



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL (PPGECA)
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ESTUDO COMPARATIVO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DOS
CONCRETOS PRODUZIDOS COM SEIXOS ROLADOS E BRITAS
GRANÍTICAS COMO AGREGADO GRAÚDO DA REGIÃO DE TERESINA-PI**

DANIEL CARVALHO DE BRITTO

CAMPINA GRANDE – PB

Fevereiro 2015

DANIEL CARVALHO DE BRITTO

**ESTUDO COMPARATIVO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DOS
CONCRETOS PRODUZIDOS COM SEIXOS ROLADOS E BRITAS
GRANÍTICAS COMO AGREGADO GRAÚDO DA REGIÃO DE TERESINA-PI**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção de título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Área de Concentração: Geotécnica

Orientador: Prof. Dr. Milton Bezerra das Chagas Filho

CAMPINA GRANDE – PB

Fevereiro 2015

FOLHA DE APROVAÇÃO

Autor: Daniel Carvalho de Britto

Título: ESTUDO COMPARATIVO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DOS CONCRETOS PRODUZIDOS COM SEIXOS ROLADOS E BRITAS GRANÍTICAS COMO AGREGADO GRAÚDO DA REGIÃO DE TERESINA-PI

Dissertação julgada e aprovada para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental, Área Geotécnica, em sua forma final e definitiva, conforme determina a Resolução nº 02/2008 CSPG do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande.

Aprovada em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. Milton Bezerra das Chagas Filho – Orientador

PPGECA – UAEC – CTRN – UFCG

Prof. Dr. Alexandre José Soares Miná - Examinador Externo

UFPB

Prof. Dr. Marcos Antônio de Souza Simplício- Examinador Interno

UFCG

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, aos meus pais, meus irmãos, ao meu sobrinho e afilhado, à minha esposa e ao meu querido e amado filho, Davi.

AGRADECIMENTOS

Ao longo dessa jornada de desafios, sacrifícios, aperfeiçoamento profissional e pessoal, tive ajuda de pessoas singulares e especiais e, também, de entidades que fazem jus aos meus sinceros votos de gratidão, são eles (as):

- ✓ Aos membros da Comissão Examinadora, Prof. Dr. Milton Bezerra das Chagas Filho- Orientador- UFCG, Prof. Dr. Alexandre José Soares Miná- Examinador Externo- UFPB e Prof. Dr. Marcos Antônio de Souza Simplício- Examinador Interno- UFCG, aos quais agradeço pelos dispendiosos aportes, fundamentais ao meu aperfeiçoamento profissional;
- ✓ À Deus que me guiou e me protegeu durante as inúmeras viagens, dando-me forças, proteção e saúde;
- ✓ Aos meus pais, Fernando José Pereira Carvalho de Britto e Maria da Glória Cunha Carvalho de Britto, que me ensinaram, através do exemplo, o melhor e mais transparente conceito de probidade, honestidade, amizade, paciência e, principalmente, amor paterno e materno. A vocês, o meu agradecimento é eterno e verdadeiro;
- ✓ Aos meus irmãos, Maria Fernanda Amália Carvalho de Britto e Leonardo Carvalho de Britto, pela presença constante em todas as decisões e pelas palavras de apoio, amizade e irmandade, seja nas horas fáceis e/ou difíceis. Ao meu sobrinho e afilhado João Victor B. L. Carvalho de Britto pelo carinho e pelo exemplo de força e compreensão;
- ✓ À minha esposa, amiga e companheira, Marina Freire Miranda Britto, pela dedicação, paciência, companheirismo, motivação, crença constante e amor;
- ✓ Ao meu amado filho e, principal motivador, Davi Miranda Carvalho de Britto, que mesmo sem saber, através de olhares, abraços, sorrisos e beijos gratuitos, me deu forças e determinação para concluir esta árdua fase de evolução profissional;
- ✓ Ao meu orientador, professor e amigo, Prof. Dr. Milton Bezerra das Chagas Filho o qual agradeço pela paciência, confiança, troca de conhecimento e credibilidade. Ao senhor, minha gratidão e respeito;
- ✓ À Leane Priscilla Bonfim Sales, pelo apoio à realização dos ensaios e troca de conhecimento;
- ✓ Ao Cap Fabiano Queiroz de Souza que me incentivou a ingressar no curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental e que ao longo desse tempo de estudo me apoiou de infinitas maneiras;

- ✓ Ao amigo, Cel Ivan Carlos Soares de Oliveira pelo incentivo e apoio à conclusão do trabalho;
- ✓ Aos amigos Murilo Mendes, Willian Soares, Breno Tavares, João Borges e Francisco Uchoa pela ajuda nos momentos em que mais precisei e expressiva amizade;
- ✓ Ao 3º Batalhão de Engenharia de Construção (3º BEC) e à empresa THEMIX, em especial aos meus amigos Carlos Eduardo Ferreira e Homero;
- ✓ Aos laboratoristas e amigos, Edson Meira, Ivanildo Texeira, Waldemar, Jonailso e Cosmo que, com satisfação e grande conhecimento na área, me ajudaram incansáveis vezes.
- ✓ Ao laboratorista Miqueias do Laboratório de Metalografia e Ensaio Mecânicos do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Piauí – UFPI pela disponibilidade e ajuda.

“Nem eu, nem você, nem ninguém, vai bater tão duro quanto à vida. Mas não se trata de bater duro, se trata do quanto você aguenta apanhar e seguir em frente, do quanto aguentar apanhar e continuar na luta. É ASSIM QUE SE CONSEGUE VENCER!” (Sylvester Stallone)

LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC	Acre
AL	Alagoas
AM	Amapá
ANEPAC	Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil
AP	Amapá
ASTM	American Society for Testing Materials
CAD	Concreto de Alto Desempenho
CAGR	Compound Annual Growth Rate
CE	Ceará
COOPERCON	Cooperativa da Construção Civil
BA	Bahia
BEC	Batalhão de Engenharia de Construção
DF	Distrito Federal
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
E_c	Módulo de Elasticidade
ES	Espírito Santo
f_{cc}	Resistência à compressão do concreto
$f_{ct,SP}$	Resistência à tração indireta por compressão diametral
GO	Goiás
hab	Habitante
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração
MA	Maranhão
MG	Minas Gerais
MME	Ministério das Minas e Energia

MS	Mato Grosso do Sul
PA	Pará
PB	Paraíba
PAIC	Pesquisa Anual da Indústria da Construção
PI	Piauí
PIB	Produto Interno Bruto
PE	Pernambuco
PR	Paraná
RJ	Rio de Janeiro
RN	Rio Grande do Norte
RO	Rondônia
RR	Roraima
RS	Rio Grande do Sul
SC	Santa Catarina
SP	São Paulo
SE	Sergipe
SINDUSCON	Sindicato da Indústria da Construção Civil
TO	Tocantins
ton	Tonelada
TAH	Taxa de Arrecadação por Hectare
UFPI	Universidade Federal do Piauí

RESUMO

Decorrente de um crescimento do setor da construção civil na cidade de Teresina, nos últimos 15 anos, promovido, principalmente, pelo crescimento do mercado imobiliário da capital piauiense, houve um aumento da demanda por matéria prima da construção civil, ocasionando um crescimento na extração, beneficiamento e produção de brita granítica e seixo rolado, para serem utilizados como agregados graúdos na fabricação de concreto estrutural. Na macro-região de Teresina tanto a brita granítica quanto o seixo rolado são abundantes. No entanto, por uma questão cultural, associada ao reduzido custo e pouca, ou quase nenhuma tecnologia de beneficiamento e, também, a informalidade da atividade extrativista, o seixo rolado tem se consolidado no mercado. Nesta pesquisa foram estudadas as propriedades físicas e mecânicas do concreto, produzido com seixo rolado explorado na periferia da capital e do concreto produzido com brita granítica provenientes do município de Monsenhor Gil – PI. Inicialmente foi produzido um traço piloto 1: 5,0 com abatimento de 60 ± 10 mm e em seguida mais dois traços de 1: 3,5 e 1: 5,0, para determinar o teor de argamassa ótimo. Foram moldados corpos-de-prova, para os dois tipos de agregados, e ensaiados à resistência à compressão simples, aos 3, 7, 14, 21 e 28 dias. De posse dos resultados, foi produzido o diagrama de dosagem proposto pelo Método IPT/EPUSP, onde se correlacionou a resistência à compressão, com o fator água/cimento e o consumo de cimento em kg/m^3 , baseando-se nas Leis de comportamento de Lyse, Abrams e Molinare. Em seguida foram moldados corpos-de-prova, já com o traço definitivo para cada tipo de agregados e rompidos à compressão simples, à tração por compressão diametral e medido o módulo de elasticidade aos 3, 7 e 28 dias. O concreto produzido com brita de rocha granítica apresentou melhor desempenho na resistência à compressão simples, da ordem de 47,0 %, na tração por compressão diametral, em torno de 75,0 % e no módulo de elasticidade, um desempenho superior a 55,0 % se comparado com o concreto produzido com seixo rolado. No entanto, o concreto fabricado com seixo rolado apresentou melhor trabalhabilidade e menor fator a/c.

Palavras chave: *seixo rolado, brita de rocha granítica, resistência à compressão, resistência à tração.*

ABSTRACT

Due to growth in the construction sector in the city of Teresina, the last 15 years, promoted, mainly, by the growth of the real estate market capital of Piauí, there was an increase in demand for raw material construction, resulting in an increase in the extraction, processing and manufacturing crushed rocks and river gravel, to be used as coarse aggregate in the manufacture of structural concrete. In Teresina macro-region both granite gravel as the pebble rolled abound. However, for cultural reasons, associated with reduced cost and little, or no processing technology and also the informality of mining activity, the boulder has been consolidated in the market. In this research were studied the physical and mechanical properties of concrete produced with boulder explored the outskirts of the capital and the concrete produced with granite gravel nearby the city of Monsenhor Gil - PI. Initially a pilot trace is produced 1: 5.0 to slump 60 ± 10 mm and then two more mixtare of 1: 3.5 to 1: 5.0, to determine the optimal mortar content. Specimens piece were cast for the two types of aggregates, and made compression test at 3, 7, 14, 21 and 28 days. With the results, was produced mixture diagram proposed by IPT / EPUSP where correlated with compressive strength, with the water / cement ratio and cement consumption in kg / m^3 , based on behaviora Laws Lyse, Abrams and Molinare. After were then molded specimens bodies of the test piece, now the final mixture for each type of aggregate and broken by simple compression, traction by diametrical compression and measured the elastic modulus at 3, 7 and 28 days. The concrete produced with crushed granitie rock performed better in compressive strength, on the order of 47.0% in traction for diametrical compression, around 75.0%, and modulus of elasticity, superior performance to 55.0 % compared to the concrete produced with river gravel. However, the concrete manufactured river gravel taken showed better workability and lower factor water / cement.

Keywords: *river gravel, crushed rock, compressive strength, traction strength.*

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	19
1. INTRODUÇÃO	19
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	19
1.2 JUSTIFICATIVA	25
1.3 OBJETIVOS	28
1.3.1 OBJETIVO GERAL	28
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	29
1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	29
CAPÍTULO II	30
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	30
2.1 ESTUDO SOBRE O TEMA	30
2.2 CONCRETO	33
2.2.1 CIMENTO PORTLAND	33
2.2.2 AGREGADO	35
2.3 SEIXO ROLADO	37
2.3.1 MÉTODO DE EXTRAÇÃO	40
2.4 PROPRIEDADES DO CONCRETO	42
2.4.1 TRABALHABILIDADE	42
2.4.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES	43
2.4.3 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO	45
2.4.4 MÓDULO DE ELASTICIDADE	48
2.5 DOSAGEM	51
2.6 RESUMO DO CAPÍTULO	53
CAPÍTULO III	55
3. MATERIAIS E MÉTODOS	55
3.1 MATERIAIS	55
3.2 MÉTODOS	57
3.2.1 PLANEJAMENTO DA PESQUISA	59
3.2.2 PARÂMETROS DE DOSAGEM	61
3.3 ENSAIOS	63
3.3.1 ENSAIOS NO CONCRETO FRESCO	63

3.3.2	ENSAIOS NO CONCRETO ENDURECIDO	64
CAPITULO IV.....		68
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	68
4.1	CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS.....	68
4.1.1	AGREGADO MIÚDO.....	68
4.1.2	AGREGADO GRAÚDO.....	70
4.2	CARACTERIZAÇÃO DO CIMENTO.....	78
4.3	DOSAGEM DO CONCRETO.....	78
4.4	ENSAIOS NO CONCRETO.....	85
4.4.1	CONCRETO NO ESTADO FRESCO	85
4.4.2	CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO.....	86
CAPITULO V.....		93
5.	CONCLUSÃO.....	93
5.1	COM RELAÇÃO À TRABALHABILIDADE DO CONCRETO	93
5.2	COM RELAÇÃO ÀS RESISTÊNCIAS.....	93
5.2.1	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES	93
5.2.2	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL.....	93
5.3	COM RELAÇÃO AO MÓDULO DE ELASTICIDADE	93
5.4	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	94
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		95

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Variação relativa do estoque de mão de obra indústria Extrativa Mineral.....	20
Figura 1.2 – Evolução da construção civil e participação do setor na economia.....	21
Figura 1.3 – Participação regional do consumo aparente de cimento.....	23
Figura 1.4 – Produção de Agregados em milhões de toneladas.....	24
Figura 1-5 – Fluxograma da cadeia de agregados.	25
Figura 1.6 – Preço da brita nº01 ou 19mm – sem frete (m ³) Agosto2012.....	26
Figura 1.7 – Perfil geológico, esquemático, “barreiro de massará “, zona sul de Teresina-PI.....	27
Figura 2.1 – Mapa Geológico do Piauí, localização da Formação Piauí e da Formação Pedra de Fogo (Fonte: DNPM-PI).....	38
Figura 2.2 – Detalhe de uma ocorrência de seixo em afloramento de “massará” zona sul de Teresina-PI.....	39
Figura 2.3 – Detalhe um centro de lavagem e peneiramento do massará/seixo em Teresina – PI.....	40
Figura 2.4 – Visão dos “lavadores” e esquema de separação granulométrica.....	41
Figura 2.5 – Visão lateral dos “lavadores” de seixo e esquema de separação granulométrica.....	41
Figura 2.6 – Ilustração de ruptura à compressão simples de concretos de baixa e média resistência $f_{ck} \leq 40\text{MPa}$ (Fonte: Fusco,2008).....	45
Figura 2.7 – Distribuição de tensões nos corpos-de-prova cilíndricos submetidos ao ensaio de tração por compressão diametral.....	46
Figura 2.8 – Representação esquemática do comportamento tensão x deformação do concreto sob compressão uniaxial.....	51
Figura 2.9 – Ilustração de um diagrama de dosagem.....	52
Figura 3.1 – Peneiramento do agregado miúdo.....	56
Figura 3.2 – Ponto de coleta do seixo rolado, localizado em Teresina – PI.....	56
Figura 3.3 – Britador e pedreira da empresa THEMIX Indústria de brita e construção ltda, localizado no município de Monsenhor Gil – PI.....	57
Figura 3.4 – Coleta e transporte de material pétreo (brita) da empresa THEMIX Indústria de brita e construção LTDA.....	57

Figura 3.5 – Fluxograma de atividades.....	57
Figura 3.6 – Arranjo das materiais para determinação do teor de argamassa do traço experimental 1:5,0 com seixo rolado e com brita granítica.....	58
Figura 3.7 – Adensamento mecânico com uso de vibrador de imersão.....	61
Figura 3.8 – Corpos-de-prova cobertos com papel-filme.....	63
Figura 3.9 – Ensaio de abatimento de tronco de cone realizado no laboratório de solos e concreto do 3º BEC.....	63
Figura 3.10 – Corpos-de-prova acondicionados para transporte.....	64
Figura 3.11 – Ensaio de resistência à compressão.....	65
Figura 3.12 – Ensaio de resistência à tração por compressão diametral realizado no laboratório da BM Engenharia.....	66
Figura 3.13 – Ensaio de módulo de elasticidade realizado no Laboratório de Metalografia e Ensaio Mecânicos do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Piauí – UFPI.....	67
Figura 3.14 – Extensômetro Eletrônico Emic modelo EEDA.....	67
Figura 4.1 – Ilustra a curva granulométrica do agregado miúdo.....	69
Figura 4.2 – Ilustra a curva granulométrica do agregado graúdo (seixo nº01).....	70
Figura 4.3 – Ilustra a curva granulométrica do agregado graúdo (seixo nº02).....	71
Figura 4.4 – Ilustra a curva granulométrica do agregado graúdo (brita nº01).....	73
Figura 4.5 – Ilustra a curva granulométrica do agregado graúdo (brita nº02).....	74
Figura 4.6 – Resistência ao esmagamento dos agregados graúdos utilizados na pesquisa.....	75
Figura 4.7 – Valores encontrados para Abrasão Los Angeles.....	76
Figura 4.8 – Absorção dos agregados graúdos (brita e seixo).....	77
Figura 4.9 – Determinação da mistura ideal dos agregados graúdos.....	78
Figura 4.10 – Comportamento da resistência à compressão dos traços experimentais nas diferentes idades de ruptura.....	83
Figuras 4.11 – Ilustração do Diagrama de dosagem (brita granítica).....	84
Figuras 4.12 – Ilustração do Diagrama de dosagem (seixo rolado).....	84
Figura 4.13– Ensaio de abatimento de tronco de cone (Slump Test).....	86
Figura 4.14 – Capeamento dos corpos de prova.....	87
Figura 4.15 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão.....	88

Figura 4.16 – Resultados dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral.....	89
Figura 4.17 – Identificação de grãos dos agregados graúdo (seixo) fragmentados após o ensaio.....	89
Figura 4.18 – Identificação de alguns vazios nos corpos-de-prova moldados com seixo rolado e rompidos a 3 dias.....	90
Figura 4.19 – Resultados dos ensaios de módulo de elasticidade.....	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Pessoal ocupado e valor corrente das incorporações, obras e/ou serviços da indústria da construção, segundo as Grandes Regiões - 2011 -2012.....	19
Tabela 2.1 – Indicadores de limite dos índices de trabalhabilidade.....	42
Tabela 2.2 – Relação entre resistência à compressão, à flexão e à tração.....	47
Tabela 3.1 – Distribuição quantidade de corpos de prova.....	59
Tabela 4.1: Distribuição granulométrica do agregado miúdo.....	68
Tabela 4.2: Propriedades físicas do agregado miúdo.....	69
Tabela 4.3: Distribuição granulométrica do seixo nº01.....	70
Tabela 4.4: Distribuição granulométrica do seixo nº02.....	71
Tabela 4.5: Propriedades físicas do seixo rolado, utilizado na base do estudo.....	72
Tabela 4.6: Distribuição granulométrica brita granítica nº01.....	73
Tabela 4.7: Distribuição granulométrica brita granítica nº02.....	73
Tabela 4.8: Propriedades físicas da brita granítica.....	74
Tabela 4.9 – Determinação da mistura ideal dos agregados graúdos.....	78
Tabela 4.10 – Determinação da mistura ideal da brita granítica.....	79
Tabela 4.11 – Determinação da mistura ideal do seixo rolado.....	79
Tabela 4.12 – Resumo das características para o estudo de dosagem.....	80
Tabela 4.13 – Determinação do teor de argamassa ideal para concreto produzido com seixo rolado.....	81
Tabela 4.14 – Determinação do teor de argamassa ideal para concreto produzido com brita granítica.....	81
Tabela 4.15 – Resistência à compressão simples dos corpos-de-prova moldados com brita granítica.....	82
Tabela 4.16 – Resistência à compressão simples dos corpos-de-prova moldados com seixo rolado.....	82
Tabela 4.17 - Traços definitivos e fator a/c obtidos no diagrama de dosagem.....	83
Tabela 4.18 – Valores para o ensaio de abatimento de tronco de cone (Slump Test).....	85
Tabela 4.19 – Valores das resistências à compressão simples (Traços Definitivos).....	88
Tabela 4.20 – Valores das resistências à tração por compressão diametral.....	88
Tabela 4.21 – Resultados dos ensaios de módulo de elasticidade – Ec.....	90

Tabela 4.22 – Resultados dos ensaios de módulo de elasticidade obtidos através das formulas teóricas da ABNT – E_c	91
--	----

CAPÍTULO I

1. Introdução

1.1 Considerações Iniciais

Assim como em outros países em desenvolvimento, o Brasil não possui política pública consistente para o seu enorme potencial mineral, relegando o setor de agregados a uma posição mais secundária da mineração, mesmo os materiais para a construção civil, em algumas regiões metropolitanas, terem peso significativo na economia regional¹.

