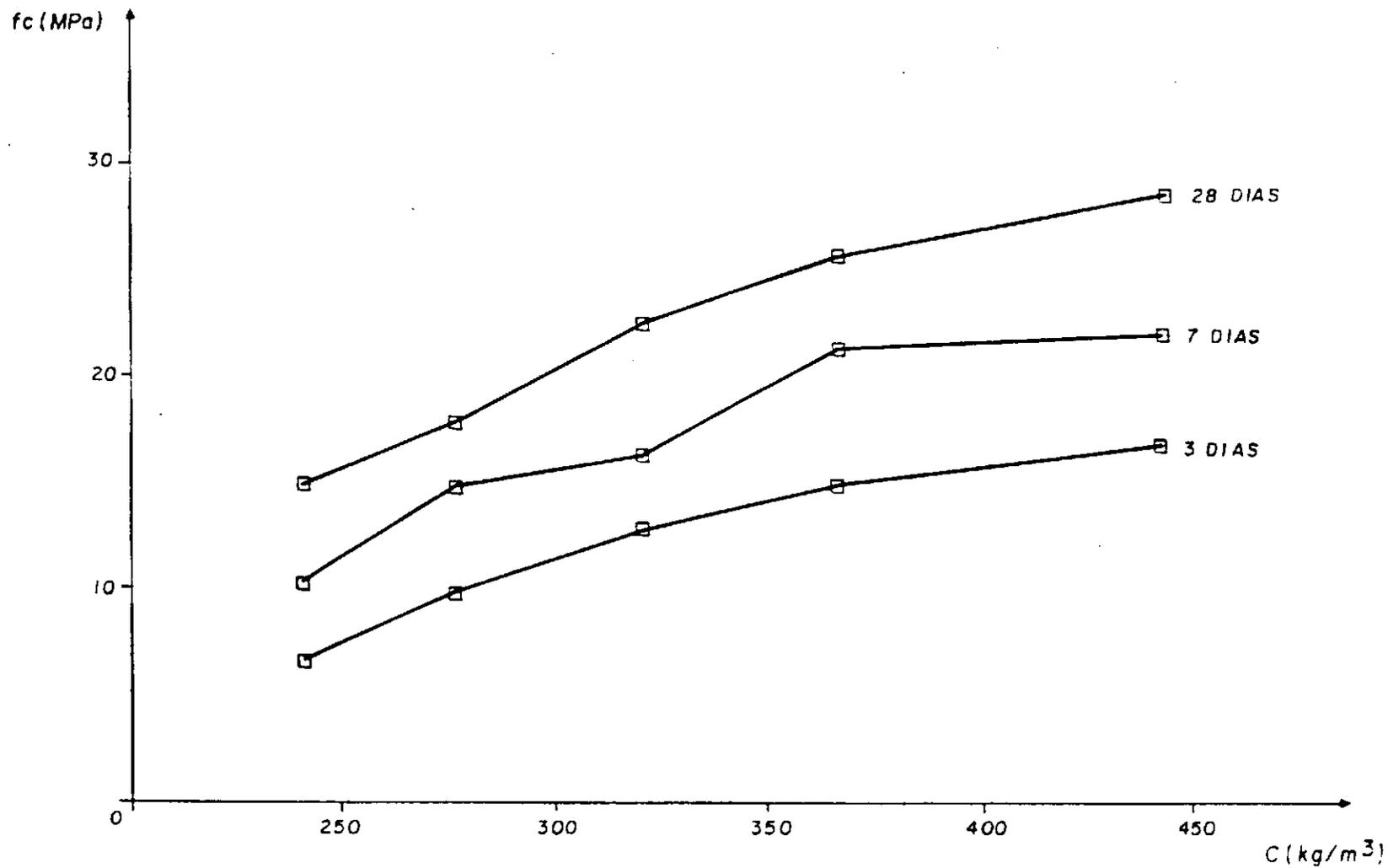


Gráfico 5.6-Gráfico de resistência à compressão x consumo de cimento aos 3, 7 e 28 dias de idade do concreto seixo estudado

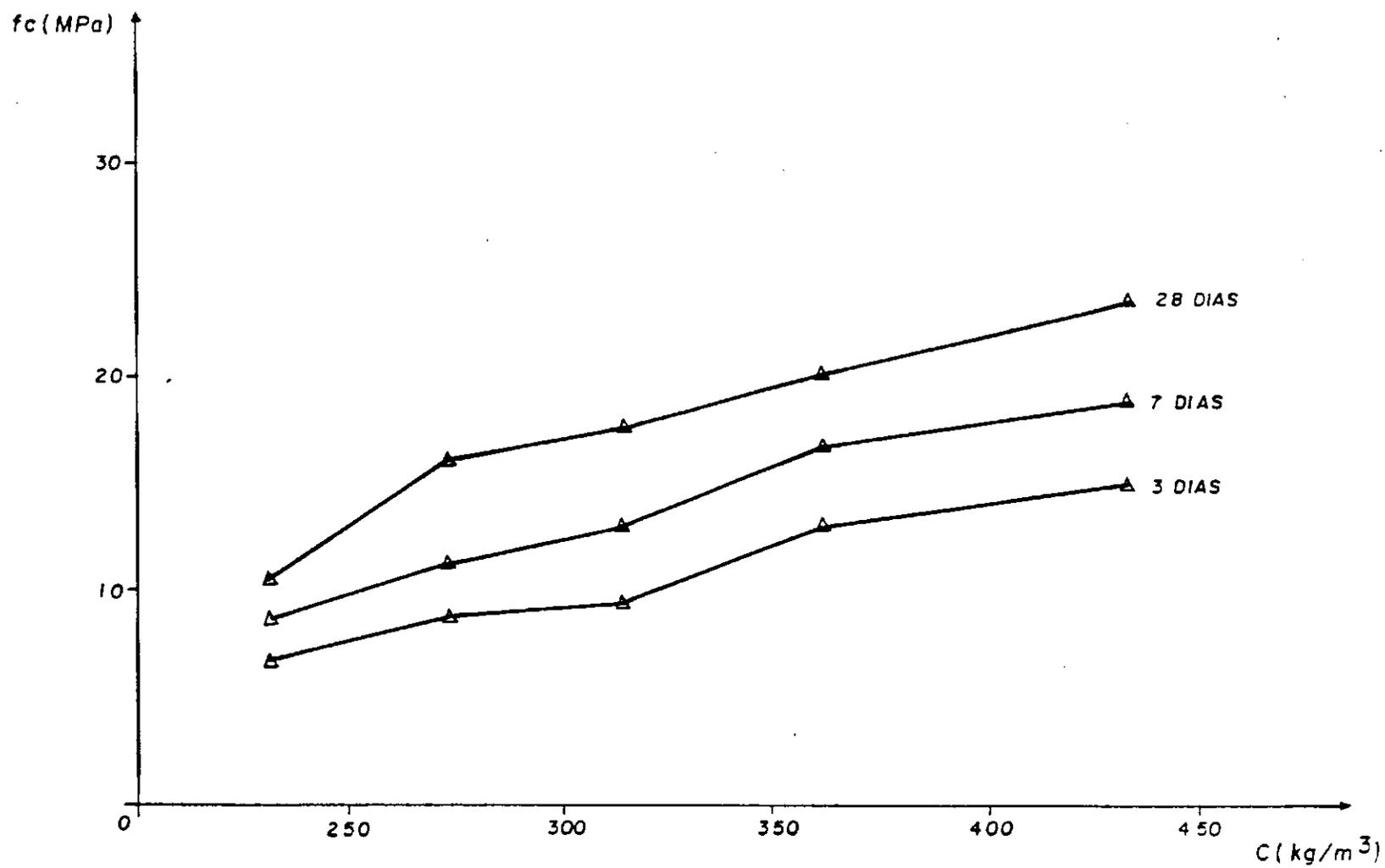


Gráfico 5.7- Gráfico de resistência à compressão x consumo de cimento aos 3, 7 e 28 dias de idade do concreto laterítico estudado