De acordo com a Pesquisa Anual da Indústria da Construção - PAIC, 2012, a Região Sul e a Região Nordeste foram as que mais ascenderam de 2011 para 2012, no valor das incorporações, obras e serviços da construção: 0,7% na Região Sul e 0,6% na Região Nordeste², como demonstrado na Tabela 1.1.

Tabela 1.1 - Pessoal ocupado e valor corrente das incorporações, obras e/ou serviços da indústria da construção, Regiões-BR (2011 -2012).
(Fonte: IBGE, PAIC, 2011-2012)

Grandes Regiões	Pessoal Ocupado				Valor das incorporações, obras e/ou serviços da indústria da construção.			
	2011		2012		Valor (1.000R\$)	Participação Percentual (%)	Valor (1.000R\$)	Participação Percentual (%)
	Total em31/12	Participação Percentual (%)	Total em31/12	Participação Percentual (%)				
Brasil	2 659 074	100,0	2 814 268	100,0	289 694 542	100,0	336 591 352	100,0
Norte	108 445	4,1	113 007	4,0	9 040 198	3,1	10 591 102	3,1
Nordeste	529 601	19,9	545 394	19,4	39 287 910	13,6	47 886 269	14,2
Sudeste	1 463 466	55,0	1 551 982	55,1	183 369 651	63,3	208 644 745	62,0
Sul	353 474	13,3	391 423	13,9	36 427 444	12,6	44 691 792	13,3
Centro-Oeste	204 089	7,7	212 462	7,6	21 569 339	7,4	24 777 444	7,4

¹ CORREIA FILHO, F. L. Projeto Avaliação de Depósitos Minerais para Construção Civil PI/MA. Teresina: CPRM, 1997. 2 v.

² IBGE - Pesquisa Anual da Indústria da Construção, v.22, 2012

O Estado do Piauí integra a região Nordeste do Brasil, com uma área de 251.529,2 km², ocupa 16,2% da área nordestina e 2,95% da área nacional. Limita-se ao norte com o Oceano Atlântico, ao sul com os Estados da Bahia e Tocantins, a leste com os Estados do Ceará e Pernambuco e a oeste com o Estado do Maranhão. É o terceiro maior Estado do Nordeste, perdendo em área apenas para a Bahia e o Maranhão³.

Segundo DNPM, 2012, em uma análise geográfica, percebe-se que 14 estados e o Distrito Federal-DF cresceram mais do que a média do Brasil (10,9%). Tal expansão se deu principalmente em alguns estados das regiões Norte (Amapá, Rondônia, Roraima, Pará, Acre e Amazonas) e Nordeste (Rio Grande do Norte, Alagoas, Maranhão, Ceará e Piauí), que estão expandindo suas áreas de produção mineral e de pesquisa geológica, figura 1-1⁴.

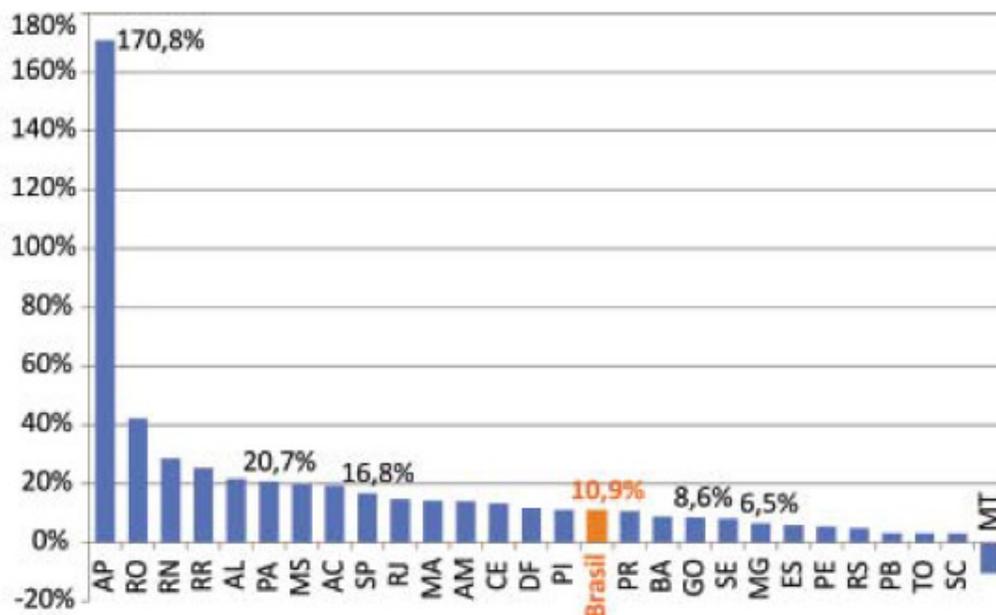


Figura 1.1 – Variação relativa do estoque de mão de obra da indústria Extrativa Mineral. (Fonte: DNPM, 2012)⁴

³Minérios do Piauí – Diagnóstico e Diretrizes para o Setor Mineral do Estado do Piauí (Convênio nº 004/2004 MME).

⁴DNPM – Sumário Mineral 2012/ Ministério de Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral, 2012.v32.

Neste contexto está o município de Teresina que possui extensão territorial de 1.392 km² e está localizado no centro-norte piauiense a 366 quilômetros do litoral, sendo, portanto, a única capital da região Nordeste que não está às margens do oceano Atlântico. Teresina é uma cidade planejada e está limitado com o município maranhense de Timon/MA, cuja única barreira natural que os separa é o rio Parnaíba. A cidade representa cerca de 40% da economia do estado. Em 2009, o produto interno bruto (PIB) do município foi de R\$8.700.461.000⁵.

A construção civil brasileira teve, em 2012, desempenho um pouco melhor do que a economia como um todo, apresentando crescimento de 1,4% (figura 1.2)⁶. O setor da construção civil da capital piauiense insere-se neste conjunto de crescimento por ser um segmento em rápida expansão, motivada pela verticalização da cidade nos últimos 15 anos. Segundo o SINDUSCON-PI - Sindicato da Indústria da Construção Civil do Piauí, a venda de imóveis em todo o estado tem crescido significativamente. Contudo, os investimentos no setor vão além do segmento imobiliário.

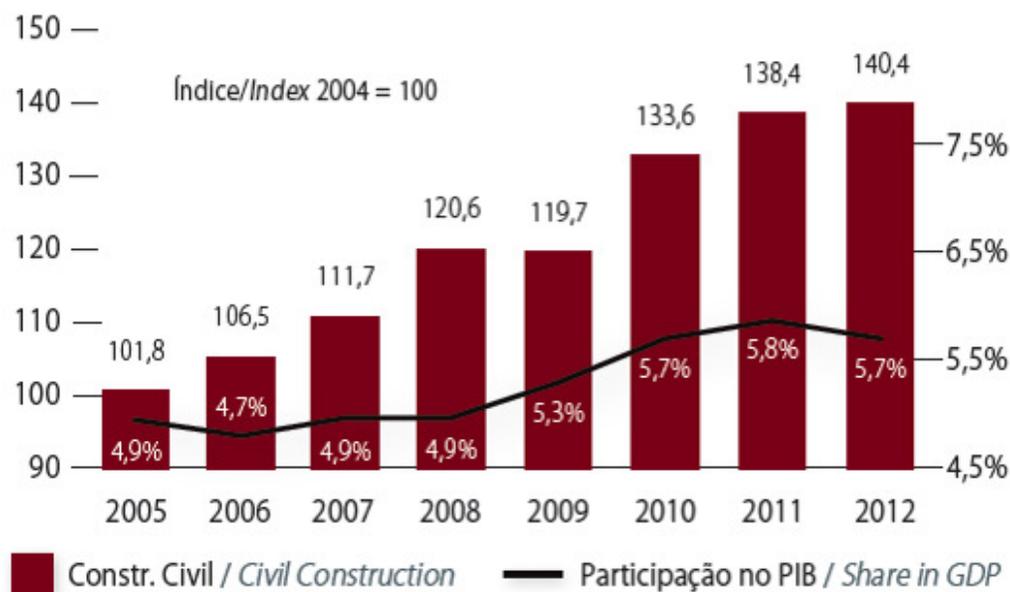


Figura 1.2 – Evolução da construção civil e participação do setor na economia.
(Fonte: Source/IBGE)⁷

⁵ IBGE – Pesquisa Anual da Indústria da Construção, v.22, 2012

⁶ SNIC – Sindicato Nacional da Indústria do Cimento, relatório anual, 38p., 2012.

⁷ SNIC – Sindicato Nacional da Indústria do Cimento, relatório anual, 38p., 2012.

Em dezembro de 2010, o poder municipal conseguiu a liberação de cerca de R\$ 150 milhões oriundos do Ministério das Cidades para obras de saneamento, urbanização, estradas, infraestrutura e saúde, gerando assim, conforme pesquisa de campo, realizada em visita às principais centrais de concreto (concreteiras) da cidade de Teresina, uma demanda comercial de consumo de concreto na região metropolitana, em média, de 15.000 m³/mês.

O principal produto manufaturado hoje no mundo é o concreto, estima-se que o consumo atual de concreto no mundo seja da ordem de 19 bilhões de toneladas ao ano⁸. Considerando que o concreto é um material composto e suas propriedades dependem das proporções e propriedades dos materiais constituintes, bem como da interação entre os mesmos, pode-se considerar que este é formado por três fases distintas e que diferem no seu comportamento, sendo elas: argamassa, interface agregado graúdo/pasta e agregado graúdo.

De acordo com IBRAM, 2012, os agregados – basicamente areia (agregado miúdo) e pedra britada (agregado graúdo) – são as substâncias minerais mais consumidas no mundo. A produção de agregados no Brasil tem crescido significativamente onde, em 14 anos, a demanda por agregado na construção civil partiu de 460 milhões de toneladas em 1997 para 673 milhões de toneladas em 2011, crescimento correspondente a 46,2%, ou taxa composta de crescimento anual (CAGR – Compound Annual Growth Rate) de 2,8% a.a. Já se tomando o período de 2001 a 2011, o crescimento da demanda foi de 92,3% correspondente a um CAGR de 6,8% a.a., o que representa um aumento no consumo notável⁹. O indicador BRASIL para o consumo de agregados em 2011 foi de 3,50 t/habitante. O consumo per capita brasileiro evoluiu de 3,3 toneladas de agregados por habitante/ano em 2010 para 3,5 ton/hab. em 2011, ou seja, um incremento de 6%.

⁸ MEHTA e MONTEIRO, Concreto. Microestrutura, Propriedades e Materiais/ Provindar K. Metha & Paulo J.M. Monteiro. 2. ed. São Paulo, IBRACON, 2014.

⁹ IBRAM - Informações e Análise da Economia Mineral Brasileira – 7ª Edição, 2012).

Em parâmetros regionais, nos últimos cinco anos, como demonstrado na figura 1.3, o Nordeste vem apresentando um aumento no consumo de cimento e boa representatividade no universo nacional, colocando-se em 2º(segundo) lugar, o que justifica, conseqüentemente, o aumento na demanda por consumo de agregados para construção civil. Para o cimento, o consumo aparente, apesar do crescimento de 6,7% em 2012, continuou com a desaceleração apontada no ano anterior. Ao todo, foram 69,3 milhões de toneladas consumidas em todo o território nacional. Isso significou um consumo per capita de 353 kg/hab/ano¹⁰.

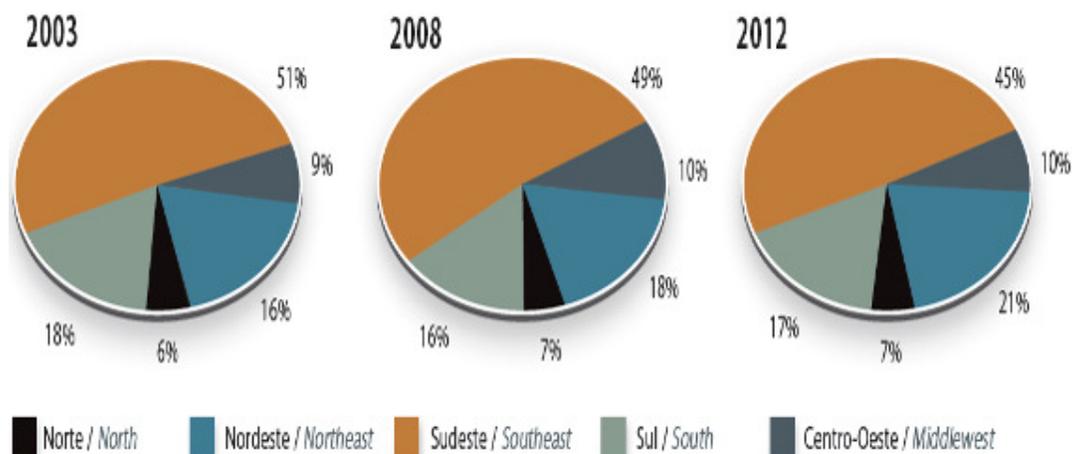


Figura 1.3 – Participação regional do consumo aparente de cimento¹⁰.

Segundo IBRAN, 2012, com base na correlação da evolução da demanda por cimento e do Produto Interno Bruto (PIB) nacional, projetou-se o crescimento no período 2012 a 2022, partindo-se de uma estimativa de demanda de 696 milhões de toneladas em 2012 e atingindo-se o significativo valor de 1,12 bilhão de toneladas em 10 anos, conforme Figura 1-4¹¹.

¹⁰ SNIC – Sindicato Nacional da Indústria do Cimento, relatório anual, 38p., 2012.

¹¹ IBRAM - Informações e Análise da Economia Mineral Brasileira – 7ª Edição, 2012).

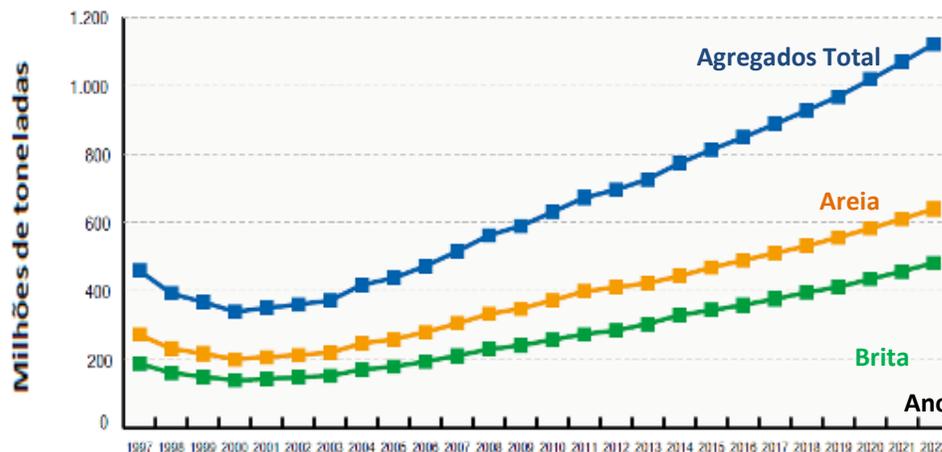


Figura 1-4 Produção de Agregados em milhões de toneladas.
(Fonte: Anepac-2012)¹¹

Brita e cascalho são materiais granulares produzidos pela indústria extrativista mineral que se caracterizam por apresentar dimensões e propriedades físicas, químicas e mineralógicas adequadas para uso como agregado graúdo na construção civil. Ambos são obtidos da exploração de jazidas minerais, sendo que a brita passa por uma etapa a mais de tratamento mineral, a de britagem, antes de sua comercialização. São provenientes de rochas cristalinas sendo que, para o cascalho, a desagregação se dá por processos naturais¹².

Em 2010, nenhum estado brasileiro decresceu sua produção/consumo relativamente ao ano anterior. Os estados de São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Paraná são os maiores produtores e consumidores de rocha granítica. Por outro lado, a região Nordeste foi a que mais elevou sua produção total nos últimos 5 (cinco) anos e com isso, crescimentos superiores à média nacional de 55% nos últimos 5 (cinco) anos¹³.

¹² DNPM – Sumário Mineral 2012/ Ministério de Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral, 2012.v.32.

¹³ DNPM – DNPM – Sumário Mineral 2011/ Ministério de Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral, 2012. 128p. v31.

1.2 Justificativa

Uma das maiores motivações para a elaboração do presente estudo foi a pequena, e quase escassa, literatura que aborde a comparação da fabricação do concreto utilizando, como agregado graúdo, a brita e o seixo rolado extraído das proximidades e da cidade de Teresina, respectivamente. Contudo, é possível encontrar estudos correlatos, principalmente da região Norte do país, que servirão de subsídios literários para elaboração desse trabalho.

Segundo a ABDI¹⁴, em 2012 a produção de agregados ou é usada pelas próprias mineradoras na fabricação de concreto ou é vendida pelas mineradoras principalmente para revendedoras de grande porte, concreteiras, produtoras de pré-fabricados, pavimentadoras, e para produtoras de argamassas. Os outros elos da cadeia são as vendas de pequeno porte, que abastecem as pequenas obras, e as construtoras que abastecem este mercado. A cadeia produtiva dos agregados pode ser observada na figura 1-5:

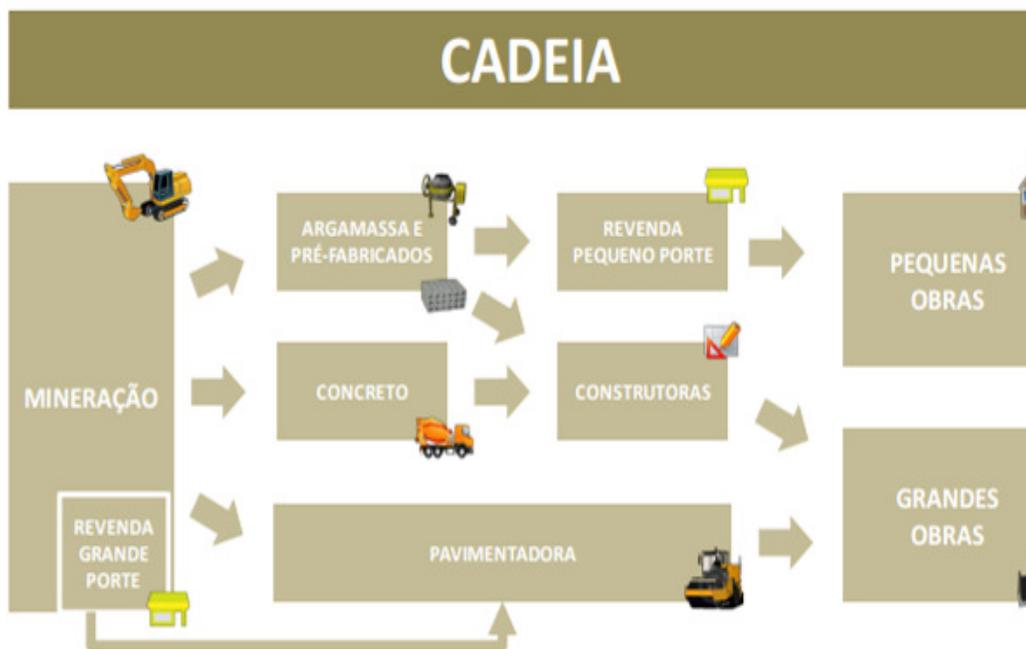


Figura 1-5 Fluxograma da cadeia de agregados.
(Fonte: Análise Inventta)

¹⁴ABDI – Análise da Cadeia Produtiva de Agregados Minerais para Obras de Construção Civil e de Infraestrutura, Relatório Técnico, p.28, 2012.

O consumo de brita e cascalho, segundo o site da Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil (ANEPAC), acesso em 29/01/2015 está dividido em 32% para concreteiras, 24% para construtoras, 14% para pré-fabricados, 10% para revendedores/lojas, 9% para pavimentadoras/usinas de asfalto, 7% para órgãos públicos e 4% para outros. (DNPM, 2013)¹⁵.