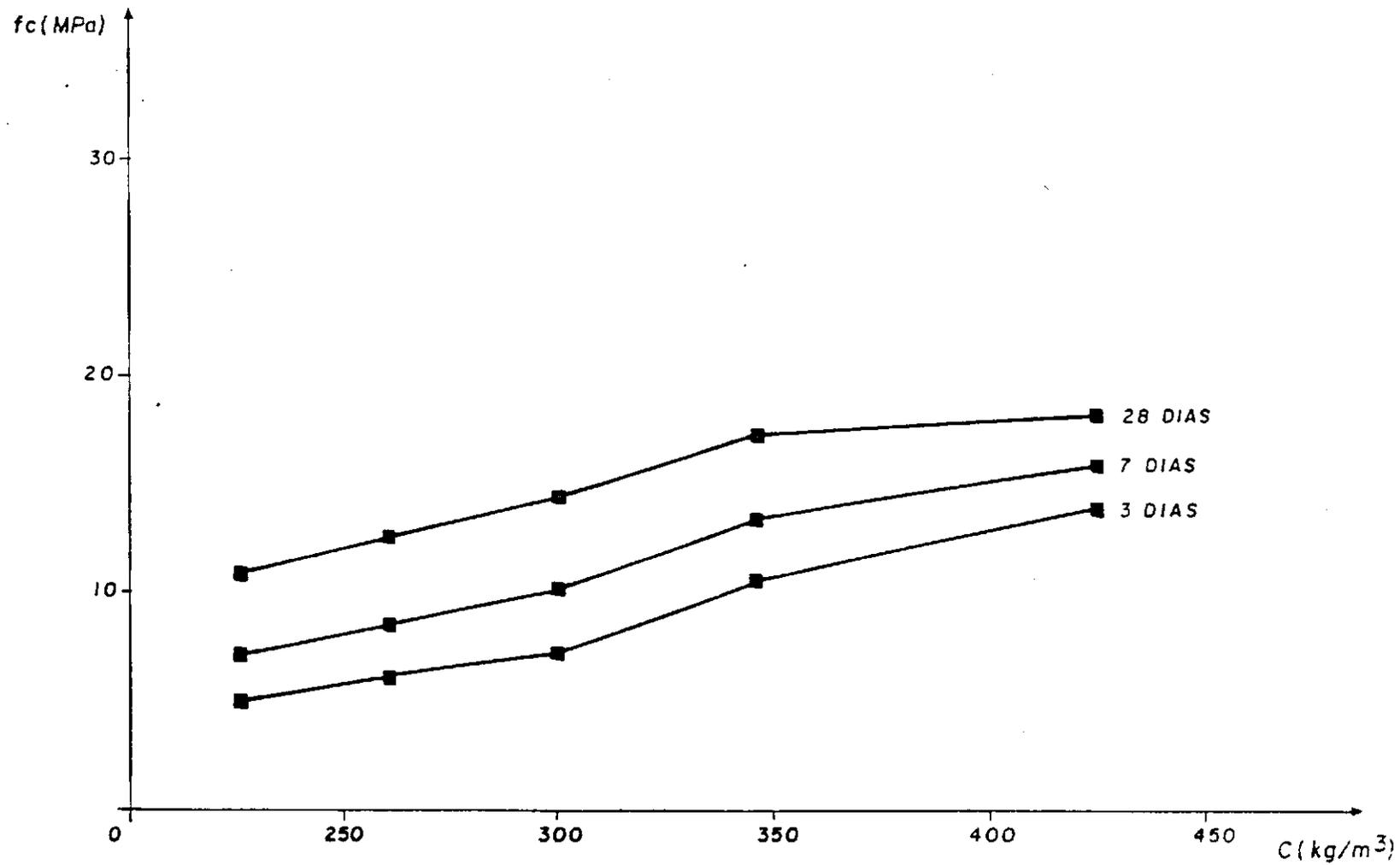


Gráfico 5.8 - Gráfico de resistência à compressão x consumo de cimento aos 3, 7 e 28 dias de idade de concreto calcário estudado

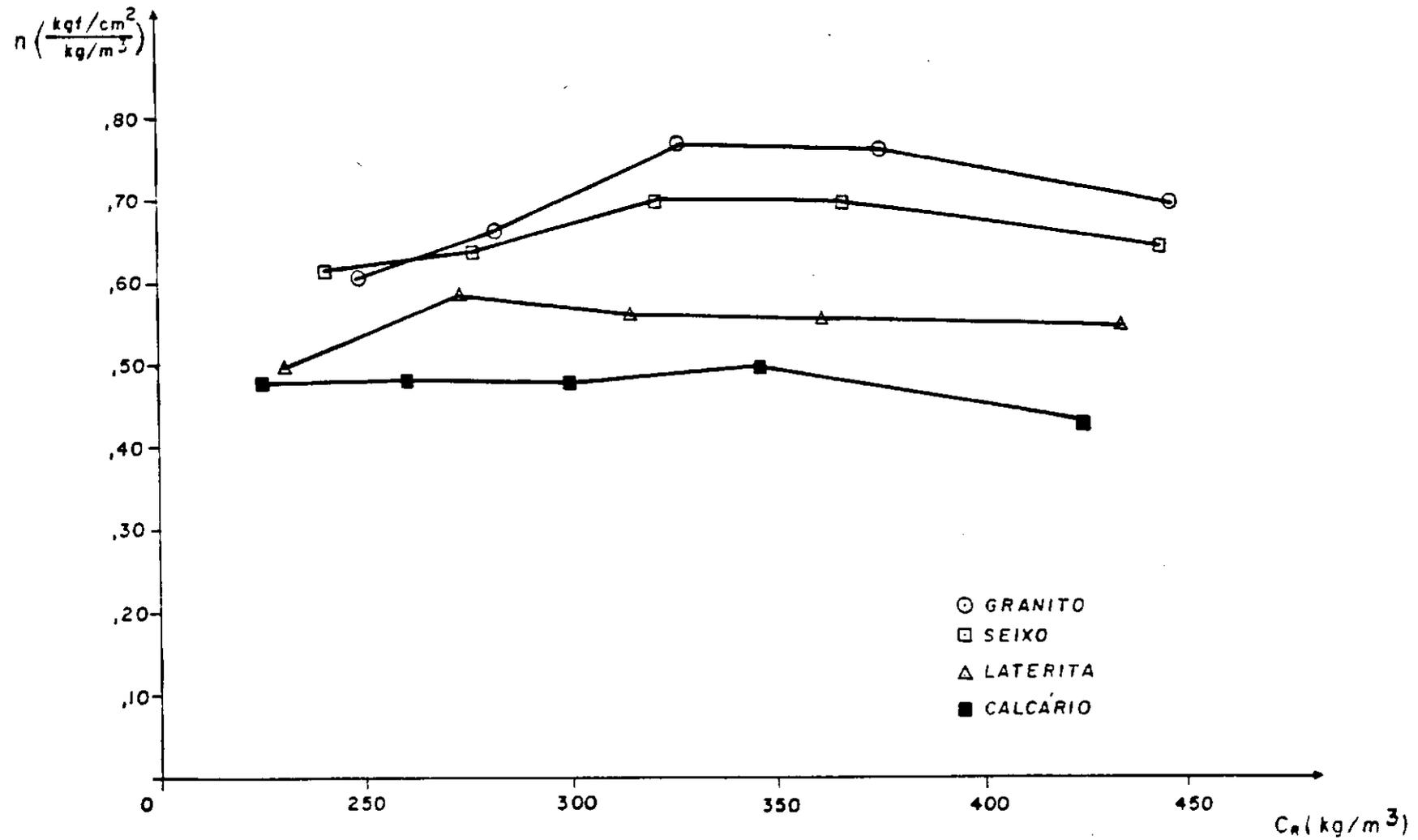


Gráfico 5.9 — Gráfico da relação entre os rendimentos obtidos para a idade de 28 dias nos concretos graníticos, seixo, laterítico e calcário x consumo de cimento real

C_R (kg/m ³)	249	282	326	376	446
$n \left(\frac{f_{c28}}{C_R} \right)$	60,6	66,4	76,8	76,1	69,6

Tabela 5.7.a. — Rendimentos obtidos para a idade de 28 dias nos concretos utilizando granito

C_R (kg/m ³)	241	277	320	367	443
$n \left(\frac{f_{c28}}{C_R} \right)$	61,6	64,0	70,2	70,0	64,6

Tabela 5.7.b. — Rendimentos obtidos para a idade de 28 dias nos concretos utilizando seixo

C_R (kg/m ³)	231	274	314	362	433
$n \left(\frac{f_{c28}}{C_R} \right)$	49,6	58,6	56,2	55,6	54,6

Tabela 5.7.c — Rendimentos obtidos para a idade de 28 dias nos concretos utilizando laterita

C_R (kg/m ³)	225	261	300	346	424
$n \left(\frac{f_{c28}}{C_R} \right)$	48,0	48,3	48,0	47,9	43,1

Tabela 5.7.d — Rendimentos obtidos para a idade de 28 dias nos concretos utilizando calcário

OBS : $f_{c28} \longrightarrow \text{kgf/cm}^2$
 $C_R \longrightarrow$ Consumo real de cimento
 $n \times 100$

$C_R(\text{kg/m}^3)$	249	282	326	376	446
$\frac{R_7}{R_{28}} \times 100$	55,9%	63,3%	77,8%	68,5%	81,6%

Tabela 5.8. a — Granito

$C_R(\text{kg/m}^3)$	241	277	320	367	443
$\frac{R_7}{R_{28}} \times 100$	69,1%	83,8%	72,5%	82,7%	76,9%

Tabela 5.8. b — Seixo

$C_R(\text{kg/m}^3)$	231	274	314	362	433
$\frac{R_7}{R_{28}} \times 100$	75,9%	70,9%	73,6%	83,5%	79,8%

Tabela 5.8. c — Laterita

$C_R(\text{kg/m}^3)$	225	261	300	346	424
$\frac{R_7}{R_{28}} \times 100$	65,5%	67,1%	70,8%	77,7%	86,9%

Tabela 5.8. d — Calcário

Percentagens obtidas para a idade de 7 dias em relação a idade de 28 dias tomada como resistência final (100%) nos concretos estudados

concreto laterítico atingiu o valor da ordem de 83% da sua resistência final (28 dias). Já no concreto em que se utiliza brita calcária, para consumo de cimento na ordem de 425 kg/m³, a resistência aos 7d foi de 87% em relação a sua resistência aos 28d. Isto se deve ao fato de quando da ruptura dos corpos de prova, nota-se nitidamente que a fratura ocorre nos agregados graúdos, assim, para teores elevados de cimento a resistência da argamassa é superior à dos agregados, Costa (1987).

5.8. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DIAMETRAL

Os resultados da resistência à compressão diametral aos 28d de idade, nos quatro tipos de concreto estudados, são mostrados na Tabela 5.6.

Tomando como comparação a resistência à compressão diametral do concreto com agregado granítico - correspondente a 100% -, podemos observar que, para o mesmo traço e faixa de consumo de cimento, os percentuais de resistência do concreto em relação aos demais agregados estudados correspondem à cerca de:

- Seixo rolado: 94 a 111% (média de 101%)
- concreções lateríticas: 73 a 88% (média de 79%)
- brita calcária: 57 a 71% (média de 64%)

Ainda na Tabela 5.6 estão mostrados os percentuais para cada traço estudado. Notamos, pois, que o concreto confeccionado com seixo rolado apresenta resultados excepcionais chegando, inclusive, a consumos de cimento, na faixa de

240 kg/m³ até 280 kg/m³, oferecer resistência à compressão diametral superior àquela apresentada pelo concreto confeccionado com brita granítica. Isso se deve, provavelmente, ao fato do seixo rolado utilizado na confecção do concreto ter passado pelo processo de beneficiamento de lavagem diminuindo, dessa maneira, o teor de materiais pulverulentos que comprometem a capacidade de aderência do agregado à argamassa. Outro aspecto que justifica os excepcionais resultados obtidos com o seixo é a sua boa qualidade atestada nos ensaios de características mecânicas (abrasão "Los Angeles" e resistência ao esmagamento).

No Gráfico 5.10 estão relacionados a resistência média à tração (f_t) e o consumo do cimento (C).

Observamos que para valores de consumo de cimento acima de 274 kg/m³, no concreto laterítico, e acima de 261 kg/m³, no concreto calcário, esses concretos não apresentam a mesma progressão de resistência que ocorre com os concretos que utilizam seixo rolado e o granito. O concreto laterítico tende a estabilizar o valor da resistência à compressão diametral em torno de 1,8 MPa, enquanto no concreto calcário ocorre em torno de 1,4 MPa. Já nos concretos utilizando seixo rolado e brita granítica, há uma tendência de estabilizar o valor da resistência na ordem de 2,6 MPa, que corresponde a um consumo de cimento em torno de 320 kg/m³.

O gráfico 5.11, nos mostra a comparação da relação da resistência média à tração com o fator água/cimento dos concretos estudados, aos 28 dias de idade.

Verificamos que, enquanto os concretos que utili

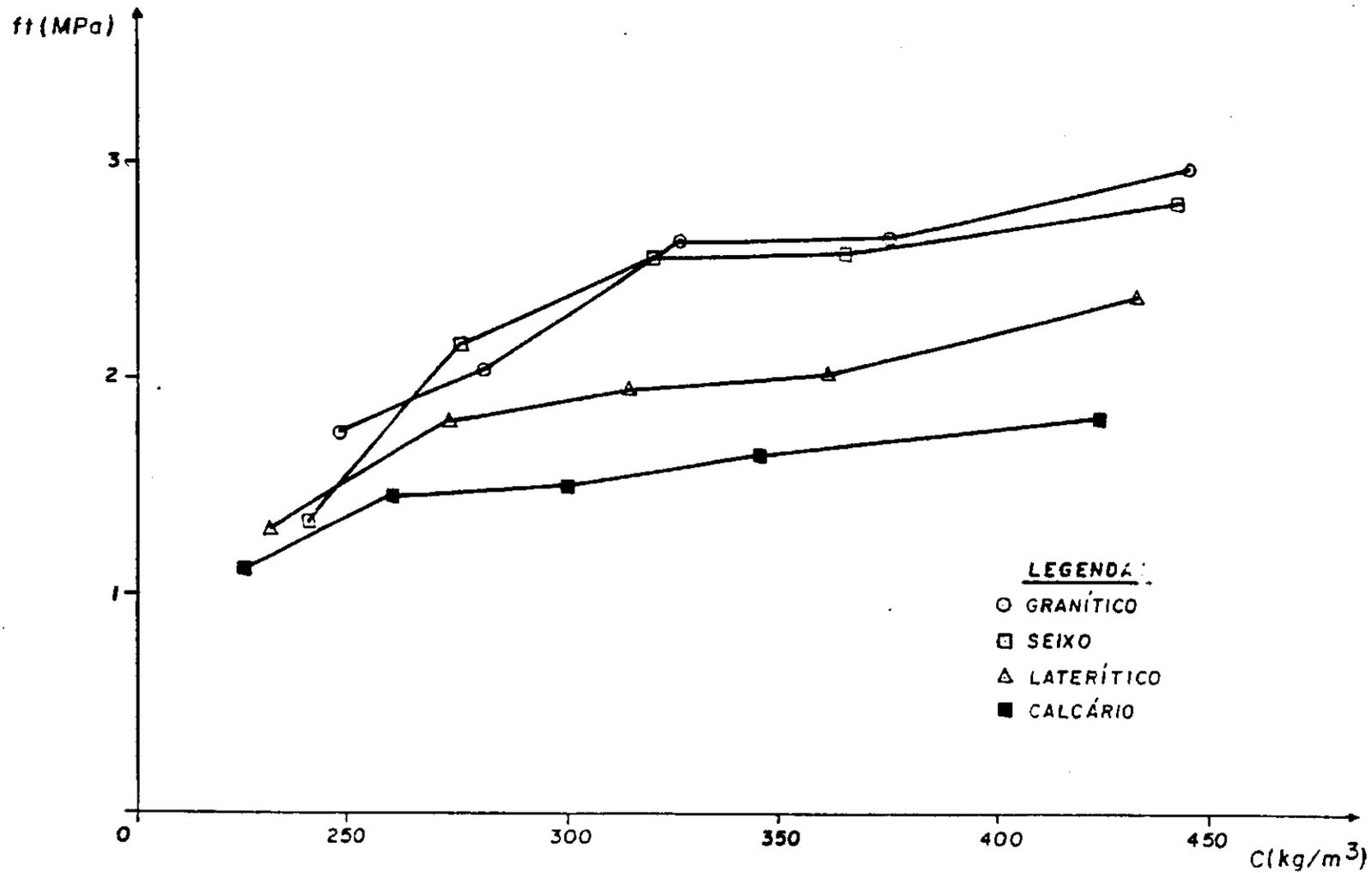


Gráfico 5.10-Comparação da relação de resistência média a tração x consumo de cimento dos concretos granítico, seixo, laterítico e calcário aos 28 dias de idade

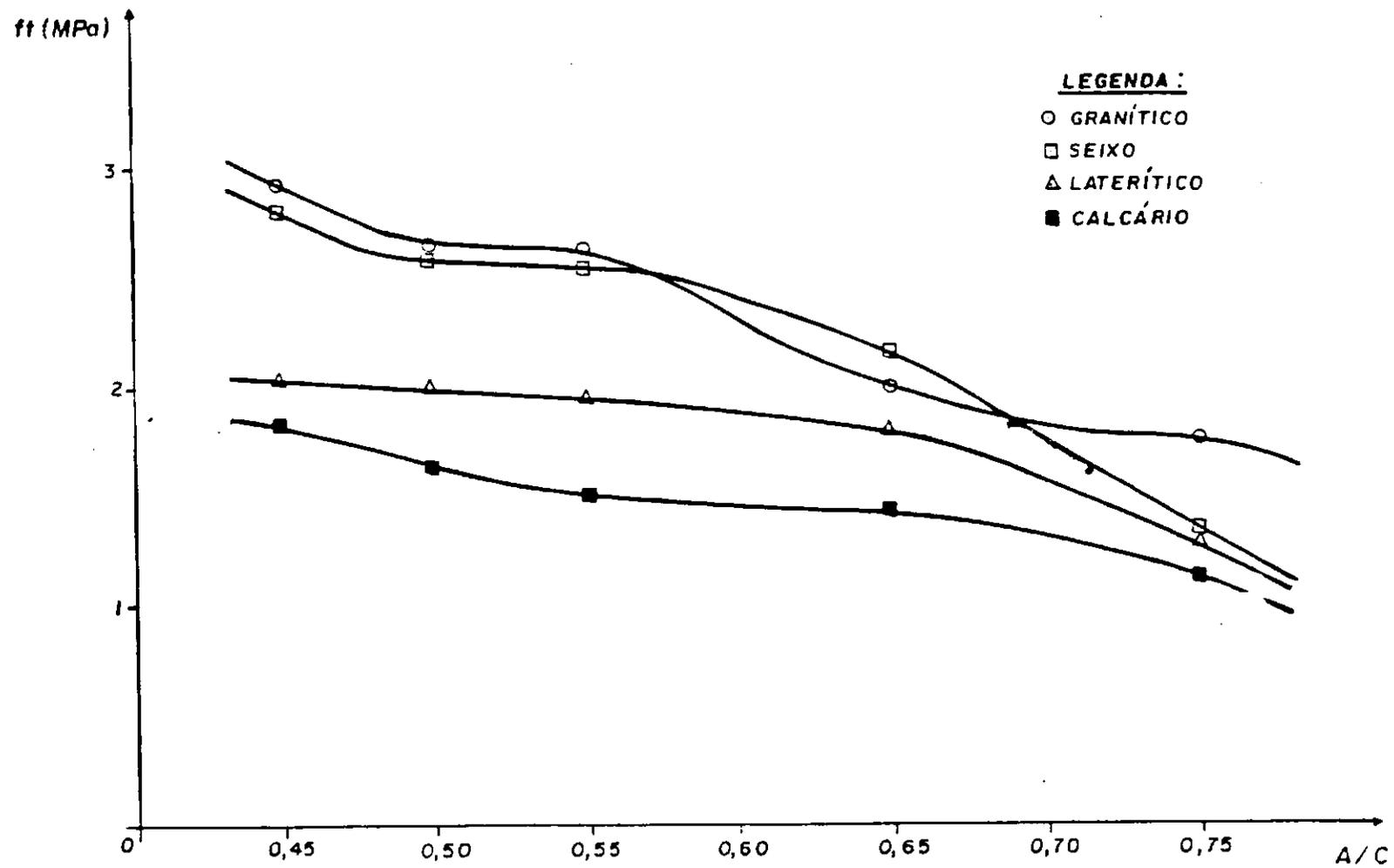


Gráfico 5.11—Comparação da relação da resistência média à tração x fator água/cimento dos concretos granítico, seixo, laterítico e calcário aos 28 dias de idade