De acordo com o 15º Congresso Brasileiro de Mineração realizado na cidade de Belo Horizonte em setembro de 2013, fonte ANEPAC, a produção mineral de agregados, em volume, representa praticamente o dobro da produção de minério de ferro. O Piauí, com um consumo mensal de 6.703.706 ton/ano, ocupou o 20º lugar, dentre as capitais brasileiras, no tocante ao consumo de agregado por ano, com uma representatividade de 1,06%.

Diferentemente de alguns produtos da indústria mineral, os preços dos agregados para construção civil apresentam a peculiaridade de serem determinados localmente, ou seja, em cada um dos micromercados regionalizados, isso se dá ao baixo valor unitário desses produtos, *vis a vis* com as despesas do seu transporte e beneficiamento. A figura 1-6 demonstra uma distribuição dos preços da pedra britada por capital brasileira. (ABDI, 2012. p.14)¹⁶

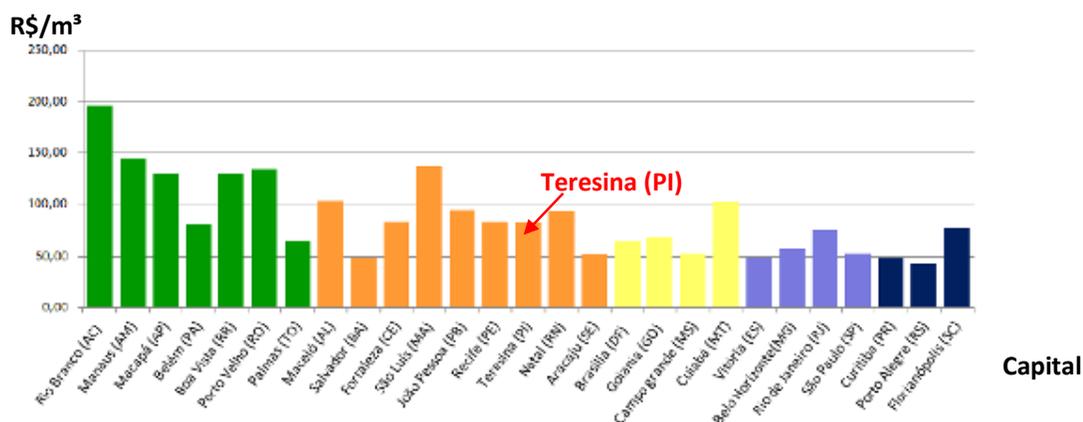
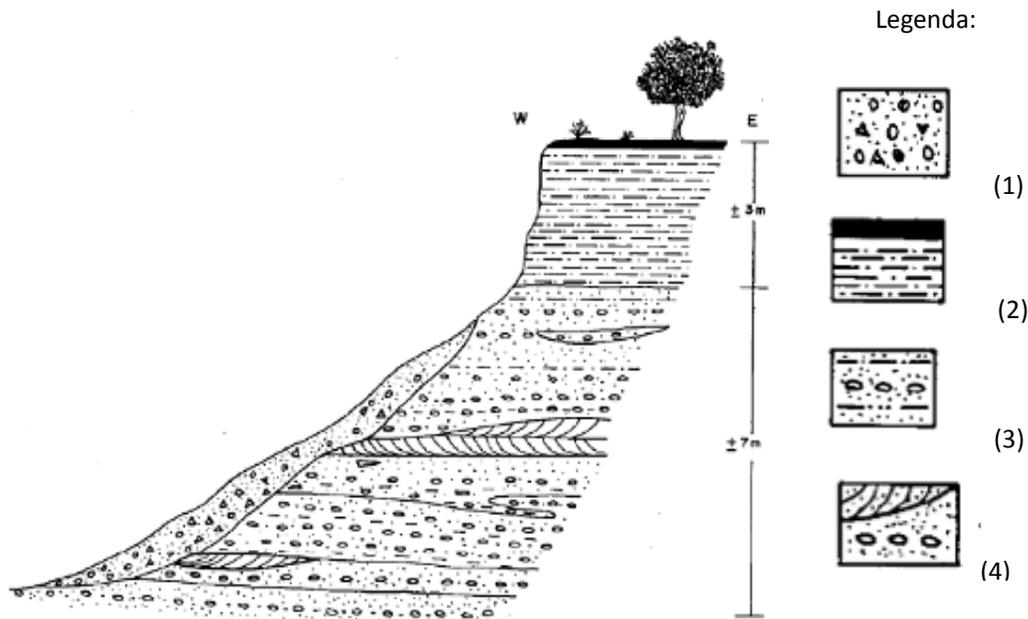


Figura 1.6 – Preço da brita nº01 ou 19mm – sem frete (m³) Agosto 2012.
(Fonte: Adaptado de SINAPI. Elaboração Inventta)

¹⁵ DNPM – Sumário Mineral 2013/ Ministério de Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral, 2013.

¹⁶ ABDI – Análise da Cadeia Produtiva de Agregados Minerais para Obras de Construção Civil e de Infraestrutura, Relatório Técnico, p.14, 2012.

Na cidade de Teresina – PI, o conjunto de rochas da Bacia Sedimentar do Rio Parnaíba, de maior expressão geográfica, é a Formação de Pedra de Fogo e possui um largo emprego na construção civil, pois sua alteração e desagregação formam a maioria dos depósitos secundários, denominados “formações superficiais”, representadas por areias, argilas, barro, massará e seixos (CORREIA FILHO, 1997, p.7)¹⁷.



(1): Material coluvionar, constituído de matriz areno-argilosa, ligante, contendo seixo de sílica e fragmentos;

(2): Sedimento areno-argiloso, tipo “barro”, com matéria orgânica no topo;

(3): “Massará” com matriz areno-argilosa, ligante, contendo seixo, lentees e níveis conglomeráticos;

(4): “Massará” com matriz areno-argilosa, ligante, contendo seixo, lentees e níveis conglomeráticos, “pedaços” argila, exibindo, ainda estratificação cruzada e estrutura do tipo “LIESEGANG RINGS”

Figura 1.7 – Perfil geológico, esquemático, “barreiro de massará”, zona sul de Teresina-PI.

(Fonte: Correia Filho, 1997)

O seixo rolado é o agregado graúdo mais acessível economicamente devido a sua grande oferta e inferior custo de extração e beneficiamento se comparado ao da pedra britada proveniente de rocha granítica, explorada em municípios vizinhos à capital do Piauí. Consequentemente, o agregado graúdo mais utilizado para produção de concreto, em função do menor preço, maior oferta e, principalmente, pelo critério cultural adquirido ao longo do tempo, é o seixo rolado.

¹⁷ CORREIA FILHO, F. L. Projeto Avaliação de Depósitos Minerais para Construção Civil PI/MA. Teresina: CPRM, 1997. 2 v.

A grande utilização do seixo rolado como fonte alternativa de agregado graúdo para produção de concreto é comprovada quando se observa que, através da visita em campo às principais concreteiras da cidade de Teresina (POLIMIX, REDIMIX e TECMIX), responsáveis pela execução de 80% da demanda mensal de concreto (12.000 m³/mês), verifica-se que 60% de todo concreto produzido utiliza, como agregado graúdo, o seixo rolado na sua composição. Dos 40% restantes que utilizam as rochas graníticas britadas como agregado graúdo, destes, 100% são de empresas de outros estados do país atraídas pelo grande crescimento do setor da construção civil nos últimos anos.

Até a década de 80, o principal critério de qualidade estudado nos concretos era a resistência à compressão¹⁸. Entretanto, devido uma melhor compreensão do papel desempenhado pelos agregados na determinação de muitas propriedades importantes do concreto, mesmo por apresentarem preços relativamente menores e não entrarem em complexas reações químicas com a água, a visão tradicional do agregado como um material inerte vem sendo seriamente questionada¹⁹.

1.3 Objetivos

Há escassas fontes de pesquisas no tocante à trabalhos realizadas utilizando, especificamente, o seixo rolado da região de Teresina como agregado graúdo na fabricação de concreto de cimento Portland. Com isso, analisaremos várias propriedades mecânicas do concreto moldado com o seixo rolado, proveniente da região de Teresina e com rocha granítica britada (brita).

1.3.1 Objetivo geral

Analisar e comparar o comportamento físico e mecânico do concreto fabricado utilizando como agregados graúdos seixos rolados e concretos fabricados com britas de rochas graníticas da região de Teresina – PI.

¹⁸ JUCÀ, Tainá.; TEIXEIRA, Fernando A.; PEREIRA, Claudio H. A. F.; OLIVEIRA, Keila, R. B.; GUIMARÊS, Leonardo E.; ANTONELLI, Gilson; GOMES, Flávio M.; GEYER, André; Estudo de dosagem de concreto de alto desempenho – comparativo de custos, Universidade Federal de Goiás, 43º Congresso Brasileiro do Concreto, Artigo, 2001.

¹⁹ MEHTA e MONTEIRO, Concreto. Microestrutura, Propriedades e Materiais/ Provindar K. Metha & Paulo J.M. Monteiro. 2. ed. São Paulo, IBRACON, 2014.

1.3.2 Objetivos específicos

- Elaborar diagrama de dosagem para concretos produzidos com os dois tipos de agregados graúdos utilizados;
- Estabelecer o traço a ser analisado a partir do diagrama de dosagem;
- Com o traço escolhido analisar a resistência à compressão simples, resistência à tração por compressão diametral e módulo de elasticidade dos concretos produzidos;

1.4 Organização do Trabalho

A dissertação apresenta-se dividida em cinco capítulos:

- No **Capítulo I** apresenta-se o panorama da produção e utilização dos agregados na construção civil em nível nacional, regional e municipal, destacando os números relativos ao Piauí e a utilização do seixo rolado, como agregado graúdo na fabricação de concreto, na macrorregião de Teresina. São apresentadas as justificativas, os objetivos da dissertação e resultados de estudos de campo referentes à demanda de consumo de concreto confeccionado com brita e seixo rolado.

- No **Capítulo II** apresenta-se a origem dos agregados graúdos utilizados na pesquisa (brita e seixo rolado), conceituação, estudos realizados e suas influências nas propriedades do concreto fresco e endurecido.

- No **Capítulo III** trata dos materiais e os métodos. Descreve-se a metodologia, os materiais utilizados, os ensaios realizados e as normas vigentes para o estudo experimental.

- O **Capítulo IV** refere-se às análises e resultados da pesquisa,

- No **Capítulo V** apresentam-se as conclusões e as sugestões para novas pesquisas com base nas conclusões.

CAPÍTULO II

2. Revisão bibliográfica

Nesta revisão bibliográfica tratar-se-á inicialmente dos estudos relacionados ao tema do estudo e de informações relacionadas aos materiais constituintes dos concretos estruturais (cimento e agregados). Seguem informações sobre o seixo rolado, suas características sua formação geológica e métodos de extração adotados na região piauiense. Na sequência mostram-se as principais propriedades do concreto que serão objeto de estudo deste trabalho.

2.1 Estudo sobre o tema

Barata (1998)²⁰ estudou a viabilidade técnica e econômica de produção de concreto de auto desempenho (CAD) com os materiais disponíveis em Belém – PA, através do emprego de adições de sílica ativa e metacaulim.

De acordo com BARBOSA e AKASAKI (1999)²¹ concretos com a mesma resistência à compressão, mas confeccionados com agregados de mineralogia e diâmetros diferentes (pedra britada e seixo rolado) apresentam módulo de elasticidade consideravelmente diferente e variável segundo a idade.

BARBOSA e SALLES (1999)²² elaborou um programa de ensaios para verificação do desempenho de concreto de alto desempenho CAD, confeccionado com agregados graúdos do tipo britado e seixo rolado, avaliando em especial sua resistência à compressão. As misturas dos concretos foram elaboradas com e sem adição de sílica ativa; os corpos de prova rompidos aos 3, 7, 14, 21, 28, 63 até a idade de 90 dias para o material britado, e 28 dias para o caso do seixo rolado.

²⁰ BARATA, Marcio Santos, Estudo viabilidade técnica e econômica de produção de concreto de auto desempenho (CAD) com os materiais disponíveis em Belém – PA, através do emprego de adições de sílica ativa e metacaulim, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

²¹ BARBOSA, M. P. ; AKASAKI, J. L. ; NEVES, F. G. . A influência do Tipo de Agregado Graúdo nos Módulos de Elasticidade e na Resistência à Tração dos Concretos de Elevado Desempenho. In: 41º Congresso Brasileiro do Concreto, 1999, Salvador- Ba. Artigo, 1999.

²² BARBOSA, M. P. ; SALLES, F. M. ; SANTOS, J. . Um estudo experimental com diferentes tipos de agregados graúdos para a verificação da resistência mecânica à compressão do concreto de elevado desempenho. In: 41º Congresso Brasileiro do Concreto, 1999, Salvador-BA. Artigo, 1999.

LIMA (2003)²³ verificou, a partir de uma dimensão pré-estabelecida, a influência da lavagem do seixo rolado, extraídos do rio Uatumã, município de Presidente Figueiredo, no estado do Amazonas, na obtenção de concretos de alta resistência, concluindo que a relação entre as impurezas presentes no seixo rolado, tal qual como é recebido, aliado à sua morfologia, geram um aumento na demanda de água e numa redução significativa na aderência, provocando uma ruptura prematura.

SOUZA (2001)²⁴ verificou a influência do seixo rolado, proveniente do estado do Pará, na resistência à compressão simples do concreto convencional, dosado para a resistência à compressão simples de 20 MPA, e no de alta resistência, dosado para resistência à compressão simples 40 MPA, comparando os seus resultados com os obtidos para outros tipos de agregado graúdo do Rio Grande do Sul. Concluindo que o alto teor de argamassa contido no concreto com seixo rolado do estado do Pará proporcionou excelentes condições de coesão e consistência, fato não observado nas misturas que envolveram a brita e do seixo do Rio Grande do Sul, provocando sua baixa trabalhabilidade. Essa situação resultou no aparecimento da exsudação nas misturas com os materiais do Rio Grande do Sul, já no concreto fabricado com seixo rolado, não se verificou o aparecimento desse fenômeno.

SILVA e ROCHA (2005)²⁵ estudaram através dos três métodos: NBRI (Método Acelerado), Método Químico e Método Osipov, desenvolvido pelo engenheiro Albert Osipov, do Institute Hydroproject de Moscou, a reação álcali-agregado do seixo rolado em concreto de cimento Portland na cidade de Manaus.

²³ LIMA, I. S. ; FERREIRA, J. A. ; ROCHA, F. ; S. FILHO, L. C. . Avaliação de Influência da Lavagem do Seixo Rolado Utilizado na Cidade de Manaus em Concreto de Elevada Resistência. In: 45º Congresso Brasileiro do Concreto, 2003, Vitória. Anais do 45º Congresso Brasileiro do Concreto, 2003.

²⁴ SOUZA, P. S. L. ; D.C.C., Dal Molin, . Avaliação do uso do seixo proveniente do estado do Pará no concreto convencional e de alta resistência. In: 43 Congresso Brasileiro do Concreto, 2001, Foz do Iguaçu. Anais do 43 Congresso Brasileiro do Concreto. Foz do Iguaçu: IBRACON, 2001. V. 1. P. 1-15.

²⁵ SILVA, A. S.; ROCHA, F. S. . Contribuição ao estudo da reação álcali-agregado em seixos utilizados em concreto de cimento Portland na cidade de Manaus. 47º Congresso Brasileiro do Concreto, 2005, Recife-PE. Anais do 47º Congresso Brasileiro do Concreto, 2005.

SOUZA e ARANHA (2005)²⁶ verificou a influência da substituição do seixo rolado por Resíduo de Construção e Demolição – RCD na produção de concreto, no estado fresco, (massa específica e trabalhabilidade) e no estado endurecido (resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral e absorção por imersão), fornecendo ao meio técnico do estado do Pará uma alternativa para produção do concreto convencional, alternativas para uso e aproveitamento do RCD e, também, diminuição de consumo de agregados naturais.

FERNANDES e DOS SANTOS (2008)²⁷ verificou que a utilização do seixo e a areia fina, materiais disponíveis e peculiares da região de Belém – PA satisfazem todas as propriedades de um concreto auto-adensável CAA, o que proporcionou uma maior trabalhabilidade pela forma do seixo rolado e maior coesão pela finura da areia, sendo assim possível o adensamento do CAA apenas pelo seu peso próprio, sem utilização de vibração mecânica.

Diniz e De Castro Júnior (2010)²⁸ compara misturas asfálticas com seixo rolado e seixo rolado britado, do estado do Pará, este, adquirido através da inserção do seixo rolado no ensaio de abrasão “Los Angeles”, quanto aos parâmetros Marshall.

Silva (2012)²⁹ apresenta como trabalho de conclusão de curso, um estudo comparativo das propriedades mecânicas do concreto convencional utilizando brita granulítica e seixo rolado do sertão pernambucano.

²⁶ SOUZA, P. S. L. ; ARANHA, Paulo Marcio da Silva ; BANDEIRA JÚNIOR, Pedro Paulo ; MACHADO, Fábio Augusto . Análise da Influência da substituição de agregado graúdo por resíduo de construção e demolição em concreto produzido com seixo rolado. In: 47º Congresso Brasileiro do Concreto, 2005, Olinda. Anais do 47º Congresso Brasileiro do Concreto- CBC2005. Olinda: IBRACON, 2005. v. 1. p. 93-109.

²⁷ FERNANDES, Marcos Anderson Guedes, DOS SANTOS, Peterson Rodrigo Vaz, DA SILVA, Marcelo Otaviano Barbosa, MOREIRA, Alisson Elvim Pedroso, LAGO, Leonardo Barbosa, SOUZA, Paulo Sérgio Lima, Avaliação da produção de concreto auto-adensável (caa) com utilização do seixo rolado, artigo, 50º Congresso Brasileiro de Concreto, IBRACON, Setembro 2008.

²⁸ DINIZ, Bruno Athayde, DE CASTRO JUNIOR, José Nilson santos (2010). Análise comparativa de misturas asfáltica com seixo rolado e seixo rolado britado quanto aos parâmetros Marshall. –52p. TCC – Centro de ciências exatas e tecnologia, universidade da Amazônia, Belém, PA, 2010.

²⁹ SILVA, Francisco Benedito. Estudo comparativo das propriedades do concreto convencional utilizando brita granulítica e seixo rolado do sertão de Pernambuco / Francisco Benedito Silva. -- Caruaru : FAVIP, 2012.

2.2 Concreto

O concreto é um compósito que consiste na mistura de cimento Portland, agregado graúdo (pedra britada, pedregulho, cascalho, seixo), agregado miúdo (areia natural ou artificial; pó de pedra) e água; podendo ou não, apresentar na sua composição, outro constituinte que tem como principal finalidade, melhorar as propriedades do conjunto quando em estado fresco ou endurecido.

2.2.1 Cimento Portland

O cimento Portland é um cimento hidráulico resultante da moagem do clínquer, no qual é obtido através do cozimento a altas temperaturas da mistura de argila e calcário, regularmente dosada e homogeneizada³¹, sendo ao final, após queima, adicionado aproximadamente 5% de sulfato de cálcio ou gipsita a fim de regularizar o processo de pega e endurecimento do cimento³².

Em análise microscópica do clínquer, observa-se que os cimentos brasileiros são constituídos com teores de 42 a 60% de silicatos tricálcicos (alita – C_3S), 14 a 35% de silicatos dicálcicos (belita – C_2S), formando a fase silicato e, também, da fase intersticial composta de 6 a 13% de aluminato (C_3A) e de 5 a 10% de ferro aluminato tetracálcio (C_4AF)³³.

A hidratação dos cimentos pode ser definida como a transformação dos compostos anidros mais solúveis em compostos hidratados menos solúveis, onde variam em função dos seus compostos, apresentando propriedades diferenciadas no contato com a água³⁴.

Existem duas formas de reação entre o cimento e a água: a) a hidratação que se trata da incorporação indireta de algumas moléculas de água, e b) a quebra e dissolução de determinados componentes do cimento, hidrólise, que libera íons que irão reagir com outros compostos.

³¹ PETRUCI, E. Concreto de cimento Portland. São Paulo: Globo, 2005.

³² MEHTA, Povindar Kumar, Concreto: Estrutura, propriedades e materiais/ P. Kumar Mehta, Paulo J. M. Monteiro. – São Paulo: IBRACON, 2014.

³³ PETRUCI, E. Concreto de cimento Portland. São Paulo: Globo, 2005.