zam seixo rolado e a brita granítica apresentaram sempre um aumento de resistência em função da diminuição do fator água/cimento, os concretos lateríticos e calcários tendem a estabilizar suas resistências para valores de fator água/cimento, da ordem de 0,65, equivalentes aos consumos de cimento de 274 kg/m³ e de 261 kg/m³, respectivamente. Isto se justifica observando-se os corpos de prova após o ensaio de tração efetuado aos 28d de idade. Notamos que, nos concretos utilizando brita granítica e seixos, a partir desses níveis de consumo de cimento, não se percebia agregados rompidos, enquanto que nos concretos utilizando concreções lateríticas e brita calcária havia agregados rompidos, o que mostra que nesses últimos a argamassa não foi aproveitado totalmente, ficando a resistência do corpo de prova limitada a do agregado.

5.9. CORRELAÇÕES ENTRE OS VALORES DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL E À COMPRESSÃO DIAMETRAL DOS CONCRETOS ESTUDADOS

As correlações observadas entre a resistência à compressão axial e à compressão diametral estão ilustradas no gráfico 5.12, e podem ser expressas pelas seguintes equações

- granito: $f_{c_t}28 = 0,0738 f_{c28} + 0,671$ (r = 0,98)

- seixo: $f_{c_t}28 = 0,0612 f_{c28} + 1,086$ (r = 0,98)

- lateritas: $f_{c_t}28 = 0,0868 f_{c28} + 0,353$ (r = 0,98)

- calcário: $f_{c_t}28 = 0,0855 f_{c28} + 0,272$ (r = 0,96)

Onde:

$f_{c_t}28$ - resistência à compressão diametral aos 28d.

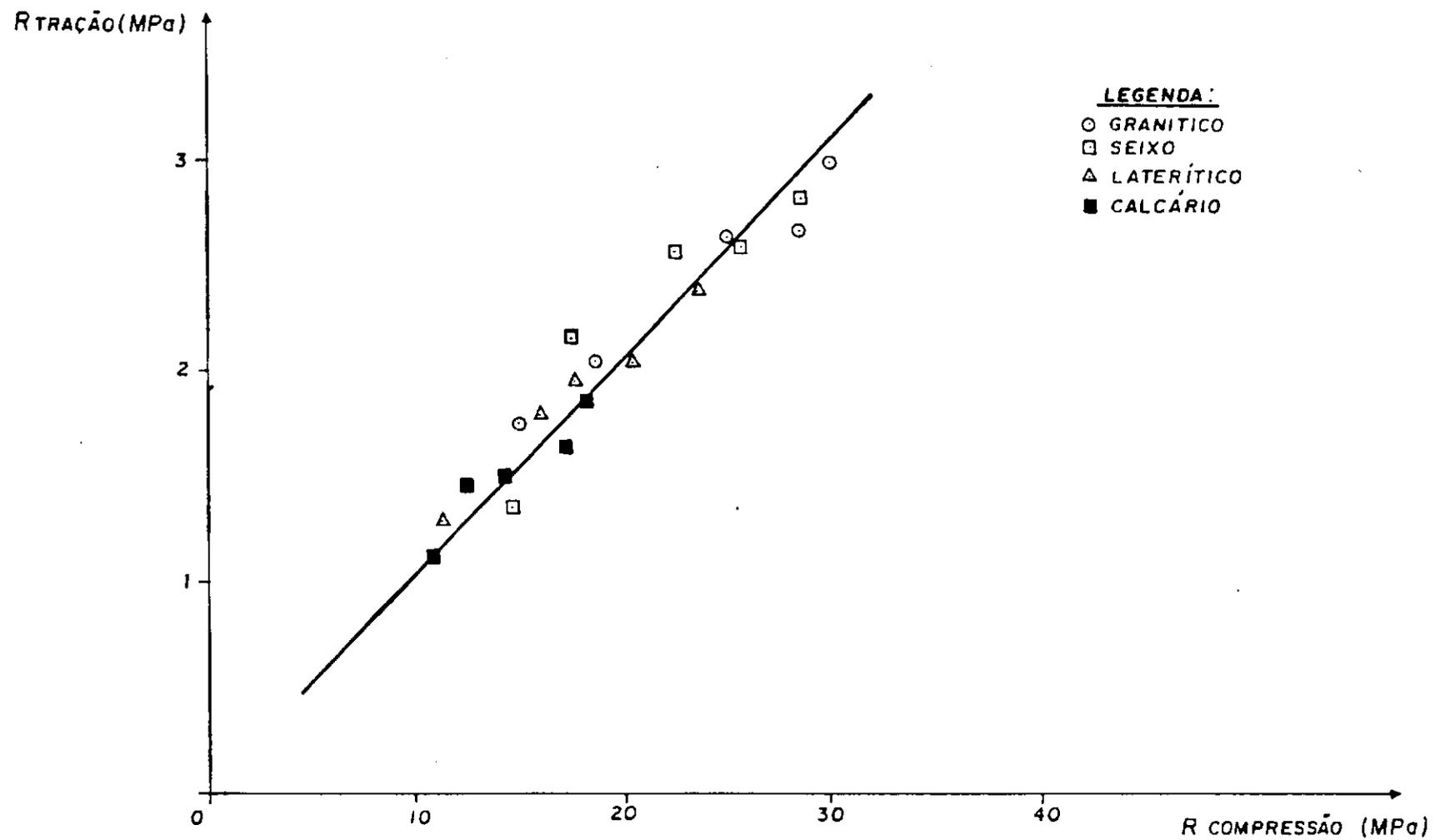


Gráfico 5.12 - Relação entre a resistência à tração e à compressão dos concretos granítico, seixo, laterítico e calcário, aos 28 dias de idade

f_{c28} - resistência à compressão axial aos 28d.

r - coeficiente de correlação.

Estas equações obtidas através de regressão linear, Francisco (1982), correspondem às retas que melhor se aproximam dos cinco resultados (pontos), alcançados pelos ensaios de resistências à compressão axial e diametral, nos quatro tipos de concretos estudados.

De uma maneira geral, podemos concluir que, nos quatro tipos de concretos estudados, a resistência à compressão diametral foi da ordem da décima parte da resistência à compressão axial.

5.10. MÓDULO DE ELASTICIDADE

É sabido que o concreto é um material não linear. Desta forma, seu módulo de elasticidade varia ao longo da curva tensão-deformação. Neste trabalho, o módulo de elasticidade considerado é aquele tangente à origem do diagrama tensão-deformação.

Os resultados obtidos com o ensaio de ultra-som e pela expressão teórica da NBR 6118/78 - ABNT, para determinação do módulo de elasticidade, se acham demonstrados nas tabelas 5.10a, 5.10b e 5.10c.

Verificamos que os valores encontrados através da expressão empírica fornecida pelo órgão normativo NBR 6118/78 e do ensaio ultra-som, relativos ao módulo de elasticidade dos concretos, utilizando brita granítica e o seixo rolado como agregado graúdo, estão coerentes entre si. Por exemplo, no

traço 1:8:0,75, na idade de 28 dias, o concreto granítico obteve o valor de $E = 25.200$ MPa pelo ultra-som, enquanto pela expressão da NBR alcançou o valor do $E = 25.600$ MPa, no concreto utilizando seixo rolado pelo ensaio de ultra-som, o $E = 24.200$ MPa, enquanto pela expressão da NBR, o valor de $E = 25.400$ MPa. Já nos concretos utilizando concreções lateríticas e calcário como agregados graúdos, os módulos de elasticidade, E , obtidos com o aparelho de ultra-som, diferem significativamente daqueles obtidos pela expressão fornecida pela NBR 6118/78. Isto mostra que essa expressão não é adequada para concreto com agregado calcário e laterítico. De fato, sendo estas concreções lateríticas agregados porosos, apresentam menor valor do módulo de elasticidade. Conclusão semelhante foi tirada por Barbosa e Chagas Filho (1988), que obtiveram experimentalmente valores na faixa de 12.000 a 14.000 MPa para o módulo de elasticidade do concreto laterítico.

Os Gráficos 5.13 e 5.14 mostram a relação entre o módulo de elasticidade dos concretos estudados e o consumo de cimento na idade de 28 dias, determinados através do ensaio do ultra-som e pela expressão da NBR 6118/78, respectivamente. Em ambos os casos percebemos um crescimento do módulo de elasticidade em função do aumento do consumo de cimento nos quatro tipos de concreto estudados. A mesma progressão do módulo de elasticidade do concreto granítico foi, também, apresentado pelos demais concretos, quando se variou o consumo do cimento.

TRAÇO - FATOR A/C	CONCRETO	3 DIAS		7 DIAS		28 DIAS	
		T (us)	V(km/s)	T (us)	V(km/s)	T (us)	V(km/s)
1 : 1,50 : 2,50 : 0,45	GRANÍTICO	71,3	4,206	69,9	4,292	66,0	4,546
	SEIXO	71,9	4,172	70,2	4,276	68,1	4,406
	LATERÍTICO	91,2	3,296	84,4	3,554	81,3	3,690
	CALCÁRIO	92,8	3,232	89,3	3,360	83,2	3,606
1 : 2,00 : 3,00 : 0,45	GRANÍTICO	72,1	4,160	70,9	4,232	67,0	4,478
	SEIXO	72,9	4,116	71,7	4,184	68,3	4,392
	LATERÍTICO	92,7	3,236	86,5	3,468	82,0	3,658
	CALCÁRIO	93,5	3,208	90,2	3,326	85,8	3,496
1 : 2,50 : 3,50 : 0,55	GRANÍTICO	72,6	4,132	71,4	4,202	67,7	4,432
	SEIXO	73,5	4,082	72,3	4,150	69,1	4,342
	LATERÍTICO	95,2	3,152	88,1	3,406	82,6	3,632
	CALCÁRIO	96,8	3,098	90,8	3,304	86,3	3,476
1 : 3,00 : 4,00 : 0,65	GRANÍTICO	75,8	3,958	73,9	4,060	68,4	4,386
	SEIXO	74,0	4,054	72,8	4,120	69,3	4,328
	LATERÍTICO	97,0	3,092	90,2	3,326	83,6	3,588
	CALCÁRIO	199,4	3,018	91,2	3,290	87,0	3,448
1 : 3,50 : 4,50 : 0,75	GRANÍTICO	83,6	3,588	75,6	3,968	69,0	4,348
	SEIXO	80,7	3,718	74,4	4,032	69,6	4,310
	LATERÍTICO	99,6	3,012	91,8	3,268	86,1	3,484
	CALCÁRIO	101,3	2,962	92,5	3,244	88,7	3,382

Obs : $V = \frac{300}{T} \text{ km/s}$

Tabela 5.9 — Resumo dos tempos e velocidades de propagação das ondas longitudinais obtidos através do ensaio de ultra-som

TRAÇO - FATOR A/C	CONCRETO	GRÁFICO ULTRA-SOM (MPa)		EXPRESSÃO NBR 6118 ABNT/78 (MPa) $E = 6.600 \sqrt{f_{cj}}$
		DINÂMICO	ESTÁTICO	
1 : 1,50 : 2,50 : 0,45	GRANÍTICO	31.900	21.900	28.900
	SEIXO	31.200	21.000	27.000
	LATERÍTICO	22.200	11.800	25.600
	CALCÁRIO	22.000	10.700	24.700
1 : 2,00 : 3,00 : 0,50	GRANÍTICO	31.000	20.900	26.300
	SEIXO	30.000	19.800	25.500
	LATERÍTICO	22.000	10.700	23.800
	CALCÁRIO	21.800	10.500	21.400
1 : 2,50 : 3,50 : 0,55	GRANÍTICO	30.400	20.000	26.000
	SEIXO	28.700	18.300	23.600
	LATERÍTICO	ND	ND	20.300
	CALCÁRIO	ND	ND	17.700
1 : 3,00 : 4,00 : 0,65	GRANÍTICO	27.900	17.400	19.700
	SEIXO	28.650	18.250	20.650
	LATERÍTICO	ND	ND	19.600
	CALCÁRIO	ND	ND	16.300
1 : 3,50 : 4,50 : 0,75	GRANÍTICO	24.000	13.400	16.450
	SEIXO	25.350	14.800	17.000
	LATERÍTICO	ND	ND	17.200
	CALCÁRIO	ND	ND	14.750

Tabela 5.10a - Estimativa do valor do módulo de elasticidade obtido através do ensaio de ultra-som e da expressão NBR-6118/78-ABNT dos concretos estudados para a idade de 3 dias

TRAÇO — FATOR A/C	CONCRETO	GRÁFICO ULTRA-SOM (MPa)		EXPRESSÃO NBR 6118 ABNT/78 (MPa) $E = 6.600 \sqrt{f_c}$
		DINÂMICO	ESTÁTICO	
1:1,50:2,50:0,45	GRANÍTICO	33.700	24.100	33.200
	SEIXO	33.100	23.800	31.000
	LATERÍTICO	23.900	13.000	28.600
	CALCÁRIO	22.700	11.900	26.300
1:2,00:3,00:0,50	GRANÍTICO	32.200	22.800	29.200
	SEIXO	31.250	21.100	30.500
	LATERÍTICO	23.200	12.300	27.000
	CALCÁRIO	22.600	11.850	24.200
1:2,50:3,50:0,55	GRANÍTICO	31.900	21.900	29.200
	SEIXO	31.000	20.800	26.700
	LATERÍTICO	22.950	12.050	23.700
	CALCÁRIO	22.200	11.800	21.000
1:3,00:4,00:0,65	GRANÍTICO	28.700	18.300	22.800
	SEIXO	30.000	19.800	25.450
	LATERÍTICO	22.600	11.800	22.300
	CALCÁRIO	22.150	11.750	19.200
1:3,50:4,50:0,75	GRANÍTICO	27.900	17.400	19.200
	SEIXO	28.600	18.200	21.100
	LATERÍTICO	22.100	11.700	19.500
	CALCÁRIO	22.000	10.700	17.650

Tabela 5.10.b — Estimativa do valor do módulo de elasticidade obtido através do ensaio de ultra-som e da expressão NBR-6118/78-ABNT dos concretos estudados para a idade de 7 dias

TRAÇO — FATOR A/C	CONCRETO	GRÁFICO ULTRA-SOM (MPa)		EXPRESSÃO NBR 6118 ABNT/78 (MPa) $E = 6.600 \sqrt{f_c}$
		DINÂMICO	ESTÁTICO	
1 : 1,50 : 2,50 : 0,45	GRANÍTICO	39.500	32.000	36.700
	SEIXO	36.000	27.000	35.300
	LATERÍTICO	25.200	14.500	32.100
	CALCÁRIO	24.500	13.500	28.200
1 : 2,00 : 3,00 : 0,50	GRANÍTICO	38.000	29.600	35.300
	SEIXO	35.800	26.600	33.500
	LATERÍTICO	25.000	14.000	30.100
	CALCÁRIO	23.500	12.800	27.400
1 : 2,50 : 3,50 : 0,55	GRANÍTICO	36.500	28.000	33.000
	SEIXO	34.500	25.500	31.300
	LATERÍTICO	24.500	13.900	27.700
	CALCÁRIO	23.200	12.300	25.000
1 : 3,00 : 4,00 : 0,65	GRANÍTICO	35.300	26.200	28.550
	SEIXO	34.000	24.800	27.800
	LATERÍTICO	24.000	13.400	26.450
	CALCÁRIO	23.000	12.100	23.450
1 : 3,50 : 4,50 : 0,75	GRANÍTICO	34.200	25.200	25.650
	SEIXO	33.800	24.200	25.400
	LATERÍTICO	23.200	12.800	22.300
	CALCÁRIO	22.800	11.900	21.800

Tabela 5.10 c — Estimativa do valor do módulo de elasticidade obtido através do ensaio de ultra-som e da expressão NBR-6118/78-ABNT dos concretos estudados para a idade de 28 dias