³⁴ KIHARA, Y; CENTURIONE, S.L.O cimento portland. In: Concreto: Ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. p. 295-322.

Há dois mecanismos de hidratação do cimento propostos. A hidratação por *dissolução-precipitação* envolve a dissolução de compostos anidros em seus constituintes iônicos, a formação de hidratos em solução e, devido à sua baixa solubilidade, uma eventual precipitação de hidratos resultantes da solução supersaturada. Assim, essa proposta visa a uma completa reorganização dos constituintes dos compostos originais durante a hidratação do cimento³⁵.

A hidratação no estado sólido ou topoquímico do cimento é o outro mecanismo proposto, onde as reações acontecem diretamente na superfície dos compostos de cimento anidro sem que os compostos entrem em solução. Na realidade não existe um mecanismo que prevaleça durante as reações. Ambos ocorrem ao mesmo tempo, sendo que o mecanismo de dissolução-precipitação acontece primeiro³⁶.

Os cimentos mais utilizados no Brasil são: CP I, CP II, CP III, CP IV e CP V. O CP I é chamado de cimento Portland comum e é utilizado nas construções em geral. No entanto, não apresenta boa resistência aos sulfatos. O CP II é o composto de cimento que está ligado à moderada resistência aos sulfatos e moderado calor de hidratação. Esses cimentos também possuem adições e são designados como: CP II-E (escória), CP II-Z (pozolana), CP II-F (filler), CP III (alto-forno), CP IV (pozolânico).

Os cimentos CP III e CP IV, quando em contato com água, apresentam baixo calor de hidratação, pois durante sua hidratação liberam energia mais lentamente em relação aos outros cimentos. Já o CP V, por ter as reações aceleradas, através dos silicatos tricálcicos presente no clínquer e também pela própria moagem mais fina do clínquer, possui um alto calor de hidratação em idades iniciais.

Para tanto deverá ser corrigido com processos de cura ideais para a concretagem de elementos estruturais, a fim de evitar a rápida evaporação da água do concreto, evitando-se futuras manifestações patológicas. Um deles seria o mais tradicional, que compreende na molhagem das peças³⁷.

³⁵ MEHTA, Povindar Kumar, Concreto: Estrutura, propriedades e materiais/ P. Kumar Mehta, Paulo J. M. Monteiro. – São Paulo: IBRACON, 2014.

³⁶ CHAGAS, R. M. P. . Estudo do concreto laterítico dosado com aditivo plastificante à base de lignosulfonato, Dissertação M. SC, UFCG, 2011.

³⁷ MEHTA, Povindar Kumar, Concreto: Estrutura, propriedades e materiais/ P. Kumar Mehta, Paulo J. M. Monteiro. – São Paulo: IBRACON, 2014.

2.2.2 Agregado

Entende-se por agregado o material granular, incoesivo, que não é verdadeiramente inerte, com forma e volume indefinidos e quando adicionado à pasta de cimento, para aplicabilidade em obras de engenharia, proporciona características relevantes ao concreto, influenciando nas suas propriedades de desempenho e no seu custo, em consequência da diminuição da quantidade de cimento.

2.2.2.1 Classificação dos Agregados

Segundo a sua origem, os agregados podem ser classificados como naturais, ou seja, os que se encontram em forma particulada na natureza, tal como areia e os pedregulhos ou seixos rolados, e os artificiais ou industrializados, sendo estes, os que possuem formas obtidas através de processos industriais, como brita, pedra britada, fíler, rachão. A escória de alto forno e as cinzas volantes, produzidas a partir de rejeitos industriais, assim como agregados produzidos a partir de resíduos selecionados de rejeitos urbanos, demolições de edifícios e pavimentos, quando utilizados como agregados no concreto, classificam-se como agregados artificiais ou industrializados.

Os agregados formados na natureza são oriundos de jazidas designadas por areiros (possuem em sua maior parte o agregado miúdo denominado areia) e as designadas de cascalheiras (material natural preponderante é o cascalho e agregados graúdos como os seixos)³⁸. No tocante às suas dimensões, os agregados são divididos em graúdos, quando suas partículas forem maior que 4,75 mm (retidas na peneira nº4) e agregados miúdos, utilizados para partículas que, em geral, variam entre 75 µm e 4,75 mm.

³⁸PETRUCI, E. Concreto de cimento Portland. São Paulo: Globo, 2005.

No final do século XIX, falava-se que os agregados tinham apenas a função de baratear o concreto. Entretanto, nos anos 50 ocorreram problemas técnicos em decorrência da seleção indevida dos agregados obrigando com que o concreto de várias barragens sofresse bruscas reformas (SILVA, 2012)³⁹, devido à influência dos agregados nas propriedades do concreto como resistência mecânica e durabilidade não conhecidas na época.

De acordo com Petrucci (1998)⁴⁰, os agregados exercem influências benéficas à importantes características do concreto, tais como: densidade, resistência, retração e trabalhabilidade. O autor compara o concreto produzido com cascalho (seixo rolado) e brita, estabelecendo comparações entre as propriedades físicas das rochas utilizadas.

⁴⁰PETRUCCI, E. Concreto de cimento Portland. São Paulo: Globo, 1998.

Assim como SOUZA (2001)⁴¹, que evidenciou o efeito da forma e da textura do agregado graúdo na trabalhabilidade de misturas com o mesmo teor de argamassa.

Para Barbosa (2001)⁴², os materiais britados contribuem para que os níveis de resistência mecânica à compressão sejam mais elevados, quando comparados com o seixo rolado, considerando-se apenas o material em peso. O mesmo resultado foi verificado por Perdiz (2008)⁴³ quando comparou a utilização de brita granítica da região de Moura como agregado graúdo com o seixo empregado na região de Manaus/AM.

A partir dessas comparações, evidenciou-se que muitas das propriedades do concreto estão intimamente ligadas às características dos agregados, como: porosidade, granulometria, absorção de água, forma e textura superficial dos grãos, as quais agem diretamente na resistência mecânica.

³⁹ SILVA, Francisco Benedito. Estudo comparativo das propriedades do concreto convencional utilizando brita granítica e seixo rolado do sertão de Pernambuco / Francisco Benedito Silva. -- Caruaru : FAVIP, 2012.

⁴⁰ PETRUCCI, E. Concreto de cimento Portland. São Paulo: Globo, 2005.

⁴¹ SOUZA, P. S. L. ; D.C.C., Dal Molin, . Avaliação do uso do seixo proveniente do estado do Pará no concreto convencional e de alta resistência. In: 43 Congresso Brasileiro do Concreto, 2001, Foz do Iguaçu. Anais do 43 Congresso Brasileiro do Concreto. Foz do Iguaçu: IBRACON, 2001. V. 1. P. 1-15.

⁴² BARBOSA, M. P. ; DURÃO, A. V. ; SALVADOR FILHO, J. A. A. . Influência do Tipo de Cimento nas Propriedades Mecânicas do Concreto Ordinário submetido a Cura Térmica. In: 43º CONGRESSO Brasileiro do Concreto, 2001, Foz do Iguaçu. 43º Congresso Brasileiro do Concreto- Artigo. São Paulo: IBRACON, 2001

⁴³ PERDIZ, R. S. .Avaliação da Utilização do Granito da Região de Moura, como Agregado Graúdo, Considerando as Propriedades Mecânicas do Concreto. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Amazonas, 2009.

Conforme Mehta e Monteiro (2008)⁴⁴, os agregados apresentam resistências maiores do que a matriz cimentícia e a zona de transição da interface do concreto. Estes autores, afirmam que há outras características às quais podem afetar a resistência do mesmo, como dimensão máxima característica, granulometria e forma dos grãos dos agregados. Independentemente da relação água-cimento, os fatores citados influenciam nas características da zona de transição, afetando a resistência mecânica do concreto em seu estado endurecido.

2.3 Seixo Rolado

Os seixos são compostos por fragmentos de rochas e minérios duros de formas angulosas e arredondadas e superfície lisa⁴⁵. Têm estrutura heterogênea, podendo-se encontrar num mesmo seixo várias formas microcristalinas de quartzo e, mais raramente, fragmentos de arenito e calcário, classificando-se, assim, como um agregado natural proveniente de erosão, transporte e decomposição de detritos de desagregação das rochas pelos agentes de intemperismo geológico⁴⁶.

Segundo Bauer (2005)⁴⁷, os agregados graúdos, denominados de cascalho ou seixo rolado e areia, são depósitos sedimentares formando ao longo dos leitos dos rios e são extraídos por dragagem.

Na cidade de Teresina, de acordo CORREIA FILHO 1997⁴⁸, os seixos são extraídos através do peneiramento do complexo “massará/seixo” (Foto 2.1), este, proveniente de ocorrências relacionadas à sedimentação detrítica, encontradas nas áreas de domínio dos arenitos das Formações Piauí e Pedra de Fogo.

⁴⁴ CONCRETO. Microestrutura, Propriedades e Materiais. P. kumar Metha & Paulo J.M. Monteiro. 2. ed. São Paulo, PINI, 2008.

⁴⁵ CONCRETO. Microestrutura, Propriedades e Materiais. P. kumar Metha & Paulo J.M. Monteiro. 2. ed. São Paulo, IBRACON, 2014.

⁴⁶ PETRUCCI, Eládio G. R. Concreto de cimento Portland, 13 ed., São Paulo: Globo, 1998.

⁴⁷ BAUER, L.A. Materiais de construção. 5a ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2005.

⁴⁸ CORREIA FILHO, F. L. Projeto Avaliação de Depósitos Minerais para Construção Civil PI/MA. Teresina: CPRM, 1997. 2 v.

A Formação Piauí (figura 2.1) é reconhecida por arenitos de cor creme e rosada, tonalidade esbranquiçada, grosseiramente estratificada, com estratificação cruzada tanto em pequena como em grande escala, granulação fina a média, friáveis, cuja alteração e desagregação produzem um solo também esbranquiçado, arenoso e de baixa fertilidade. A Formação Pedra de Fogo (figura 2.1), de maior expressão na unidade geológica da Bacia Sedimentar do Parnaíba, tipicamente constituída por alternância de silexitos, arenitos e siltitos, com exposição frequentes, sobre a forma de relevo ondulado, sua alteração e desagregação formam a maioria dos depósitos secundários, denominados Formações Superficiais representados por areais, cascalhos em aluviões, “barro”, “massará” e seixos⁴⁹.

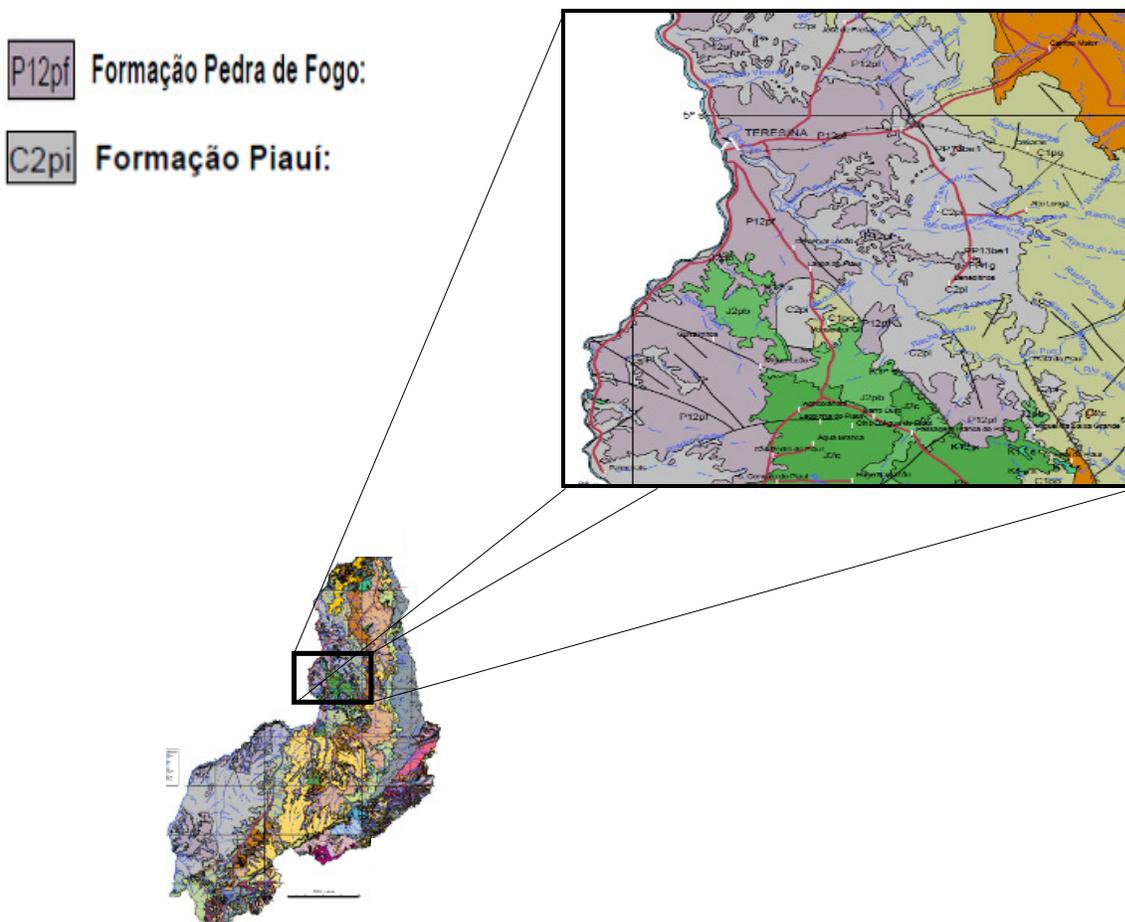


Figura 2.1 – Mapa Geológico do Piauí, localização da Formação Piauí e da Formação Pedra de Fogo. (Fonte: DNPM-PI)

⁴⁹ CORREIA FILHO, F. L. Projeto Avaliação de Depósitos Minerais para Construção Civil PI/MA. Teresina: CPRM, 1997. 2 v.

Em definição CORREIA FILHO (1997)⁵⁰, diz que:

“Massará é um termo regional, conhecido, apenas na Região de Teresina e serve para definir um sedimento conglomerático de cores e coloração variadas, creme, vinho, rosada, esbranquiçada, amarelada, arroxeadas, e avermelhada, com matriz areno-argilosa, média e grosseira e, até conglomerática, ligante, de pouca resistência, facilmente desagregável (friável), contendo seixo de Lílca bem arredondados, com tamanho variando de subcentímetros até a cerca de 10 cm (mais raros), predominando contudo o intervalo entre 1 e 3 cm.”

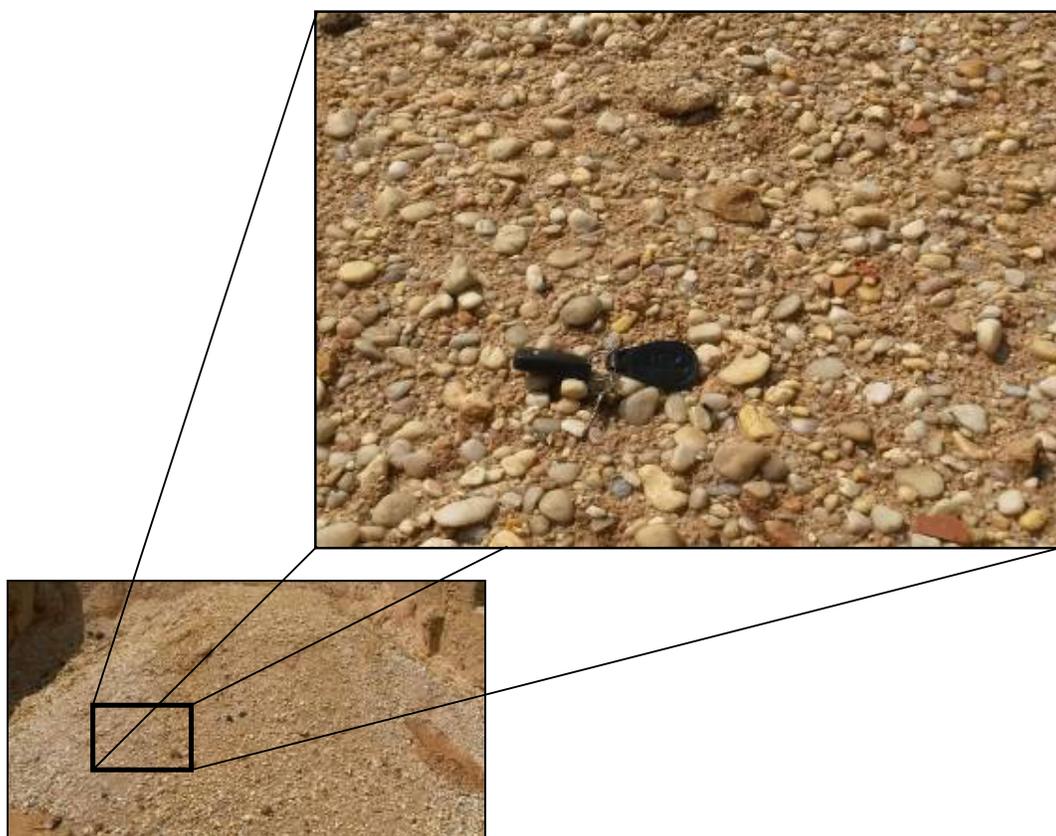


Figura 2.2 – Detalhe de uma ocorrência de seixo em afloramento de “massará”, zona sul de Teresina-PI.

⁵⁰ CORREIA FILHO, F. L. Projeto Avaliação de Depósitos Minerais para Construção Civil PI/MA. Teresina: CPRM, 1997. 2 v.

2.3.1 Método de Extração

Inicialmente os depósitos de massará explorados nos arredores da cidade de Teresina utilizavam metodologia rudimentar e informal de extração, utilizando utensílios como pás, picaretas, alavancas e peneiras. O setor da construção civil de Teresina, atraído pela grande oferta e preços baixos, aumentou a demanda pela procura do seixo, como agregado graúdo, para fabricação de concreto e massa asfáltica.

Em função da falta de orientação técnica e segurança no desmonte do material, frequentemente ocorriam acidentes e, também, em consequência dos períodos chuvosos que dificultava o acesso e manuseio do material, essa atividade extrativista diminuía sensivelmente.

Nos últimos quinze anos com o forte crescimento do mercado da construção civil no estado Piauí, as atividades antes rudimentares passaram a receber investimentos e tecnologia de extração e beneficiamento em alguns pontos, não deixando de existir o método pioneiro de exploração. As grandes jazidas agora são cadastradas e fiscalizadas pelos órgãos municipais, estaduais competentes, sua extração e transporte se fazem de forma mecanizada e controlada, e seu beneficiamento, lavagem e peneiramento, utilizando grandes peneiras mecânicas, como ilustrado na figura 2.3.



Figura 2.3 – Detalhe um centro de lavagem e peneiramento do massará/seixo em Teresina – PI.

O seixo rolado utilizado na pesquisa foi o fornecido pela empresa JRR Castro ME, extraído na zona sul de Teresina - PI, fazenda Penudas. Para composição dos traços experimentais e definitivo, foram utilizados duas granulometrias dos seixos. As figuras

2.4 e 2.5 ilustram o mecanismo utilizado por grandes fornecedores para separação e lavagem do seixo rolado.

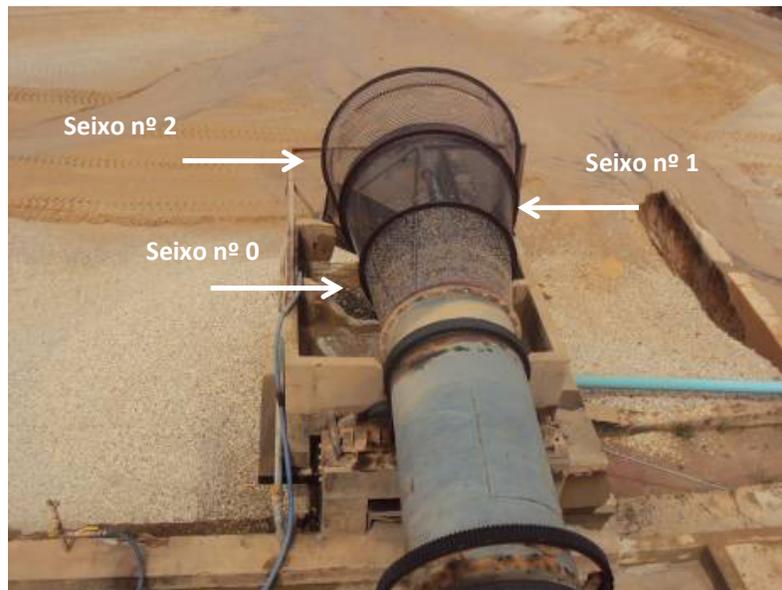


Figura 2.4 – Visão dos “lavadores” de seixo e esquema de separação granulométrica.