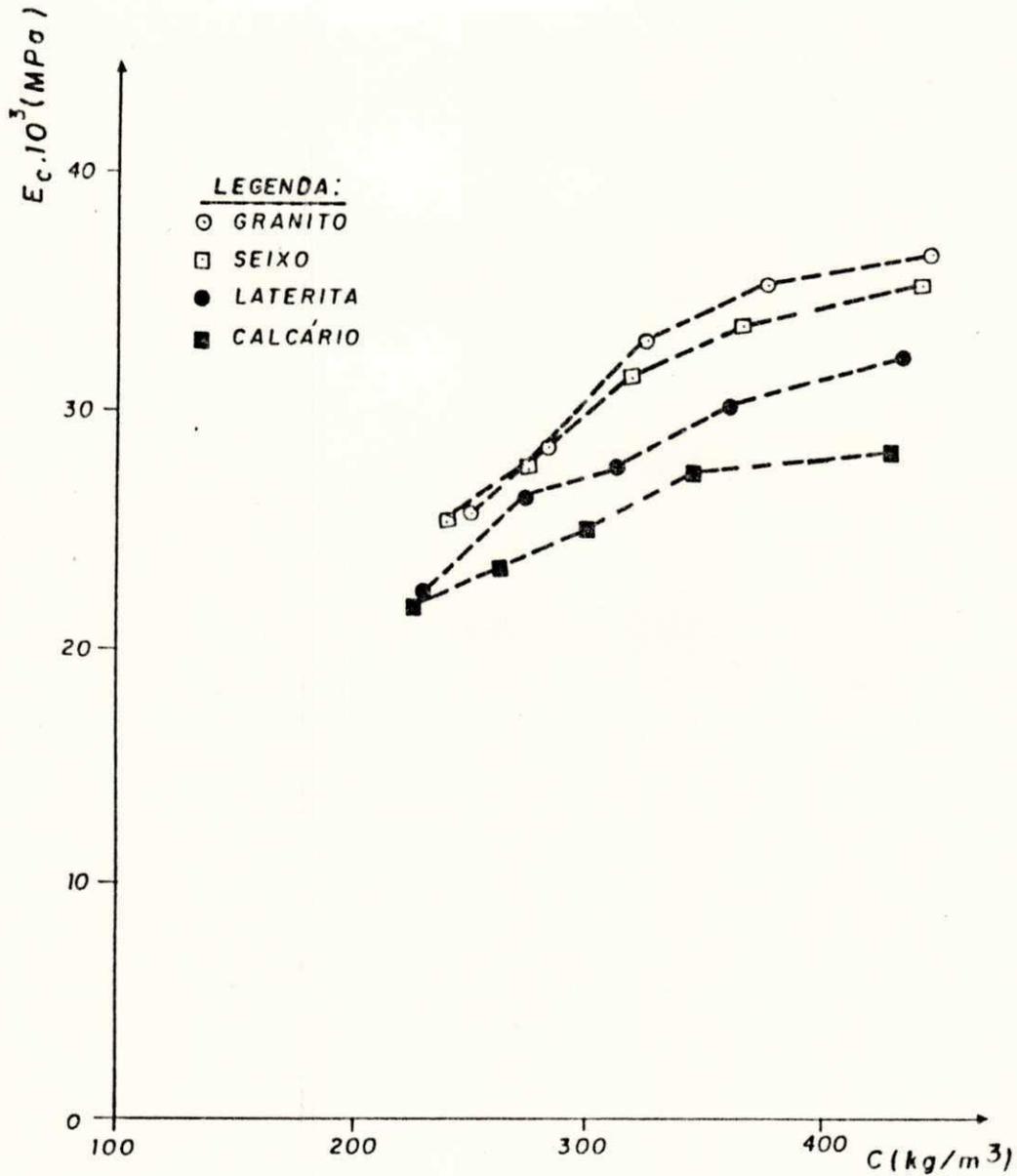


Gráfico 5.13 - Relação entre o módulo de elasticidade do concreto e o consumo de cimento na idade de 28 dias, determinado através do gráfico de ultra-som

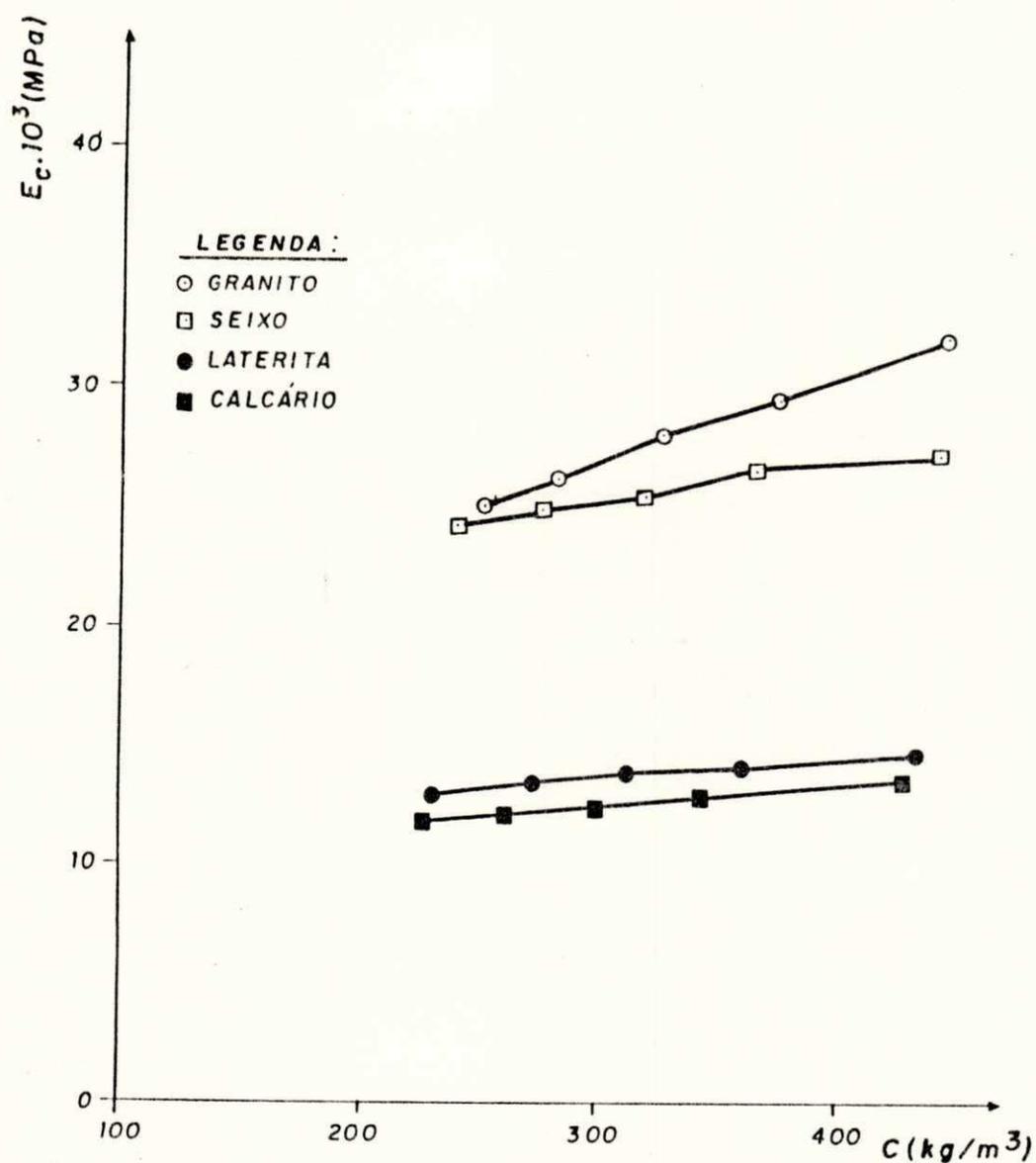


Gráfico 5.14 — Relação entre o módulo de elasticidade do concreto e o consumo de cimento na idade de 28 dias, determinado pela NBR 6118/78-ABNT

5.11. ENSAIO COM ESCLERÔMETRO DE REFLEXÃO

Os resultados obtidos com o esclerômetro de reflexão estão inseridos na Tabela 5.11.

Observamos que existem uma coerência nos valores obtidos, apresentando o concreto confeccionado com a brita granítica o maior valor da dureza superficial, seguido, em ordem decrescente, os confeccionados com o seixo rolado, concreções lateríticas e brita calcária nas cinco misturas estudadas. Entretanto, observando os valores correspondentes aos da resistência à compressão axial obtidos através do gráfico fornecido pelo fabricante do esclerômetro, concluímos que há uma excelente coerência comparando-se com os valores obtidos através do ensaio de resistência dos corpos de prova cilíndricos elaborados com concreto granítico, boa, com o seixo e sofrível, para com as concreções lateríticas e brita calcária (Ver Gráficos 5.3 e 5.15). Isto se deve, provavelmente, aos fatores que alteram a superfície do concreto, como por exemplo, o grau de saturação ou a carbonatação, que levam a distorções de resultados, no que concerne às propriedades do concreto no interior da estrutura. Outra grande influência sobre o Índice esclerométrico é o tipo de agregado, de modo que a relação entre esse índice e a resistência deve ser determinada para cada concreto usado num mesmo local, Grieb (1958)

Desta maneira podemos dizer que a importância desse ensaio está em poder avaliar a uniformidade do concreto em uma peça estrutural.

TRAÇO - FATOR A/C	TIPO DE CONCRETO	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1 : 1,50 : 2,50 : 0,45	GRANÍTICO	28,24	1,14	32	32	31
	SEIXO	27,70	1,14	31	31	29
	LATERÍTICO	25,76	1,14	29	28	24
	CALCÁRIO	25,55	1,14	29	28	18
1 : 2,00 : 3,00 : 0,50	GRANÍTICO	26,48	1,14	30	29	29
	SEIXO	25,98	1,14	29	28	26
	LATERÍTICO	24,60	1,14	28	26	20
	CALCÁRIO	23,42	1,14	27	23	17
1 : 2,50 : 3,50 : 0,55	GRANÍTICO	24,00	1,14	27	24	25
	SEIXO	23,54	1,14	27	25	22
	LATERÍTICO	23,50	1,14	26	24	18
	CALCÁRIO	21,67	1,14	24	22	14
1 : 3,00 : 4,00 : 0,65	GRANÍTICO	21,71	1,14	25	22	19
	SEIXO	21,07	1,14	24	19	18
	LATERÍTICO	20,71	1,14	23	18	16
	CALCÁRIO	19,50	1,14	22	17	13
1 : 3,50 : 4,50 : 0,75	GRANÍTICO	20,08	1,14	23	17	15
	SEIXO	19,70	1,14	22	17	15
	LATERÍTICO	19,00	1,14	21	16	11
	CALCÁRIO	18,50	1,14	21	16	11

Tabela 5.11 - Estimativa da resistência à compressão axial obtida através do ensaio de esclerometria

(1) - IE - Índice Esclerométrico

(2) - K - Coeficiente de Correção

(3) - IE_{efe} - Índice Esclerométrico Efetivo

(4) - Resistência a Comp. Axial Estimada pelo Esclerômetro de Reflexão (MPa)

(5) - Compressão Axial Obtida pelo Ensaio de Corpos de Prova (MPa)

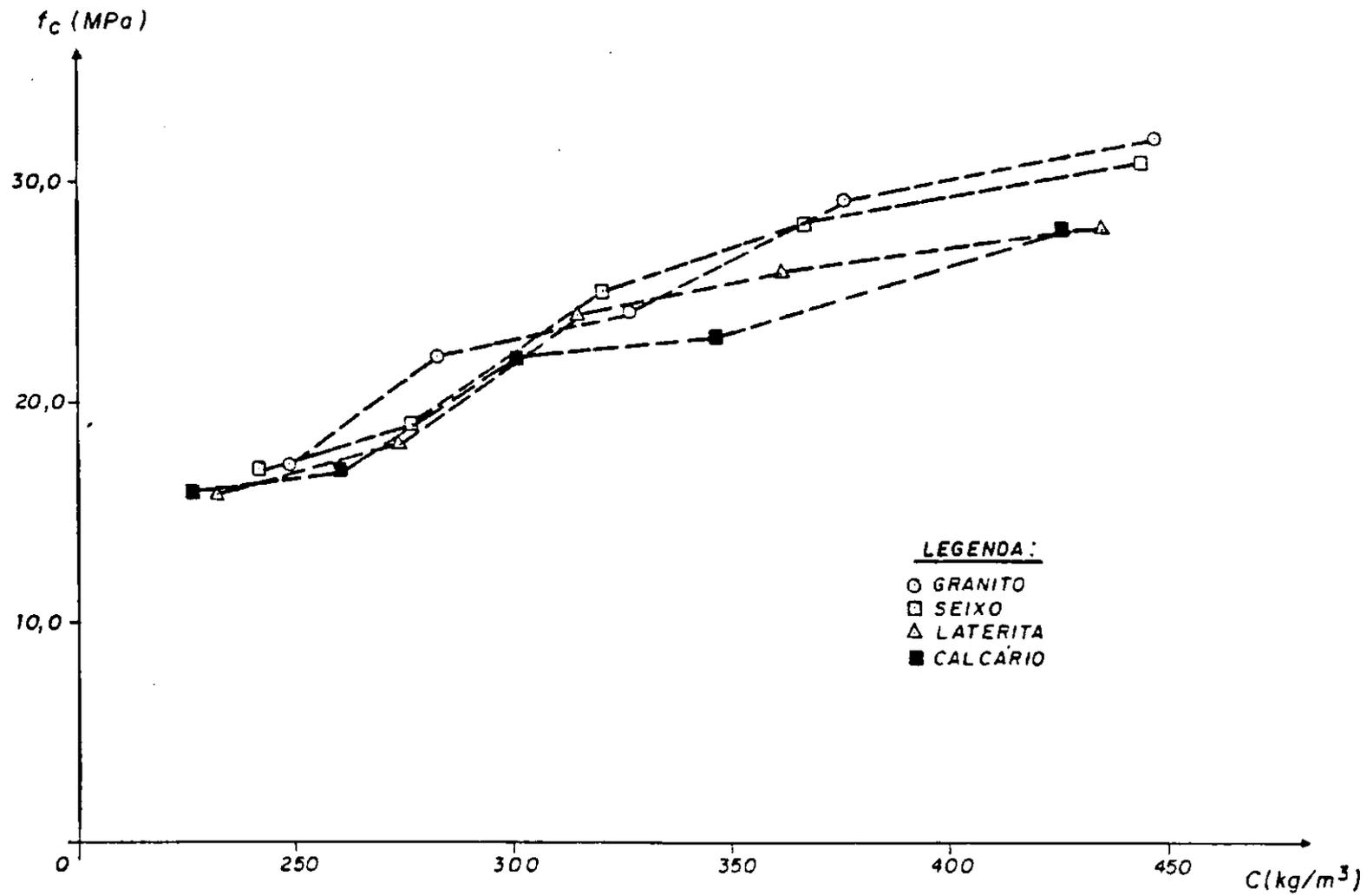


Gráfico 5.15 - Relação entre o consumo de cimento versus resistência à compressão simples estimada pela esclerometria para a idade de 28 dias para os concretos estudados

CAPÍTULO VI

CONCLUSÕES

Pela análise dos resultados obtidos na pesquisa, podemos concluir que:

1 - Os constituintes químicos apresentados nas composições químicas dos quatro agregados estudados, caracterizam-nos como sendo materiais originados de rochas graníticas, seixos rolados, concreções lateríticas e rochas calcárias.

2 - As absorções apresentadas pelo agregado graúdo, granítico e seixo rolado desprezam a necessidade de água adicional de correção, na confecção de concretos com os mesmos. Já no caso das concreções lateríticas e calcárias, devido aos grandes valores de absorção, deverá ocorrer correção no fator água/cimento de forma a manter-se a quantidade de água necessária para proporcionar ao concreto as características desejáveis.

3 - A brita granítica e o seixo rolado apresentaram em todas as determinações feitas para agregados graúdos, valores dentro dos limites impostos pelas especificações de agregado para concreto, enquanto as concreções lateríticas apresentarem materiais puerulentos e resistências ao esmagamento fora dos limites impostos pelas especificações de agregado para concreto. Já no caso da brita calcária, esta não atendeu aos limites de esmagamento (quando submetidos ao desgaste superficial), materiais puerulentos e do desgaste "Los Angeles".

4 - Tomando como comparação à resistência à compressão do concreto com agregado granítico, aos vinte e oito dias de idade, - correspondente a 100% -, podemos observar que, para o mesmo traço e faixa de consumo de cimento, os percentuais de resistência do concreto com os demais agregados estudados variaram da seguinte maneira:

- a. seixo rolado de 90 a 98% (média de 93%);
- b. concreções lateríticas de 70 a 85% (média de 76%);
- c. brita calcária de 57 a 72% (média de 63%).

5 - Os concretos confeccionados com brita calcária e com concreções lateríticas tendem, com consumos em torno de 260 kg/m^3 e 280 kg/m^3 , respectivamente, a estabilizar a resistência à compressão axial.

6 - Para altos consumos de cimento, os concretos fabricados com brita calcária e com concreções lateríticas, alcançam, aos 07 dias de idade, quase que a totalidade de suas resistências finais (28 dias).

7 - Tomando como comparação à resistência à compressão diametral do concreto com agregado granítico - correspondente a 100% -, podemos observar que, para o mesmo traço e faixa de consumo de cimento, os percentuais de resistência do concreto em relação aos demais agregados estudados variaram da seguinte forma:

- a. seixo rolado de 94 a 111% (média de 101%);
- b. concreções lateríticas de 73 a 88% (média de 79%);
- c. brita calcária de 57 a 71% (média de 64%).

8 - A expressão da NBR 6118/78 - ABNT para, a estima

tiva do módulo de elasticidade, E, não é adequada para concreto com agregado calcário e com concreções lateríticas.

9 - Os valores correspondentes aos da resistência à compressão axial obtidos através do gráfico fornecido pelo fabricante do esclerômetro foram coerentes comparando-se com os valores obtidos através do ensaio de resistência dos corpos de prova cilíndricos elaborados com concreto granítico e com seixos. Já para o caso dos concretos lateríticos e calcários, a esclerometria para a estimativa da resistência à compressão axial necessita de uma nova correlação para uma avaliação mais precisa.

Como conclusão final, podemos dizer que o seixo rolado estudado substitui plenamente a brita granítica em concreto de cimento Portland Pozolânico, enquanto que as concreções lateríticas e o calcário podem ser utilizados na confecção de concretos de cimento Portland Pozolânico em obras de menor responsabilidade, principalmente em regiões onde a ocorrência do agregado convencional é escassa.

CAPÍTULO VII

SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Com o objetivo de dar complementação a este trabalho visando a utilização de materiais alternativos na construção civil, sugere-se o desenvolvimento dos seguintes tópicos:

1 - Um estudo do concreto laterítico e calcário que possa definir um esquema de beneficiamento a nível industrial, visando a utilização desses materiais com maior desempenho.

2 - Fazer levantamentos de obras já realizadas onde foram empregados agregados graúdos não convencionais.

3 - Estudo de outras propriedades do concreto utilizando agregados graúdos não convencionais tais como durabilidade, permeabilidade, resistência ao fogo, retração, etc.

4 - Estudo entre os diversos métodos de determinação das características mecânicas de concretos de cimento Portland Pozolânico, utilizando agregados graúdos convencionais e não convencionais.

5 - Alterações das propriedades mecânicas de concretos de cimento Portland Pozolânico, relacionados com o tempo de cura, quando da utilização de agregados graúdos não conven-cionais.

6 - Tratamento prévio dos agregados graúdos lateríticos com imersão em água com cal, visando melhorar as proprieda

des físicas e mecânicas do agregado.