Figura 2.5 – Visão lateral dos “lavadores” de seixo e esquema de separação granulométrica.

2.4 Propriedades do Concreto

2.4.1 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade do concreto é definida pela ASTM C 125 como a propriedade que determina o esforço exigido para manipular uma quantidade de concreto fresco, com perda mínima de homogeneidade e composta de dois componentes principais: consistência e coesão⁵¹. Muitas são as razões pelas quais não existe um método único que quantifique diretamente a trabalhabilidade, tais como as quantidades intrínsecas dos materiais que constituem o concreto, as condições da mistura, transporte, lançamento e adensamento do material, bem como das dimensões, forma e armaduras das peças a moldar⁵².

O ensaio de abatimento de troco de cone, prescrito pela ASTM C 143 e semelhante ao da NBR NM 67 (Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento de tronco de cone) e o ensaio de espalhamento por meio da mesa de Graff, não medem a trabalhabilidade do concreto, mas são os ensaios mais utilizados para detecção de variações de uniformidade de uma mistura de proporções nominais⁵³. A tabela 2.1 indica limites úteis para indicar índices de trabalhabilidade.

Tabela 2.1 – Indicadores de limite dos índices de trabalhabilidade.

Consistência	Abatimento (mm)	Espalhamento (mm)	Tipos de Obra
Extremamente seca	-		Pré - fabricação. Condições especiais de adensamento.
Muito Seca	-		Grandes massas. Pavimentação. Vibração muito enérgica.
Seca	0 - 20	< 120	Estrutura de concreto armado ou protendido. Vibração enérgica.
Rija	20 - 50	350 - 400	Estrutura corrente. Vibração normal
Plástica (média)	50 - 120	400 - 500	Estrutura corrente. Adensamento manual.
Úmida	120 - 200	500 - 600	Estrutura corrente, paredes-diafragma, sem grande responsabilidade. Adensamento manual.

(Fonte: Petrucci, 1998)

⁵¹ CONCRETO. Microestrutura, Propriedades e Materiais. P. Kumar Metha & Paulo J.M. Monteiro. 2. ed. São Paulo, IBRACON, 2014.

⁵² PETRUCCI, Eládio G. R, Concreto de cimento Portland, 13 ed., São Paulo: Globo, 1998.

⁵³ NEVILLE, Adam Matthew. Propriedades do Concreto, tradução SALVADOR E. Giannusso. 1ed. São Paulo, PINI, 1982.

2.4.1.1 Fatores que afetam a trabalhabilidade

Dos fatores que influenciam na trabalhabilidade do concreto o mais apropriado é analisar os que afetam a consistência e a coesão, porque esses dois componentes da trabalhabilidade podem ser influenciados de forma oposta pela mudança de uma variável específica. Em geral, os fatores que afetam a trabalhabilidade são⁵⁴:

a) Consumo de água

Considera que, para uma dada dimensão máxima característica do agregado graúdo, o abatimento ou a consistência do concreto tem correlação direta com a quantidade de água da mistura;

b) Consumo de cimento

Em um concreto de cimento Portland, com um dado consumo de água, a redução considerável do consumo de cimento tende a produzir misturas mais ásperas com acabamento precário e concretos com elevado consumo de cimento, apresentam excelente coesão.

c) Característica do agregado

O tamanho das partículas do agregado graúdo é um dos fatores que influenciará na quantidade de água necessária para atingir determinada consistência. Assim como agregados miúdos muito finos ou angulosos necessitaram de mais água para se obter uma dada consistência.

2.4.2 Resistência à compressão simples

No caso do concreto, a porosidade de cada componente da microestrutura pode se tornar um fator limitante para a resistência. Assim, a porosidade da matriz cimentícia e da zona de transição na interface entre a matriz e o agregado graúdo geralmente determinam a resistência característica do concreto de densidade normal⁵⁵.

⁵⁴ CONCRETO. Microestrutura, Propriedades e Materiais. P. Kumar Metha & Paulo J.M. Monteiro. 2. ed. São Paulo, IBRACON, 2014.

⁵⁵ METHA e MONTEIRO, op. Cit.

Os seixos rolados apresentam grãos de formas cubóides, arredondadas e superfícies lisas, ao contrário dos agregados industrializados (britados) que possuem grande porcentagem de grãos irregulares, com arestas vivas e superfícies altamente rugosas e conseqüentemente maiores superfície específica que os de forma cubóides (seixos/cascalhos).

Os grãos irregulares, devido à sua forma e textura superficial, apresentam maior aderência da argamassa, resultando um concreto, com eles confeccionados, de maior resistência, mantida inalterada as demais condições do traço, do que os confeccionados com pedregulho de grão cubóide e superfície lisa⁵⁶.

Por definição, a resistência de um material é a capacidade de suportar às tensões sem se romper. O concreto é um material de excelente resistência à compressão e por isso essa propriedade do concreto é uma das mais estudadas no meio técnico. Uma vez que os agregados graúdos naturais e os produzidos através do beneficiamento de rochas são mais resistentes que a matriz de argamassa, eles provocam o aparecimento de tensões transversais de tração, perpendiculares ao campo de compressão aplicado externamente⁵⁷.

Na ruptura por compressão simples, as fissuras na matriz, ocasionadas pelo aumento gradativo da tensão aplicada, agrupam-se com as fissuras pré-existentes na zona de transição desenvolvendo, assim, uma superfície de ruptura, falsa e verdadeira, como ilustrados na figura 2.6.

⁵⁶ BAUER, L.A. Materiais de construção. 5a ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2005.

⁵⁷ CHAGAS, R. M. P. . Estudo do concreto laterítico dosado com aditivo plastificante à base de lignosulfonato, Dissertação M. SC, UFCG, 2011.

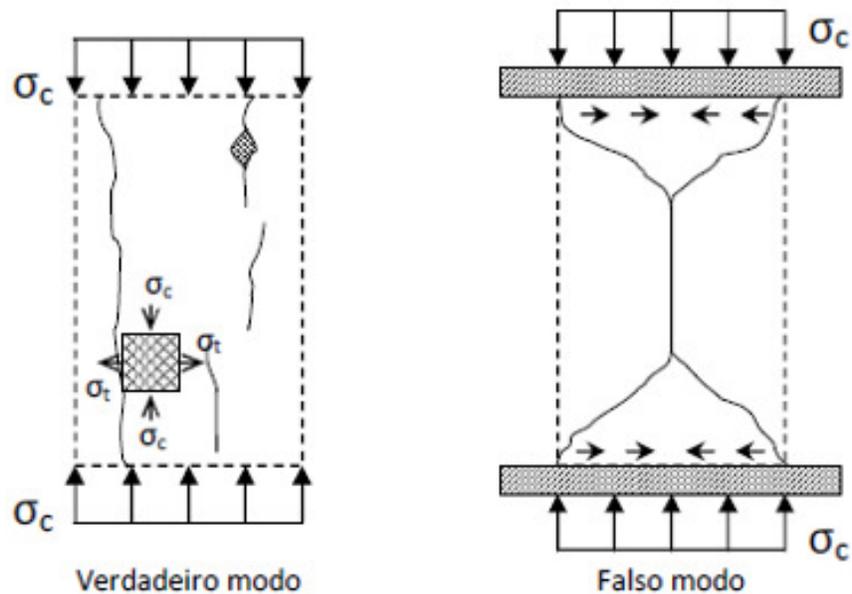


Figura 2.6 – Ilustração de ruptura à compressão simples de concretos de baixa e média resistência $f_{ck} \leq 40\text{MPa}$ (Fonte: Fusco,2008 apud CHAGAS, R. M. P., 2011)⁵⁸.

2.4.3 Resistência à tração

Ensaio de tração direta são raramente aplicados, principalmente porque os dispositivos de fixação dos corpos de prova introduzem tensões secundárias que não podem ser desprezadas⁵⁹. No entanto, quando se faz um estudo de propriedades mecânicas do concreto, principalmente quando serão analisados tipos de agregados para sua fabricação, essa propriedade mecânica não pode ser desprezada.

Os ensaios mais comumente usados para obtenção da resistência à tração são: tração indireta por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos (NRB 7222 no Brasil, ou ASTM C 496) e por flexão em corpos de prova prismáticos.

⁵⁸ FUSCO, Péricles Brasiliense, Técnicas de armar as estruturas de concreto, São Paulo, Pini, 1995.

⁵⁹ CONCRETO. Microestrutura, Propriedades e Materiais. P. kumar Metha & Paulo J.M. Monteiro. 2. ed. São Paulo, IBRACON, 2014.

O ensaio de tração indireta por compressão diametral foi criado na Universidade do Rio de Janeiro durante a Segunda Guerra Mundial pelo engenheiro Luiz Fernando Lobo Carneiro⁶⁰, esse ensaio é conhecido como método brasileiro e consiste em aplicar cargas de compressão ao longo de duas geratrizes diametralmente opostas em corpos de prova de concreto de 15 cm por 30 cm e, no Brasil, em corpos de prova de 10 por 20 cm, também.

A figura 2.7 ilustra a distribuição de tensões nos corpos-de-prova cilíndricos submetidos ao ensaio de tração por compressão diametral.

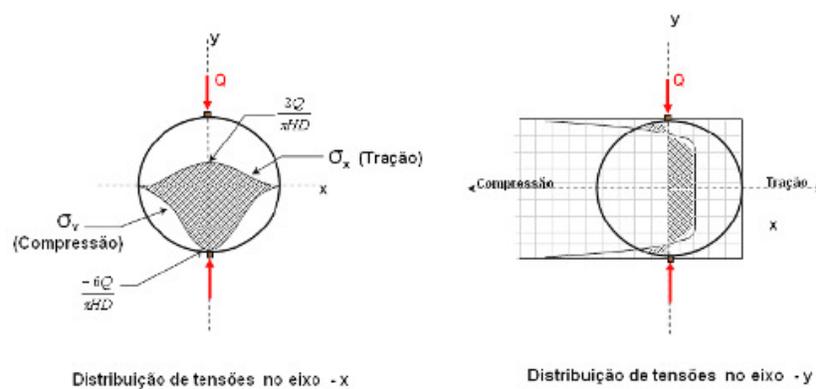


Figura 2.7 – Distribuição de tensões nos corpos-de-prova cilíndricos submetidos ao ensaio de tração por compressão diametral (Fonte: VILLAR FILHO, 1985 apud CHAGAS, R. M. P., 2011).

Segundo VILLAR FILHO (1985)⁶¹ a aplicação das forças sobre os corpos-de-prova dá-se de modo indireto, havendo a presença de taliscas de madeira interpostas entre os pratos da prensa e os corpos de prova. As dimensões e propriedades do material das taliscas afetam o tipo de ruptura, mas não a tensão na ruptura. É recomendado que a vareta (talisca) seja de um material um pouco flexível que possa se ajustar em algumas irregularidades na superfície da amostra, MIYCHELL (1961)⁶² apud CHAGAS (2011)⁶³.

⁶⁰ CONCRETO. Microestrutura, Propriedades e Materiais. P. kumar Metha & Paulo J.M. Monteiro. 2. ed. São Paulo, IBRACON, 2014.

⁶¹ VILLAR FILHO, Orlando de C., Estabilização de solos lateríticos da região nordeste do Brasil com cimento, Dissertação, p.113, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1985.

⁶² MITCHELL, N. B., The indirect tension test for concrete. Master. Res. And Std, Oct. 1961.

⁶³ CHAGAS, R. M. P. . Estudo do concreto laterítico dosado com aditivo plastificante à base de lignosulfonato, Dissertação M. SC, UFCG, 2011.

As taliscas têm, normalmente, 3 mm de espessura e é conveniente que a largura não seja maior do que 1/12 do diâmetro do corpo-de-prova; a ASTM C 496-71 estabelece uma largura de 25 mm. Sem as taliscas, os resultados obtidos são tipicamente 8% mais baixos⁶⁴.

A resistência à tração por compressão diametral é calculada com a fórmula:

$$f_{ct,sp} = \frac{2.F}{\pi.d.l}, (kN/cm^2) \quad \text{Equação 2.1}$$

Sendo que:

$f_{ct,SP}$ = resistência à tração indireta por compressão diametral;

F = força aplicada;

d = diâmetro do corpo-de-prova cilíndrico;

l = comprimento do corpo-de-prova.

Comparado à tração indireta, o ensaio de tração por compressão diametral é conhecido por superestimar a resistência à tração do concreto em 10 a 15%, conforme tabela 2.2⁶⁵.

Tabela 2.2 – Relação entre resistência à compressão, à flexão e à tração do concreto.

Resistência do concreto (MPa)			Razão %		
Compressão	Módulo de ruptura (tração na flexão)	Tração direta	Módulo de ruptura / resistência à compressão	Resistência à tração / resistência à compressão	Resistência à tração / módulo de ruptura
7	2	1	23,0	11,0	48
14	3	1	18,8	10,0	53
21	3	2	16,2	9,2	57
28	4	2	14,5	8,5	59
34	5	3	13,5	8,0	59
41	5	3	12,8	7,7	60
48	6	4	12,3	7,4	61
55	6	4	11,6	7,2	62
62	7	4	11,2	7,0	63

(Fonte: Mehta e Monteiro, 2014)

⁶⁴ NEVILLE, Adam Matthew. Propriedades do Concreto, tradução SALVADOR E. Giammusso. 1ed. São Paulo, PINI, 1982.

⁶⁵ CONCRETO. Microestrutura, Propriedades e Materiais. P. kumar Metha & Paulo J.M. Monteiro. 2. ed. São Paulo, IBRACON, 2014.

Bamfort, Chisholm, Gibbs e Harrison (2008)⁶⁶ apud Chagas (2011) estabeleceram os fatores que influenciam as tensões de tração:

- a resistência à tração, em geral, varia com a resistência à compressão. Entretanto, cresce em proporções diferentes⁶⁷;

- a resistência do agregado graúdo constituinte tende a influenciar na resistência à tração do concreto, ou seja, quanto maior a resistência do agregado graúdo, maior será a resistência à tração do concreto;

- quanto maior a área total, ou seja, menor a dimensão do agregado, maior será a resistência à tração em consequência do aumento das tensões de aderência na pasta entre o cimento e o agregado⁶⁸.

2.4.4 Módulo de Elasticidade

O concreto apresenta deformações elásticas e inelásticas no carregamento e deformações, que comumente levam à fissuração, ocorrem como resultado da reação do material à carga externa e ao ambiente. As deformações resultantes da ação de uma carga não são diretamente proporcionais à tensão aplicada e não são totalmente recuperadas após o descarregamento⁶⁹.

Quando exposto às intempéries do meio externo, como temperatura e umidade, o concreto recém-endurecido, carregado ou não, normalmente sofre contração térmica em consequência do resfriamento, tendo em vista que as reações exotérmicas entre os compostos do cimento e a água tendem a elevar a temperatura do concreto, e retração por secagem, associada à perda de umidade. Para o cálculo dessas deformações dos elementos estruturais de concreto, utiliza-se como grandeza mecânica o módulo de elasticidade.

⁶⁶ BANFORTH, Phil; CHISHOLM, D.; GIBBS, J.; HARRISON, T., Propriedades do concreto for use in Eurocode , 53p., Published January 2008, Prince Group , Surey, 2008.

⁶⁷ JACINTHO, Ana Elisabete P.G. de, GIONCO, José Manuel, Resistência Mecânica do Concreto, cap 20, Concreto: ensino, pesquisa e realizações, v.1, IBRACON, São Paulo, 2005.

⁶⁸ NEVILLE, Adam Matthew, Propriedades do Concreto, tradução SALVADOR, E. Giammusso. – São Paulo: Pini, 1982.

⁶⁹ CONCRETO. Microestrutura, Propriedades e Materiais. P. Kumar Metha & Paulo J.M. Monteiro. 2. ed. São Paulo, IBRACON, 2014.

Em análise às curvas tensão – deformação ($\sigma - \epsilon$), características para cada agregado, pasta de cimento e concreto carregado em compressão uniaxial, conclui-se que o concreto, ao contrário do agregado e da pasta de cimento, não é um material elástico, em consequência da existência, antes mesmo da aplicação do carregamento externo, de microfissuras na zona de transição entre a matriz de argamassa e o agregado graúdo. Essas microfissuras podem ser divididas em fissuras de aderência (na interface entre o agregado e a argamassa), e fissuras da argamassa (no interior da argamassa)⁷⁰.

Segundo Neville (1982)⁷¹, a zona de transição trata-se de uma camada com espessura de 1 a 100 microns, localizada entre a pasta de cimento e o agregado com propriedades físicas diferentes da pasta de concreto.

O efeito da vibração no concreto faz com que surjam zonas de alta pressão no interior da massa deslocando-se a nata de cimento com elevado teor de água para regiões menos pressionadas, este fenômeno causa, por exemplo, a exsudação da nata⁷². A quantidade e a abertura dessas fissuras em uma amostra de concreto dependem, dentre outros fatores, das características de exsudação e do histórico de cura do concreto⁷³.

As propriedades do agregado também têm influência sobre o módulo de deformação, quanto maior o módulo de deformação do agregado, maior o módulo de deformação do concreto. A relação entre o módulo de deformação e a resistência depende também das propriedades da mistura, pois o agregado, em geral, tem módulo maior que o da pasta, e da idade do concreto; em idades maiores o módulo aumenta mais rapidamente do que a resistência⁷⁴.

⁷⁰ Pfeil, W. . Concreto Armado I, 5 ed., Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e científicos Editora Ltda, 1988.

⁷¹ NEVILLE, Adam Matthew. Propriedades do Concreto, tradução SALVADOR E. Giammusso. 1ed. São Paulo, PINI, 1982.

⁷² CHAGAS, R. M. P. . Estudo do concreto laterítico dosado com aditivo plastificante à base de lignosulfonato, Dissertação M. SC, UFCG, 2011.

⁷³ CONCRETO. Microestrutura, Propriedades e Materiais. P. Kumar Metha & Paulo J.M. Monteiro. 2. ed. São Paulo, IBRACON, 2014.

⁷⁴ NEVILLE, op. Cit.

Segundo Monteiro, Helene e Kang (1993)⁷⁵ apud Chagas (2011)⁷⁶, para uma resistência normal do concreto, o agregado deve ser tão forte quanto a matriz e a zona de transição. Entretanto a resistência dessas duas fases é controlada pelo fator água/cimento – a/c e o módulo de elasticidade é altamente influenciado por outros parâmetros, como volume de agregados ou teor de cimento.

Segundo Mehta e Monteiro (2014), com relação ao nível de tensão (expresso em porcentagem de carga) e a microfissuração do concreto, o comportamento do concreto pode ser dividido em quatro fases distintas (figura 2.8).

- *1ª fase*: abaixo de cerca de 30% da carga última, a curva $\sigma - \epsilon$ permanece linear, as fissuras na zona de transição permanecem estáveis;
- *2ª fase*: entre 30% e 50% da carga última, a quantidade de fissuras aumenta e as pré-existentes aumentam seu comprimento e abertura;
- *3ª fase*: até 75% da tensão máxima, o sistema de fissuração na zona de transição se torna instável e há um surgimento de fissuras na matriz;
- *4ª fase*: o sistema de fissuração se torna contínuo com o aumento das tensões, alcançando o nível crítico e o material se deforma até romper.

⁷⁵ MONTEIRO, P. J. M.; HELENE, P. R. L.; KANG, S.H.; Designing concrete mixtures for strength, elastic modulus and fracture energy, *Materials and Structures*, c.26, p443-452, paper, 1993.

⁷⁶ CHAGAS, R. M. P. . Estudo do concreto laterítico dosado com aditivo plastificante à base de lignosulfonato, Dissertação M. SC, UFCG, 2011.

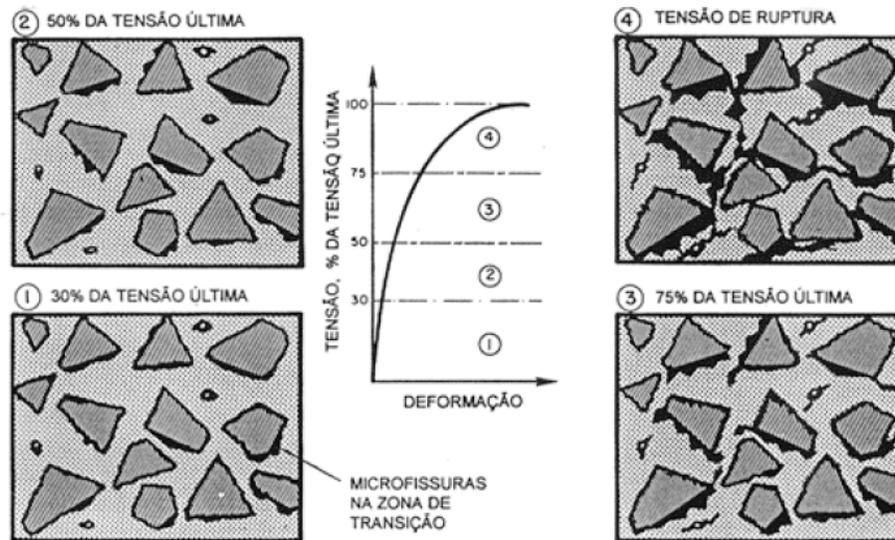


Figura 2.8 – Representação esquemática do comportamento tensão x deformação do concreto sob compressão uniaxial (Fonte: Mehta e Monteiro, 1994 apud CHAGAS, R. M. P., 2011).

2.5 Dosagem

O desenvolvimento histórico da tecnologia do concreto mostra que, nos últimos duzentos anos, um significativo número de pesquisadores e técnicos de diversos países tem dedicado tempo, investimentos e grandes quantidades de recursos naturais no estudo e desenvolvimento dos elementos constituintes do concreto, no aprimoramento das técnicas de produção e no entendimento da composição e da estrutura final das pastas, argamassas, e misturas de cimento e agregado⁷⁷.

A heterogeneidade dos materiais que compõem os concretos e a complexidade do seu comportamento, tanto no estado fresco quando no endurecido, representam sempre um desafio aos técnicos responsáveis pela fabricação e emprego dos concretos, ficando claro que a proporção dos materiais a serem utilizados não pode ser facultativa e que se faz necessário obterem como produto final um conglomerado compacto e sólido⁷⁸.

⁷⁷ HELENE, P. R. L.. Contribuição para o estabelecimento de parâmetros para dosagem e controle de concreto de cimento Portland. Tese Doutorado. EPUSP, São Paulo, 1987.

⁷⁸ HELENE, Paulo; TERZIAN, Paulo. Manual de Dosagem e Controle do Concreto. Ed. PINI; São Paulo – SP, 1994.

O estudo de dosagem procura fixar e selecionar a melhor proporção dos materiais constituintes do concreto, almejando a melhor durabilidade, trabalhabilidade, desempenhos físico-mecânicos, qualidade superior e custos significativamente menores⁷⁹.

O método de dosagem adotado neste estudo é o apresentado no Manual de Dosagem e Controle de Concreto, método IPT/EPUSP, e trata-se de um procedimento essencialmente experimental e que demanda inicialmente poucas informações quanto às características dos agregados.

O método procura a obtenção de traços com teores mínimos de argamassa suficientes para preencher os vazios entre os grãos do agregado graúdo e miúdo, e que possibilitem atender as necessidades de transporte, lançamento, adensamento e acabamento. Para isso o Método IPT/EPUSP propõe a construção de um diagrama de dosagem (figura 2.9) que correlaciona a resistência característica à compressão (f_{ck}), o fator água/cimento (a/c), a relação agregado/cimento (m) e o consumo de cimento por metro cúbico de concreto (C).

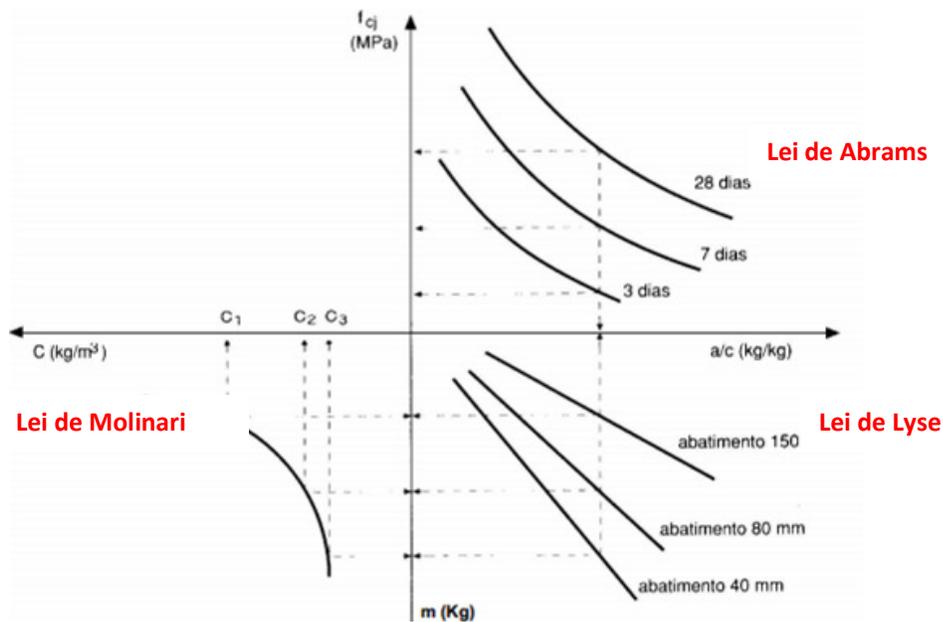


Figura 2.9 – Ilustração de um diagrama de dosagem (Fonte: Helene; Terzian 1994).

⁷⁹ BOGGIO, A. J. . Estudo comparativo de métodos de dosagem de concretos de cimento Portland. Dissertação de Mestrado. UFRGS. Porto Alegre, 2007.

Essas correlações seguem as seguintes leis de comportamento do concreto.

- a. **Lei de Lyse:** Para concretos fabricados com os mesmos materiais, da mesma natureza, mesma forma e mesma textura e característica física, a massa de água é constante, independente do traço, a mesma relação de agregados. Ou seja, representa a quantidade de água por metro cúbico a uma dada consistência para os mesmo materiais, correlacionando o fator água/cimento com o valor do traço seco (agregado/cimento).
- b. **Lei de Abrams:** Correlaciona os valores de resistência à compressão com a relação água/cimento (a/c).
- c. **Lei de Molinari:** Correlaciona o consumo de cimento por metro cúbico com a relação do valor do traço seco (agregado/cimento) através de uma curva tipo.

2.6 Resumo do Capítulo

a) Concreto

O concreto é o composto do produto entre cimento Portland, agregados graúdos, agregados miúdos e água, podendo ou não ser acrescentado outros constituintes com propósito de melhorar suas características físicas e mecânicas. Os agregados podem ser classificados, quanto a sua origem, como naturais ou artificiais, exercem influências diretas a resistência, densidade e trabalhabilidade do concreto.

b) Seixo Rolado

O seixo rolado apresenta formas angulosas, arredondadas e superfície lisa. Na sua composição pode-se encontrar várias formas microcristalinas de quartzo e, mais raramente, fragmentos de arenito e calcário. Agregado natural proveniente de erosão, intemperismo geológico e, no caso do existente na região de Teresina, de sedimentação detrítica encontradas nas áreas de domínio das Formações Piauí e Pedra de Fogo e são extraídos através do peneiramento do complexo “massará/seixo”.

c) Propriedades do Concreto

A trabalhabilidade do concreto, uma propriedade do concreto no seu estado fresco, é diretamente correlacionada à quantidade de água da mistura, ao consumo de cimento e as características do agregado. Nos estudos relativos ao concreto a resistência à compressão simples é a propriedade mais estudada, em virtude do concreto apresentar excelente resistência à compressão. Por se tratar de um estudo de análise dos agregados para fabricação de concreto, a resistência à tração também foi analisada através do ensaio de compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. O estudo das deformações dos corpos-de-prova de concreto é determinado pelo módulo de elasticidade, através de ciclos de carregamentos.

d) Dosagem

A dosagem do concreto é um estudo experimental das proporções ideais de agregados (grauído e miúdo), água e cimento, no intuito de atingir uma resistência pré-estabelecida. O método IPT/EPUSP procura obter, de forma rápida e prática, traços com teores mínimos de argamassa através da construção do Diagrama de Dosagem com base nas Leis de Lyse, Abrams e Molinari.

CAPITULO III

3. Materiais e métodos

Neste capítulo serão descritos os materiais e métodos utilizados na pesquisa, adotando como resistência característica do concreto à compressão de 25,0 MPa por ser, com base nas pesquisas de campo, a mais utilizada na cidade de Teresina e, também, acima do valor mínimo (20 MPa) normatizado pela NBR6118:2014 para fabricação de concreto estrutural.

3.1 Materiais

Os materiais que serão utilizados para este trabalho são encontrados disponíveis na região metropolitana de Teresina – PI, e serão:

- **Cimento: Nassau CP-IV-Z-32** – Cimento Portland com adição de pozolana, fabricado em Itapissuma S/A do Grupo João Santos, localizada na cidade de Fronteiras do Piauí, distante 453,0 km da capital piauiense, sendo a única fábrica de cimento do estado dentre as 28 fábricas do Nordeste e dentre as 85 fábricas do Brasil, segundo a SNIC (2012-2013)⁸⁰, gerando uma maior oferta e, conseqüentemente, uma maior utilização na produção de concreto estrutural pelas concreteiras de Teresina;

- **Agregados miúdos:** areia fornecida nos depósitos de material de construção da cidade de Picos, extraída do Rio Santo Antônio, nas proximidades da cidade de Santo Antônio de Lisboa - PI. Por apresentar uma grande quantidade de seixos rolados na sua composição, proveniente da falta de qualquer beneficiamento e métodos de extração informal, todo o agregado miúdo foi peneirado na peneira nº4, conforme mostra a figura 3.1;

⁸⁰ SNIC – Sindicato Nacional da Indústria do Cimento, relatório anual, 38p., 2012.



Figura 3.1 – Peneiramento do agregado miúdo.

- **Agregados graúdos:** seixo rolado extraído de uma jazida localizada em Teresina e fornecido pela empresa JRR Castro (Figura 3.2), extraído da jazida Penuda, localizada na periferia de Teresina, e a brita de rocha granítica explorada pela empresa THEMIX Indústria de Brita e Construção LTDA, figura 3.3, nas proximidades da cidade de Monsenhor Gil, distante 62,0km da cidade de Teresina;



Figura 3.2 – Ponto de coleta do seixo rolado localizado em Teresina – PI.



Figura 3.3 – Britador e pedreira da empresa THEMIX Indústria de brita e construção LTDA, localizado no município de Monsenhor Gil – PI.

- **Água potável:** destinada ao consumo humano, fornecida pela Companhia de Água e Esgotos do Piauí (AGESPISA).

3.2 Métodos

O fluxograma, ilustrado na figura 3.5, demonstra como o estudo experimental foi realizado, ficando dividido nas seguintes etapas:

1ª Etapa: Localização das jazidas, coleta e transporte (figura 3.4) dos agregados graúdos, uma parte para o Laboratório de Solos e Concreto do 3º Batalhão de Engenharia de Construção – BEC na cidade de Picos – PI e outra parte para o Laboratório do Campus I da Universidade Federal de Campina Grande;



Figura 3.4 – Coleta e transporte de material pétreo (brita) da empresa THEMIX Indústria de brita e construção Ltda.

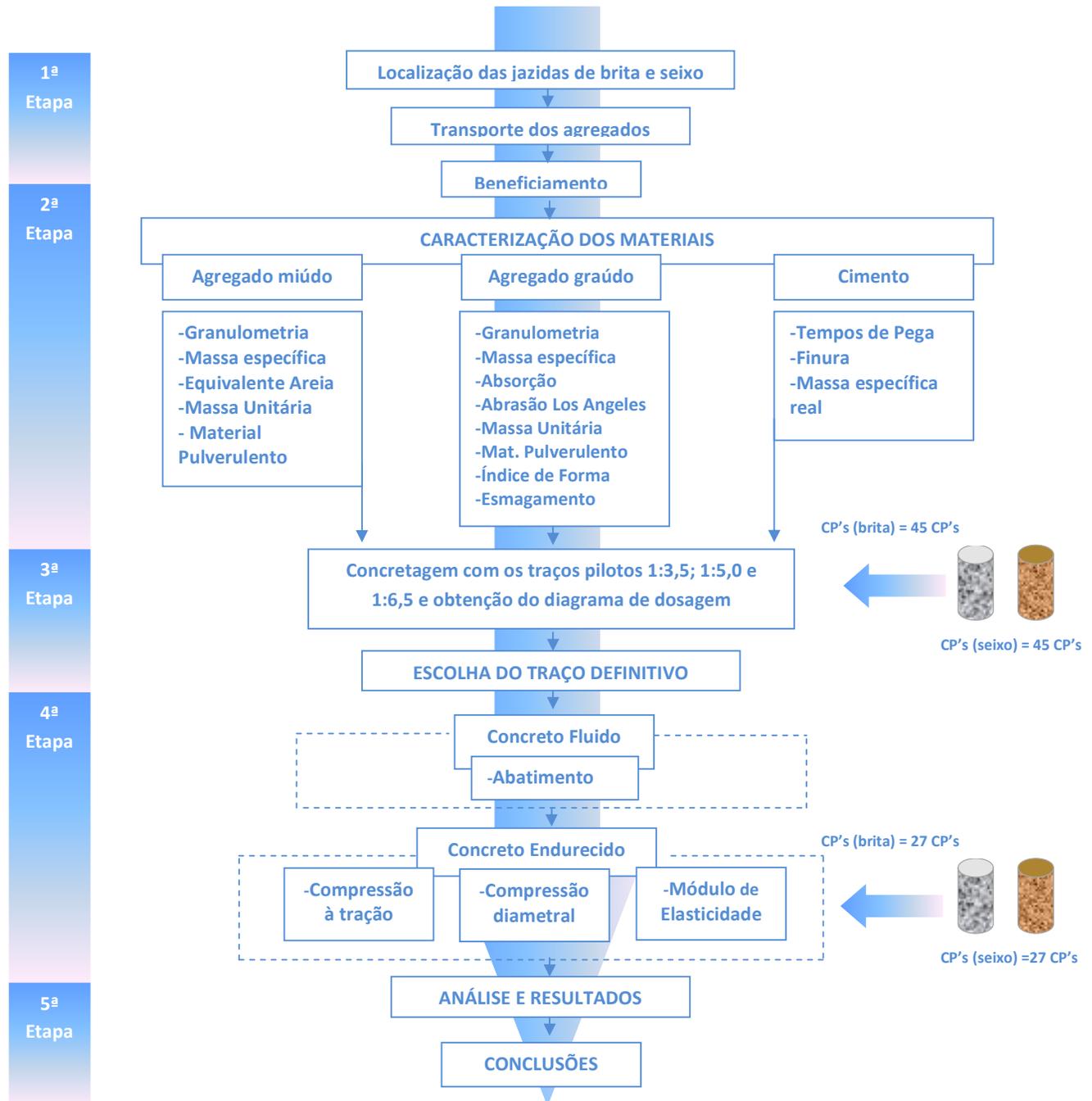


Figura 3.5 – Fluxograma de atividades.

2ª Etapa: Caracterização das propriedades físicas dos agregados graúdos e miúdos.

3ª Etapa: Elaboração dos traços pilotos 1:3,5; 1,5,0 e 1,6,5 obtenção dos diagramas de dosagem. O procedimento será o apresentado no livro “Manual de Dosagem e Controle de Concreto”, proposto por Helene e Terzian. Com base nesses diagramas de dosagem, são estabelecidos os traços definitivos para os concretos com os dois tipos de agregados graúdos, em estudo e rompidos às idades de 3, 7, 14, 21 e 28 dias.

4ª Etapa: Execução dos concretos, realização dos ensaios no concreto fresco e em seguida moldagem dos corpos de prova. Serão moldados 144 (cento e quarenta e quatro) corpos de provas para os traços pilotos, distribuídos conforme Tabela 3.1 e rompidos a 3, 7 e 28 dias da data da moldagem.

Tabela 3.1: Distribuição quantidade de corpos de prova.

Data de Ruptura	Diagrama de Dosagem					Estudo Principal			Total de CP
	3 dias	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias	3 dias	7 dias	28 dias	
Resistência à compressão Simples	18	18	18	18	18	6	6	6	108
Resistência à tração por compressão diametral	-	-	-	-	-	6	6	6	18
Módulo de Elasticidade	-	-	-	-	-	6	6	6	18
Total de CP's	90 CP's					54 CP's			144 CP's

5º Etapa: Realização dos ensaios de laboratório no concreto endurecido: resistência à compressão simples f_{cc} , resistência à tração por compressão diametral $f_{ct,sp}$ e módulo de elasticidade E_c ;

6º Etapa: Análise dos resultados e conclusão da pesquisa.

3.2.1 Planejamento da Pesquisa

Para atingir o objetivo, com base nas normas vigentes, o concreto fabricado com seixo rolado e brita granítica foi analisado em seu estado fresco e endurecido.

3.2.1.1 Variáveis de estudo

No arcabouço da pesquisa foram considerados parâmetros fixados, variáveis independentes e variáveis dependentes, são eles:

a. Parâmetros fixados

- Cimento;
- Agregado graúdo;
- Agregado miúdo;
- Água potável.

b. Variáveis independentes

São as variáveis previamente fixadas com o propósito de verificar a reação das suas variações sobre as variáveis dependentes.

- **Traço do concreto:** o método adotado na pesquisa foi o proposto pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT-SP, onde prevê inicialmente a fabricação de um traço 1:5,0 e outros dois traços, denominados rico e pobre, sendo 1:3,5 e 1:6,5, respectivamente. Obtendo-se o traço definitivo através do diagrama de dosagem a partir desses três traços.

- **Consistência do Concreto:** através do ensaio de tronco de cone, regido pela ABNT NBR 7223: 1998 foi medida a consistência adotada de 60 ± 10 mm.

c. Variáveis dependentes

As variáveis dependentes estão diretamente relacionadas aos objetivos da pesquisa e suas características dependem dos resultados e alterações sofridas pelas variáveis independentes. Para estudo as variáveis dependentes são:

- Resistência à compressão;
- Resistência à tração indireta por compressão diametral;
- Módulo de elasticidade por ciclos de carregamento;

3.2.2 Parâmetros de dosagem

Nesta pesquisa adotou-se o método apresentado no Manual de dosagem e controle de concreto, proposto por Helene e Terzian (IPT) que consiste em traçar um diagrama de dosagem, através de traços experimentais, fabricados em função do consumo de agregados, cimento e fator água-cimento (figura 3.6), relacionando-as às propriedades do concreto endurecido.



Figura 3.6 – Arranjo das materiais para determinação do teor de argamassa do traço experimental 1:5,0 com seixo rolado e com brita granítica.

3.2.2.1 Mistura, moldagem, armazenamento e cura

O concreto foi confeccionado no Laboratório de Solos e Concreto do 3º Batalhão de Engenharia de Construção na cidade de Picos – PI, utilizando uma betoneira de 400 litros. Inicialmente foi confeccionado um traço 1:5,0, com os agregados graúdos em estudos com a finalidade de se obter o teor de argamassa ideal para um abatimento do tronco de cone.

Inicialmente a betoneira foi imprimada com traço 1:2:3 e fator a/c 0,65 e em seguida a colocação dos materiais na betoneira na seguinte ordem: 100% do agregado graúdo e 40% da água de amassamento, em seguida colocou-se o agregado miúdo e 20% da água de amassamento e por fim o cimento e o restante da água. A consistência,

a homogeneidade da argamassa e o aspecto visual do concreto eram observados constantemente com auxílio de uma colher-de-pedreiro.

3.2.2.2 Consistência do concreto

Foi adotada uma consistência de 60 ± 10 mm para o concreto em estudo e medida através do ensaio de abatimento de tronco de cone, com procedimentos e materiais preconizados na ABNT NBR 7223: 1998.