7 - Tratamento prévio dos agregados graúdos calcários com imersão em água com pozolana, objetivando melhorar as propriedades físicas e mecânicas do agregado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 01 - ABNT - Métodos e Instruções de Ensaio.
- 02 - American Association of State Highway and Transportation Officials - ASSHTO, Manual de Construção Rodoviária, Práticas e Métodos, traduzido por Bejamim B. Fraenvel, Agência Norte Americana para o Desenvolvimento Internacional - USAID, Rio de Janeiro, 1966.
- 03 - AZEVEDO, A.B. - A Laterita Acreana Utilizada como Agregado Graúdo no Concreto, Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON, São Paulo, 1983.
- 04 - BALLIE, M. e BARBERET, M. - Experimentation de Cloutage d' Enrobes Calcaires, Bull. Liaison Labo, P. et Ch., França, 1978.
- 05 - BRASÍLIO, F. de Assis - Dosagem dos concretos pelo método do American Concrete Institute: aplicações e comentários. São Paulo, ABCP, 1981, 14p.
- 06 - BALOGUM, L. A., and D. ADEPEGBA, - Effect ou varying sand conte t in laterized concrete, The International Journal of Cemente Composites and Lightweight Concrete, Vol., 4, Number 4 - 1982, pp. 235 - 240.
- 07 - BORBA, S.M. de C, - Estudo das Propriedades Químicas e Mineralógicas de Solos Vermelhos Tropicais do Norte e Nordeste do Brasil, Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 1981.

- 08 - BRASILEIRO, F. E. - Estudo Comparativo do Comportamento dos Concretos Betuminosos a Quente, Fabricados com Agregados Graúdos Convencionais e Não-Convencionais, Quando Utilizado o Ensaio de Estabilidade Marshall, tese de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1983.
- 09 - BAUER, L. A. F. - Materiais de Construção, Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, 1979.
- 10 - BUCHANAM, F. A., A Journey From Madras Through The Countries of Mysore Kanara and Malabar, Vol. 2. East Índia Company, London, 1807.
- 11 - BATHIA, H. S. and HAMMOND, A. A. - Durability and Strenght Properties of Laterite Aggregates of Ghana, Build. Rod. Res. Inst., Ghana, 1970.
- 12 - CHAGAS FILHO, M. B. - Concreções Lateríticas: Propriedades Básicas e sua Utilização em Vigas Isostáticas submetidas a Flexão Simples, tese de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, Campina Grande, 1986.
- 13 - CAGEPA - Companhia de Água e Esgoto da Paraíba, Análise da Água, 1988.
14. CALDEIRA, P. C. - Uso de Laterita para Concreto, II Simpósio sobre agregados, USP, 1987.
- 15 - COSTA, C. R. V. - Índice de Suporte California para Solos Lateríticos: Avaliação da Metodologia e Influência dos Efeitos das Energias Térmicas e Mecânicas, tese de

Mestrado, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1983.

- 16 - COSTA, C. R. V., e LUCENA, F.B. - Utilização de um Solo Laterítico Concrecionado na Fabricação de Concreto de Cimento Portland., XXII Reunião Anual de Pavimentação, 1987.
- 17 - CIMEPAR - Companhia Paraíba de Cimento Portland - Características químicas e físico-mecânicas do cimento POZ-32, julho - 1988.
- 18 - DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Métodos e Instruções de Ensaio. D.N.E.R., Rio de Janeiro, 1974.
- 19 - ELVERY, R. H., IBRAHIN, L. A. M. - Ultrasonic assessment of concrete strength at early ages. Mag. Comer. Res., 28, nº 97.
- 20 - FRANCISCO, W. - Estatística, Síntese da Teoria, Exercícios Propostos e Resolvidos, Atlas, São Paulo, 1982.
- 21 - FERMOR, L. L. - What is Laterite, Geol.Mag. Vols., 5, nº 8, 1911.
- 22 - GOMES, A. C. S. e PINTO, A. C. F. - Algumas Considerações sobre a possibilidade de utilização da laterita no Maranhão como agregado na composição dos concretos, U.S.P. IPR., 1982.

- 23 - GUERRA, A. F. - Dicionário Geológico-Geomorfológico, 2^a ed., IBGE, Rio de Janeiro, 1966.
- 24 - GUIMARÃES, J. E. P. - Calcários e Dolomitos no Brasil - Usos e Mercados, Associação Brasileira dos Produtores de Cal - ABCP, São Paulo, 1978.
- 25 - GITAHY, H. S. - Reação alcali-sílica - Mecanismo, diagnóstico e medidas preventivas. In: Simpósio sobre Normalização de Cimento, Concreto e Agregados, 2^a ed., São Paulo, 1982.
- 26 - GLANVILLE, W. H., COLLINS, A. R., e MATTHEUS, D. - The grading of aggregates and workability of concrete, London, Road Research tech., Paper nº 5, 1949.
- 27 - JONES, R., GATTFIELD, E. N. - Testing concrete by an ultrasonic pulse technique. DSIR Road Research Tech nº 34, London, H.M.S.O., 1955.
- 28 - JOACHIM, A.W.R. and KANDIAH S. - The Composition of Some Local Laterites Soil Concretions and Clays, Tropical Agriculturist, 1941.
- 29 - KUCZYNSKI, W. - Wpływ Kruszywma Grubego na Wytrzymałość Betonu (L'influence de l'emploi d'agrégats gros sur la résistance du béton). Archiwum Inzynierii hadowej, 4, No. 2, 1958.
- 30 - LUCENA, F. B. - A Natureza e Propriedades de Solos Vermelhos do Estado da Paraíba, tese M. SC., COPPE - UFRJ - Rio de Janeiro, 1976.

- 31 - LEGRAND, C. - Estudio reológico e mecánico del concreto fresco. Caracas, Assoc. Venezolana de Prod. de Cemento, 1975.
- 32 - LEA, F. A., and DANNEY N. - The deterioration of concrete in structures, J.Inst. C. E., No. 7, London, 1949.
- 33 - MADU, R. M. - The performance of lateritic stones as concrete aggregates and road Chippings - Vol. 13 - nº 78 1980 - 43 Bordas - Dunod.
- 34 - MACÊDO, J. A. G. - Estudo Comparativo das Características Físicas e Mecânicas de Agregados Graúdos Convencionais e Não-Convencionais Visando suas Aplicações em Concretos Betuminosos Usinado à Quente, tese de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1989.
- 35 - MALHOTRA, V. M. - Testing hardened concrete: Nondestructive Methods. Amer. Concr. Inst. Monography nº 9, Detroit, 1976.
- 36 - MALHOTRA, V. M., GARETE, G. G., - In-situ testing for concrete strenght. CANMET Mineral Sciences Laboratory Report MRP/MSL, Canada, Centre for Mineral and Energy techonology. Ottawa, May, 1979.
- 37 - MEININGER, R. C. - Aggregate abrasion resistence, strenght toughness and related properties, ASTM Sp. Tech. Publicn. 1978.

- 38 - MONTEVERDE, A e SALVADOR, D. - La Calidad de Los Calca reos em Las Construcciones Viales, VI Congreso Argen tino de Vialidade y Transito, Argentina, 1968.
- 39 - NEVILLE, A. - Propriedades do Concreto, PINI. São Paulo, 1981.
- 40 - NETTERBERG, F. - Concrete in Road Construction, National Institute for Transport and Road Research - NITRR, Bulletin 10, Petrória, South África, 1971.
- 41 - POMPEU NETO, B. B. - Um Estudo sobre as Propriedades de Resistência Mecânica de Concreto Laterítico, tese de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba, 1976.
- 42 - PETRUCCI, E. G. R. - Concreto de Cimento Portland, Edito ra Globo, Porto Alegre, 1980.
- 43 - PETRUCCI, E. G. R. - Materiais de Construção, Editora Globo, Porto Alegre, 1973.
- 44 - POWERS, T. C., and STEINOUR, H. H. - An Interpretation of published researches on the alkali - aggregate react ion, J. Amer. Concr. Inst. 1955.
- 45 - PIZARRO, R. A. - Materiais de Construção. Rio de Janeir o, Escola de Engenharia da URRJ, 1972.
- 46 - PERAZZO. N., e CHAGAS FILHO, M. B. - O Concreto Laterif tico e seu Emprego em Vigas Estruturais. Reunião Anual do IBRACON, Rio de Janeiro, 1988.

- 47 - QUEIROZ DE CARVALHO, J. B. - Laterite Aggregate used to fabricate concrete. Bulletin of the International Association of Engineering Geology - nº 30 - Paris, 1984.
- 48 - Road Research Laboratory - RRL, Bituminous Materials in Road Construction. Her Majesty's Stationery Office, London, 1962.
- 49 - SUDENE- Reconhecimento de Solos do Estado da Paraíba, levantamento exploratório; boletim técnico nº 15, Recife, 1972.
- 50 - SANTANA, H. - Notas de Aulas - Universidade Federal do Ceará, 1970.
- 51 - SANTANA, H, e GONTIJO, P. R. A. - Os Materiais Lateríticos na Pavimentação de Baixo Custo no Brasil Associação Brasileira de Pavimentação - ABPv, XXII Reunião Anual de Pavimentação, Alagoas. 1987.
- 52 - SANTOS, S. B e HOLADA, F. C. - Determinação das Propriedades Mecânicas de Concreto de Cimento Portland, quando da Utilização do Seixo Rolado da Região da Grande João Pessoa. 23^a Reunião Anual de Pavimentação, Florianópolis, SC, 1988.
- 53 - SANTOS, P. S. - Tecnologia das Argilas. Vol. II
- 54 - SILVA, M. S, - Materiais de Construção PINI, São Paulo, 1981.

- 55 - TANZI, J. - Utilisation des Calcaires de La Region pour Bétons Hydrauliques, Departament de l'Equipament des Alpes - Maritimes, París, 1978.
- 56 - TROXELL, G. H. and DAVIS, H. E. - Composition and properties of concrete, New York, Mc Graw Hill, 1956.
- 57 - VERÇOZA, E. J. - Materiais de Construção, Vol 1. ED. Sagra S.A. Porto Alegre, 1975.