3.2.2.3 Adensamento e moldagem dos corpos de prova

Para o adensamento dos corpos de prova foi adotado o vibrador de imersão, com agulha de 25 mm de comprimento e 2,5 cm de diâmetro, conforme o proposto na ABNT NBR 5738: 1994 e mostrado na figura 3.7.



Figura 3.7 – Adensamento mecânico com uso de vibrador de imersão.

Após a moldagem os corpos de prova foram mantidos em repouso por um período de 24 horas e cobertos com papel-filme (figura 3.8). Passado as 24 horas, os corpos de prova foram desmoldados e imersos em um tanque com água e cal. Retirados 24 horas antes da data de ruptura, secados ao ar livre e em seguida ensaiados.



Figura 3.8 – Corpos-de-prova cobertos com papel-filme.

3.3 Ensaios

3.3.1 Ensaios no concreto fresco

Para a avaliação da consistência, ou seja, a quantidade de água existente no concreto no seu estado fresco e, também, avaliar a sua trabalhabilidade, utilizou-se o ensaio de abatimento de tronco de cone (ABNT NBR 7223 NM 67: 1998), figura 3.9. A medida da trabalhabilidade é feita pelo abatimento (deformação) causado na massa de concreto pelo seu peso próprio. Esse ensaio foi divulgado no Brasil por Ary Torres, em seu trabalho pioneiro sobre dosagem do concreto⁸¹.



Figura 3.9 – Ensaio de abatimento de tronco de cone realizado no laboratório de solos e concreto do 3º BEC.

⁸¹ PETRUCI, E. Concreto de cimento Portland. São Paulo: Globo, 1998.

3.3.2 Ensaios no concreto endurecido

A resistência à compressão é a propriedade mais valorizada pelos projetistas e engenheiros de controle de qualidade⁸². Entretanto, foram estudadas outras propriedades do concreto endurecido, tais como: resistência à tração por compressão diametral e módulo de elasticidade.

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados no Laboratório de Solos e Concreto do 3º BEC, em Picos - PI, onde foram produzidos e moldados todos os corpos-de-prova referentes à pesquisa. Para a realização dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral e módulo de elasticidade, os corpos-de-prova foram transportados para cidade de Teresina – PI, distante 300 km da cidade de Picos, onde foram rompidos no laboratório da empresa BM Engenharia e no Laboratório de Estruturas do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Piauí, respectivamente.

Para o transporte, os corpos-de-prova foram acondicionados em uma caixa de madeira e revestidos com pó de serra e areia, ambos umedecidos para evitar que as amostras sofressem choque ou vibração (figura 3.10).



Figura 3.10 – Corpos-de-prova acondicionados para transporte de Picos para Teresina.

⁸² MEHTA e MONTEIRO, Concreto. Microestrutura, Propriedades e Materiais/ Provindar K. Metha & Paulo J.M. Monteiro. 2. ed. São Paulo, IBRACON, 2014.

3.3.2.1 Resistência à Compressão Simples, f_{cc} .

Para os traços experimentais, tanto para agregados graúdos de seixo rolado como agregado graúdo de brita granítica, 1:3,5; 1:5,0; e 1:6,5 foram moldados corpos-de-prova cilíndricos 15,0 cm x 30,0 cm e rompidos nas idades 3, 7, 14, 21 e 28 dias. Para os traços definitivos foram moldados corpos-de-prova com as mesmas dimensões e rompidos nas idades de 3, 7 e 28 dias, como ilustrado na figura 3.11. Os corpos de provas foram rompidos na prensa elétrica hidráulica Modelo i – 3025 da empresa Contenco Indústria e Comércio LTDA, com capacidade de 100 toneladas e leitura digital.



Figura 3.11 – Ensaio de resistência à compressão.

3.3.2.2 Resistência à tração por compressão diametral, $f_{ct,sp}$

Nos ensaios de resistência à tração por compressão diametral os corpos-de-prova são submetidos a cargas de compressão ao longo de duas geratrizes opostas onde são aplicadas tensões de compressão, produzindo uma tensão de tração transversal, que não é uniforme. Para esse ensaio foram utilizados corpos-de-prova cilíndricos de 15,0 cm x 30,0 cm e taliscas de madeira dispostas sobre as geratrizes dos corpos-de-prova, como normatizado pela ABNT NBR 7222:1994, como ilustrado na figura 3.12.



Figura 3.12 – Ensaio de resistência à tração por compressão diametral realizado no laboratório da BM Engenharia.

3.3.2.3 Módulo de Elasticidade E_c .

O ensaio de módulo de elasticidade foi realizado no Laboratório de Metalografia e Ensaio Mecânicos do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Piauí, segundo os métodos estabelecidos pela ABNT NBR 8522:2003.

Para realização do ensaio foi utilizada uma Prensa Hidráulica (figura 3.13) de acionamento elétrico e Módulo Eletrônico de leitura, modelo PC200C com capacidade de carga de até 200 toneladas permitindo assim ensaios em concretos de alto desempenho, dispondo de recursos avançados de leitura e aquisição de resultados.



Figura 3.13 – Ensaio de módulo de elasticidade realizado no Laboratório de Metalografia e Ensaio Mecânicos do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Piauí - UFPI

Para medição das deformações foi acoplado como acessório o Extensômetro Eletrônico Emic modelo EEDA (figura 3.14), dotado de sensores eletrônicos, localizados no seu núcleo, que visam às medições de deformações.



Figura 3.14 – Extensômetro Eletrônico Emic modelo EEDA.

CAPITULO IV

4. Resultados e discussões.

Este capítulo apresenta os resultados da caracterização dos agregados miúdos e graúdos de seixo rolado e brita granítica, cimento, ensaios no concreto fresco e endurecido ensaio de resistência à compressão axial, ensaio de resistência à tração por compressão diametral e módulo de elasticidade.

4.1 Caracterização dos agregados.

4.1.1 Agregado Miúdo

Foi utilizado como agregado miúdo a areia fornecida pelos depósitos de material de construção da cidade de Picos, proveniente do Rio Santo Antônio, localizado no município de Santo Antônio de Lisboa – PI. Os ensaios de caracterização estão apresentados nas Tabelas 4.1 e 4.2. A figura 4.1 ilustra a curva granulométrica do agregado miúdo utilizado na pesquisa.

Tabela 4.1: Distribuição granulométrica do agregado miúdo.

Composição Granulométrica (ABNT NBR 7217:1978) - Areia					
Peso da Amostra (g)					5.000,0
Peneiras (mm)	Peso retido (g)	%	%	%	
		Retido	Retido Acumulado	Passando	
4,80	38,00	1,90	1,90	100,00	
2,40	158,0	7,90	9,80	70,50	
1,20	279,0	13,95	23,80	52,10	
0,60	662,0	33,10	56,90	30,50	
0,30	633,0	31,65	88,50	20,40	
0,15	171,0	8,55	97,10	6,10	
0,07	48,00	2,40	99,00	2,20	
FUNDO	11,00	0,55	100,00	0,00	

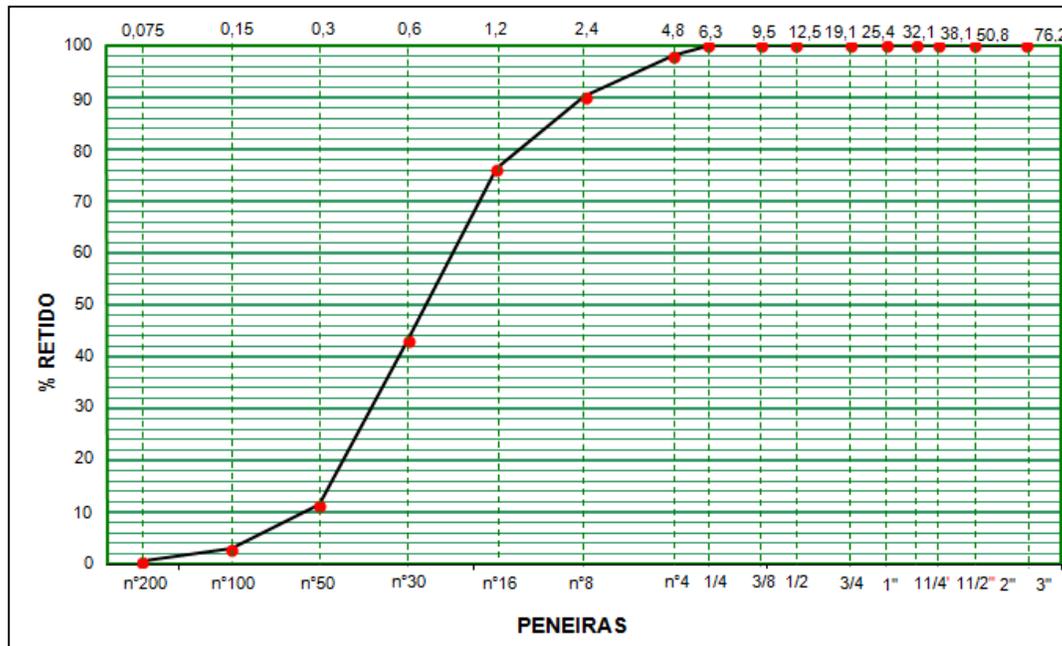


Figura 4.1 – Ilustra a curva granulométrica do agregado miúdo

Tabela 4.2: Propriedades físicas do agregado miúdo.

Ensaio (AREIA)	Limites	Valor Obtido
Equivalente de Areia (DNER ME 054/94)	-	Eq. = 85,76%
Massa específica Seca (ABNT NBR 9775 : 1987)	-	2,66 g/cm ³
Módulo de Finura (ABNT NBR 7217 : 1978)	-	2,78 g/cm ³
Materiais Pulverulentos (ABNT NBR 7219 : 1987)	-	MP = 0,084 %

4.1.2 Agregado Graúdo

4.1.2.1 Seixo Rolado

Os ensaios de caracterização física do seixo rolado nº 01 e ° 02, utilizado como agregados graúdos e suas propriedades físicas são apresentados nas Tabelas 4.3, 4.4 e 4.5, respectivamente. A figura 4.2 e 4.3 ilustram as curvas granulométricas dos agregados graúdos seixo nº01 e seixo nº 02, respectivamente.

Tabela 4.3: Distribuição granulométrica do seixo nº01.

Composição Granulométrica (ABNT NBR 7217:1978) - Seixo nº01				
Peso da Amostra (g) 5.000,0				
Peneiras (mm)	Peso retido (g)	%	%	%
		Retido	Retido Acumulado	Passando
19,10	0,00	0,00	0,00	100,00
12,70	1.475,00	29,50	29,50	70,50
9,520	918,00	18,40	47,90	52,10
4,760	1.084,00	21,70	69,50	30,50
2,000	502,00	10,00	79,60	20,40
0,420	715,00	14,30	93,90	6,10
0,177	198,00	4,00	97,80	2,20
0,074	34,00	0,70	98,50	1,50
300,0	34,00	0,70	99,20	0,80
150,0	19,00	0,40	99,60	0,40
FUNDO	21,00	0,40	100,00	0,00

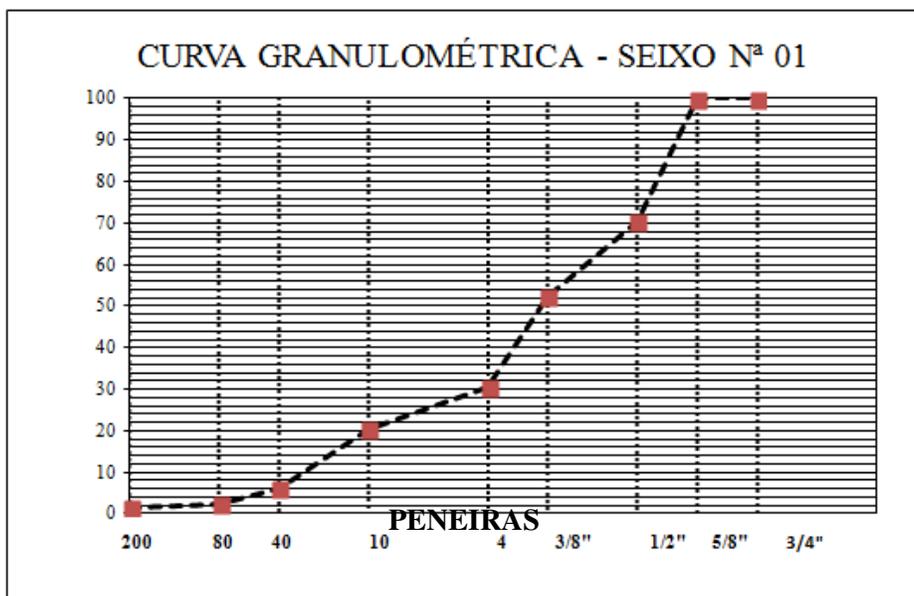


Figura 4.2 – Ilustra a curva granulométrica do agregado graúdo (seixo nº01)

Tabela 4.4: Distribuição granulométrica do seixo nº02.

Composição Granulométrica (ABNT NBR 7217:1978) - Seixo nº02				
Peso da Amostra (g) 5.000,0				
Peneiras (mm)	Peso retido (g)	%	%	%
		Retido	Retido Acumulado	Passando
19,0	1.470,00	29,40	29,40	70,60
12,5	3.053,00	61,10	90,50	9,50
9,5	311,00	6,20	96,70	3,30
6,3	54,00	1,10	97,80	2,20
4,7	10,00	0,20	98,00	2,00
2,4	10,00	0,20	98,20	1,80
1,18	5,00	0,10	98,30	1,70
600	8,00	0,20	98,40	1,60
300	19,00	0,40	98,80	1,20
150	26,00	0,50	99,30	0,70
FUNDO	34,00	0,70	100,00	0,00

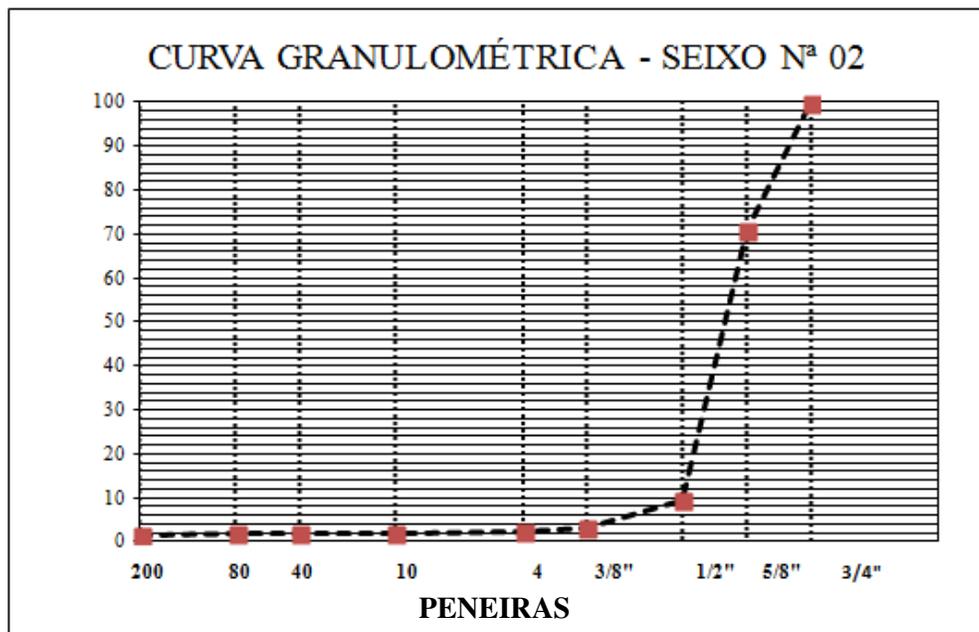


Figura 4.3 – Ilustra a curva granulométrica do agregado graúdo (seixo nº02)

Tabela 4.5: Propriedades físicas do seixo rolado, utilizado na base do estudo.

Ensaio (SEIXO)	Limites	Valor Obtido
Dimensão máxima característica (ABNT NBR 7217 : 1978)	-	DMC (Seixo nº01) = 19,0
	-	DMC (Seixo nº02) = 12,5
Absorção (DNER - ME 081/98)	-	Abs (Seixo nº01) = 0,25 %
	-	Abs (Seixo nº02) = 0,20 %
Esmagamento (ABNT NBR 9938 : 1985)	$\leq 35,0\%$	E Médio = 81,65%
Abrasão Los Angeles (ABNT NBR NE 51: 2001)	$\leq 55,0\%$	LA (Seixo Nº01)= 33,0 %
		LA (Seixo Nº02)= 27,5 %
Agregado em estado seco compactado: determinação da massa unitária (ABNT NBR 7810 : 1983)	-	MU (Seixo Nº01)= 1,741 g/cm ³
		MU (Seixo Nº02)= 1,741 g/cm ³
Índice de forma (ABNT NBR 7211 : 1994)	$\leq 3,00$	f (Seixo Nº01)= 0,83
		f (Seixo Nº02)= 0,87
Massa específica na condição seca (DNER ME 081/98)	-	(Seixo Nº01)= 2,63 g/cm ³
		(Seixo Nº02)= 2,64 g/cm ³
Massa específica na condição saturada superfície seca (DNER ME 195/97)	-	(Seixo Nº01)= 2,64 g/cm ³
		(Seixo Nº02)= 2,64 g/cm ³
Materiais Pulverulentos (ABNT NBR 7219 : 1987)	$\leq 1,0\%$	MP (Seixo Nº01)= 0,81 %
		MP (Seixo Nº02)= 0,18 %

4.1.2.2 Brita Granítica

A brita granítica utilizada na pesquisa foi a fornecida pela empresa THEMIX Indústria de Brita e Comércio Ltda, localizada na fazenda Bolívia, lote 69, Zona Rural de Monsenhor Gil – PI.

Os ensaios de caracterização física da brita granítica nº 01 e nº 02, utilizada como agregados graúdos e suas propriedades físicas são apresentados nas Tabelas 4.6, 4.7 e 4.8, respectivamente. As curvas granulométricas dos agregados graúdos de rocha granítica estão representadas nas figuras 4.4 e 4.5.

Tabela 4.6: Distribuição granulométrica brita granítica nº01.

Composição Granulométrica (ABNT NBR 7217:1978) - Brita nº01				
Peso da Amostra (g) 5.000,0				
Peneiras (mm)	Peso retido (g)	%	%	%
		Retido	Retido Acumulado	Passando
19,00	0,00	0,00	0,00	100,00
12,50	23,80	0,50	0,50	99,50
9,50	3.695,00	73,90	74,40	25,60
4,70	1.281,30	25,60	100,00	0,00

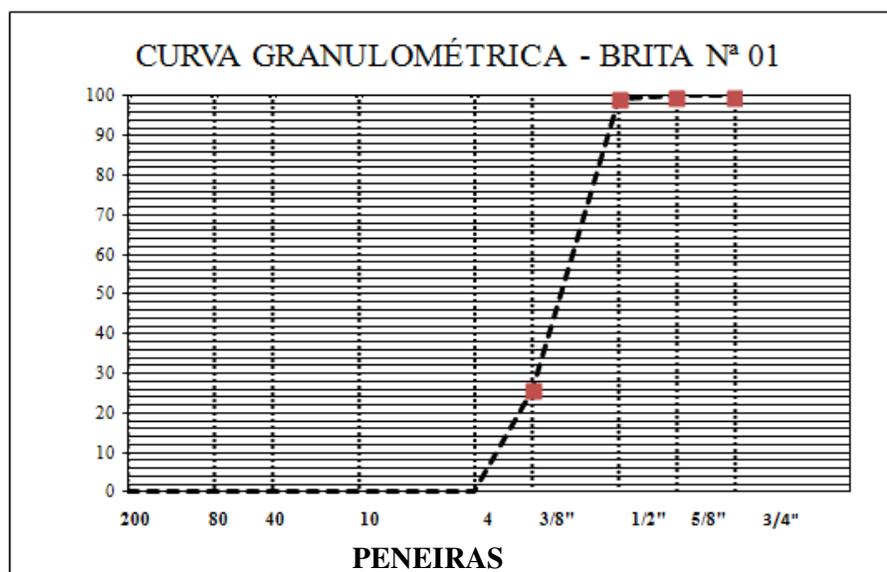


Figura 4.4 – Ilustra a curva granulométrica do agregado graúdo (brita nº01)

Tabela 4.7: Distribuição granulométrica brita granítica nº02.

Composição Granulométrica (ABNT NBR 7217:1978) - Brita nº02				
Peso da Amostra (g) 5.000,0				
Peneiras (mm)	Peso retido (g)	%	%	%
		Retido	Retido Acumulado	Passando
25,40	0,00	0,00	0,00	100,00
19,10	1.606,60	32,10	32,10	67,90
12,70	2.301,70	46,00	78,20	21,80
9,520	1.091,70	21,80	100,00	0,00
4,760	0,00	0,00	100,00	0,00

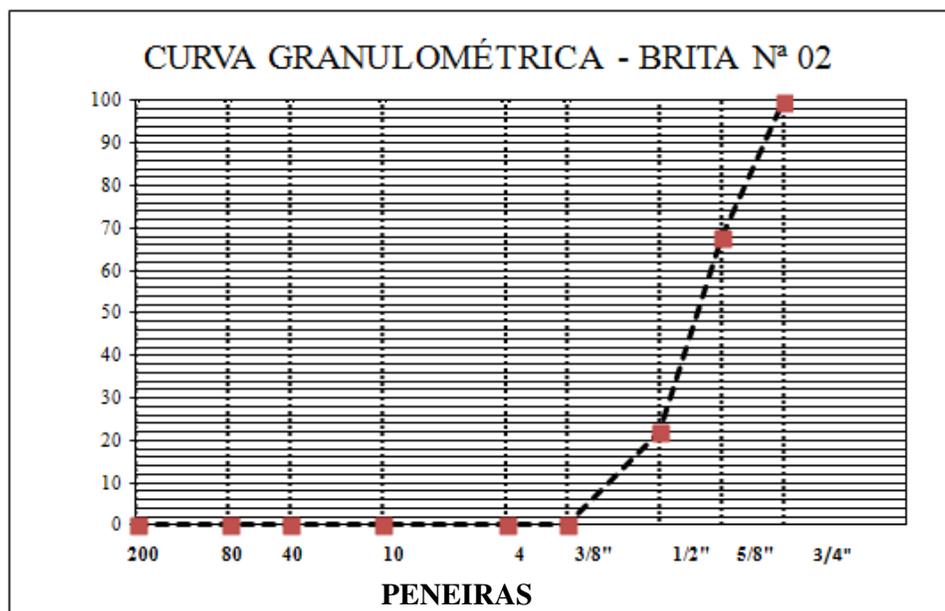


Figura 4.5 – Ilustra a curva granulométrica do agregado graúdo (brita nº02)

Tabela 4.8: Propriedades físicas da brita granítica.

Ensaio (BRITA)	Limites	Valor Obtido
Dimensão máxima característica (ABNT NBR 7217 : 1978)	-	DMC (Brita nº01) = 19,0
	-	DMC (Brita nº02) = 12,5
Absorção (DNER - ME 081/98)	-	Abs (Brita nº01) = 0,85 %
	-	Abs (Brita nº02) = 0,50 %
Esmagamento (ABNT NBR 9938 : 1985)	≤ 35,0%	E Médio = 91,20%
Abrasão Los Angeles (ABNT NBR NE 51: 2001)	≤ 55,0%	LA (Brita Nº01)= 13,90 %
		LA (Brita Nº02)= 11,20 %
Agregado em estado seco compactado: determinação da massa unitária (ABNT NBR 7810 : 1983)	-	MU (Brita Nº01)= 1,639 g/cm ³
		MU (Brita Nº02)= 1,639 g/cm ³
Índice de forma (ABNT NBR 7211 : 1994)	≤ 3,00	f (Brita Nº01)= 0,51
		f (Brita Nº02)= 0,87
Massa específica na condição seca (DNER ME 081/98)	-	(Brita Nº01)= 2,84 g/cm ³
		(Brita Nº02)= 2,86 g/cm ³
Massa específica na condição saturada superfície seca (DNER ME 195/97)	-	(Brita Nº01)= 2,87 g/cm ³
		(Brita Nº02)= 2,88 g/cm ³
Materiais Pulverulentos (ABNT NBR 7219 : 1987)	≤ 1,0%	MP (Brita Nº01)= 1,53 %
		MP (Brita Nº02)= 0,46 %

a. Granulometria

Para confecção do concreto utilizou-se duas granulometrias, tanto para o seixo como para a brita de rocha granítica, a granulometria comercialmente denominada nº01, (12,0mm) e nº02 (19,0 mm), e suas proporções foram definidas de acordo com proposto por Helene e Terzian (1994) no Manual de Dosagem e Controle do Concreto.

b. Esmagamento

Para o seixo rolado o valor encontrado para resistência ao esmagamento foi de 81,65% e para a brita granítica, foi de 91,20%. Se compararmos os valores encontrados com o valor limite de 35,0%, estabelecido pela ABNT NBR 9938: 1985, para utilização de concretos submetidos ao desgaste superficial e de 45,0% para os demais tipos, observa-se que os dois agregados apresentaram valores satisfatórios, sendo a brita granítica, aproximadamente, 10,5% mais resistente que o seixo rolado (figura 4.6).



Figura 4.6 – Resistência ao esmagamento dos agregados graúdos utilizados na pesquisa.

c. Abrasão Los Angeles

No ensaio de abrasão Los Angeles, os valores obtidos para o seixo rolado nº 01 foram de 33,0% e nº02, 27,5%. Já para brita granítica nº 01 o valor encontrado foi de 13,9% e para a brita nº 02, foi de 11,2%. Observa-se que o seixo rolado nº 01 apresentou desgaste 237,4% maior que o da brita granítica nº01, e de 245,0% maior para a numeração 02 (figura 4.7). De posse dos valores de Abrasão Los Angeles dos agregados em estudo, verifica-se que ambos apresentaram valores dentro do limite 55%, estabelecido pela norma brasileira DNER-ES 303/1997.

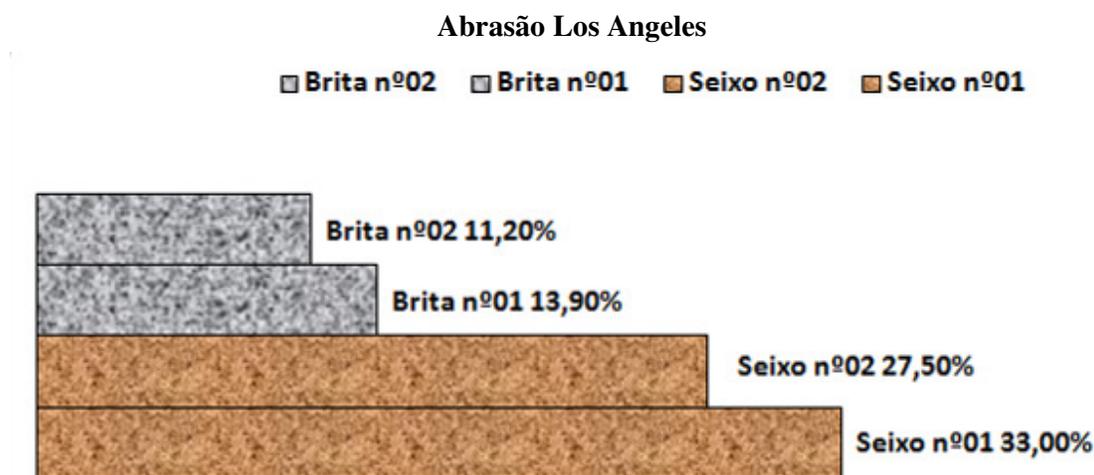


Figura 4.7 – Valores encontrados para Abrasão Los Angeles.

d. Absorção

Dos valores encontrados para a absorção dos agregados (figura 4.8), observa-se que a brita, em consequência da sua porosidade, característica dos agregados graníticos, apresentou valores mais altos quando comparados com o seixo rolado, justificando-se a diferença devido à sua superfície lisa e polida. Essas características influenciaram na correção do fator água-cimento do concreto e no teor de argamassa, consequentemente na trabalhabilidade do concreto, quando fabricados para os mesmos valores de abatimento de tronco de cone (60 ± 10 mm).

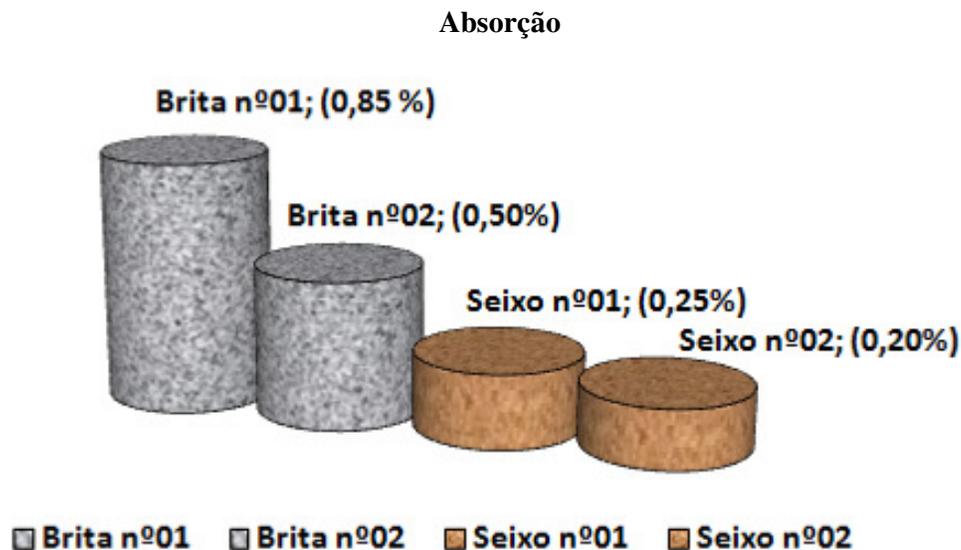


Figura 4.8 – Absorção dos agregados graúdos (brita e seixo).

e. Materiais pulverulentos

O material pulverulento adere à superfície do agregado graúdo formando uma camada isolante na base interface pasta/agregados, prejudicando a aderência da pasta e reduzindo a resistência do concreto, interferindo no consumo de água, nas resistências: à compressão simples, à tração e abrasão do concreto. Devido ao seu processo de beneficiamento, lavagem e separação, o seixo rolado apresentou valores inferiores ao da brita granítica, apesar de que, visivelmente, o seixo apresente uma condição menos satisfatória que a brita. Entretanto, os valores encontrados de 0,81% para o seixo nº01 e 0,18% para o seixo nº02, se comparados com o limite de 1%, apresentam valores aceitáveis, como também a brita nº 02 que se constatou 0,46% de material pulverulento. Outrossim, a brita nº 01 alcançou um índice de 1,53% de material pulverulento na sua composição, excedendo o valor normatizado para agregados graúdos.

f. Índice de forma

Para o índice de forma o valor encontrado para brita variou entre 0,87 e 0,51 (brita nº 02 e nº 01, respectivamente), já para o seixo rolado os valores variaram entre 0,83, para o seixo nº 01 e 0,87 para o seixo nº02. Conclui-se que os valores obtidos são satisfatórios se comparados com o limite da ABNT NBR 7211, que é 3,0.

4.2 Caracterização do Cimento.

O cimento utilizado na pesquisa foi o CPIV – 32, com adição de pozolana, Classe 32 - NASSAU de acordo com a ABNT NBR 11578:1991 e sua escolha foi devido a grande oferta do produto em consequência da uma das fábricas estar localizada na cidade de Fronteiras do Piauí – PI, distante 125,0 km da cidade de Picos – PI. A tabela 4.9 apresenta as principais características do cimento.

Tabela 4.9 – Determinação da mistura ideal dos agregados graúdos.

Ensaio (BRITA)	Limites	Valor Obtido
Módulo de Finura (ABNT NBR 11579 : 1991)	≤ 12	MF = 2,57%
Massa Unitária (ABNT NBR 7251 : 1982)	-	1,15g/cm ³
Início de Pega (ABNT NBR 11581 : 1992)	60 mim	IP: 60 mim
Final de Pega (ABNT NBR 11581 : 1992)	-	FP:03h08'

4.3 Dosagem do Concreto

A composição ou mistura adequada de diferentes dimensões granulométricas dos agregados graúdos, visam a redução do seu custo. Para a determinação da mistura com proporções ajustadas entre duas faixas granulométricas de agregados graúdos, foi utilizado o método da NBR 7810 – Agregado em estado Compactado Seco – Determinação de Massa Unitária (figura 4.9).



Figura 4.9 – Determinação da mistura ideal dos agregados graúdos.

As tabelas 4.10 e 4.11 apresentam os a determinação da composição ideal para a brita granítica e o seixo rolado, respectivamente. Observar que, para os dois agregados analisados, a proporção de 70% / 30% apresentou a densidade máxima para a mistura final.

Tabela 4.10 – Determinação da mistura ideal da brita granítica.

Composição entre os Agregados nº 2/1 (%)	Quantidade de pedra britada nº 2 (kg)	Quantidade de pedra britada nº 1 (kg)	Acréscimo de pedra britada nº 1 para obter a composição desejada (kg)	Massa total do recipiente (agregado + tara) (kg)	Massa Unitária no estado compactado (kg/dm ³)
100/0	30	-		25,705	1,566
90/10	30	3,33	+3,33	25,965	1,585
80/20	30	7,50	+4,17	26,150	1,599
70/30	30	12,86	+5,36	26,700	1,639
60/40	30	20,00	+7,14	26,700	1,639
50/50	30	30,00	+10,00		
40/60	30	45,00	+15,00		

Tabela 4.11 – Determinação da mistura ideal do seixo rolado.

Composição entre os Agregados nº 2/1 (%)	Quantidade de Seixo nº 2 (kg)	Quantidade de Seixo nº 1 (kg)	Acréscimo de Seixo nº 1 para obter a composição desejada (kg)	Massa total do recipiente (agregado + tara) (kg)	Massa Unitária no estado compactado (kg/dm ³)
100/0	30	-		26,700	1,639
90/10	30	3,33	+3,33	27,545	1,701
80/20	30	7,50	+4,17	27,445	1,694
70/30	30	12,86	+5,36	28,085	1,741
60/40	30	20,00	+7,14	28,085	1,741
50/50	30	30,00	+10,00	28,085	1,741
40/60	30	45,00	+15,00		

De posse dos valores obtidos no ensaio de determinação de massa unitária do agregado no estado seco compactado, em sequência foram definidas as características básicas para o estudo de dosagem. A tabela 4.12 apresenta os valores pré-estabelecidos.

Tabela 4.12 – Resumo das características para o estudo de dosagem.

ITENS	DEFINIÇÕES
1.0 - F_{CK} (Projeto) – MPa	25
2.0 - Dimensão máxima característica do agregado graúdo adotado (mm)	19,0
3.0 - Abatimento adotado (mm)	60±10
4.0 - Cimento; marca; tipo e classe.	Nassau, CP IV – 32
5.0 - Relação água/cimento (em função da durabilidade da estrutura)	0,65
6.0 - Desvio-Padrão da dosagem – MPa	4,0
7.0 - Resistência de dosagem – MPa	(31,5) – 32,0
8.0 - Relação água/cimento (em função da resistência de dosagem)	0,51
9.0 - Idade de ruptura dos corpos de prova – (dias)	28 dias
10.0 Estimativa de perda de argamassa no sistema de transporte e lançamento do concreto – (%)	2,0
11.0 Traço (1: m) para a primeira mistura experimental (kg/kg)	1 : 5,0

Definida as características do concreto a ser estudado, foi determinado por tentativa e observação prática, o teor ideal de argamassa na mistura de concreto, ou seja, o mínimo possível, evidenciando a fase mais importante do estudo de dosagem. Sabe-se que o excesso de argamassa ao concreto proporciona um aumento no seu custo final, como também, o risco de fissuração ocasionada por retração térmica de secagem, e sua falta ocasiona falhas construtivas e porosidade na superfície do concreto.

Durante a execução do traço experimental 1 : 5,0, verificou-se que a brita granítica, por apresentar forma lamelar necessitou de um teor de argamassa 2% maior que o do seixo rolado para atingir o abatimento adotado no estudo, Como também um

fator água/cimento maior por apresentar uma absorção maior que o seixo rolado, em consequência da sua textura e porosidade. As tabelas 4.13 e 4.14 apresentam os valores encontrados.

Tabela 4.13 – Determinação do teor de argamassa ideal para concreto produzido com seixo rolado.

Teor de Argamassa (%)	Traço Unitário (1:a:p)	Quantidade de Areia (kg)		Quantidade de Cimento (kg)		Quantidade de Água (kg)		Relação a/c Final
		Massa Total	Acréscimo na Mistura	Massa Total	Acréscimo na Mistura	Massa Total	Acréscimo na Mistura	
35	1: 1,10 : 3,90	8,46	1,23	7,69	0,25	3,92		0,51
37	1: 1,22 : 3,78	9,69	1,30	7,94	0,26			
39	1: 1,34 : 3,66	10,99	1,38	8,20	0,27			
41	1: 1,46 : 3,54	12,37	1,49	8,47	0,30	3,92		
43	1: 1,58 : 3,42	13,86	1,59	8,77	0,32	3,92	0,60	
45	1: 1,70 : 3,30	15,45	1,71	9,09	0,34	4,52	0,48	
47	1: 1,82 : 3,18	17,16		9,43		5,00		0,53

Tabela 4.14 – Determinação do teor de argamassa ideal para concreto produzido com brita granítica.

Teor de Argamassa (%)	Traço Unitário (1:a:p)	Quantidade de Areia (kg)		Quantidade de Cimento (kg)		Quantidade de Água (kg)		Relação a/c Final
		Massa Total	Acréscimo na Mistura	Massa Total	Acréscimo na Mistura	Massa Total	Acréscimo na Mistura	
35	1: 1,10 : 3,90	8,46	1,23	7,69	0,25	3,92		0,51
37	1: 1,22 : 3,78	9,69	1,30	7,94	0,26			
39	1: 1,34 : 3,66	10,99	1,38	8,20	0,27			
41	1: 1,46 : 3,54	12,37	1,49	8,47	0,30	3,92	0,20	
43	1: 1,58 : 3,42	13,86	1,59	8,77	0,32	4,12	0,58	
45	1: 1,70 : 3,30	15,45	1,71	9,09	0,34	4,70	0,60	
47	1: 1,82 : 3,18	17,16	1,85	9,43	0,37	5,30		
49	1: 1,94 : 3,06	19,01		9,80		5,30		0,54

Em sequência às etapas do estudo de dosagem, obtido o valor ideal para o traço 1 : 5,0, foi produzido mais dois traços auxiliares que apresentam uma variação de uma unidade e meia no teor de agregado total, para mais e para menos, em relação ao traço 1:5,0, denominado normal. Os traços auxiliares foram produzidos com os teores de

argamassa e fator água/cimento encontrados no traço piloto, e são eles 1: 3,5 e 1:6,5, denominados rico e pobre, respectivamente. Ressalta-se que o teor de argamassa definitivo é o que leva em consideração o acréscimo em função das perdas no sistema de transporte e lançamento do concreto. No estudo, para a brita granítica o valor considerado ideal foi de 49%, mas o valor definitivo adotado foi de 51%, e para o seixo rolado o valor considerado ideal foi de 47%, mas o valor definitivo adotado foi de 49%.

Para cada dosagem, foram moldados corpos-de-prova para os ensaios à compressão simples e foram rompidos nas idades 3, 7, 14, 21 e 28 dias. A figura 4.10 apresenta o comportamento da resistência à compressão dos traços experimentais nas diferentes idades e as tabelas 4.15 e 4.16, apresenta dos valores encontrados.

Tabela 4.15 – Resistência à compressão simples dos corpos-de-prova moldados com brita granítica.

Traços Experimentais - Brita Granítica			
Idade	1 : 3,5	1 : 5,0	1 : 6,5
3 dias	22,41	18,50	14,50
7 dias	25,53	23,15	18,24
14 dias	30,76	27,56	25,49
21 dias	31,88	29,61	27,11
28 dias	33,21	30,21	28,08

Tabela 4.16 – Resistência à compressão simples dos corpos-de-prova moldados com seixo rolado

Traços Experimentais - Seixo Rolado			
Idade	1 : 3,5	1 : 5,0	1 : 6,5
3 dias	17,72	17,37	13,48
7 dias	20,89	20,65	20,04
14 dias	23,34	23,26	21,64
21 dias	24,99	23,65	22,63
28 dias	26,50	25,86	25,75

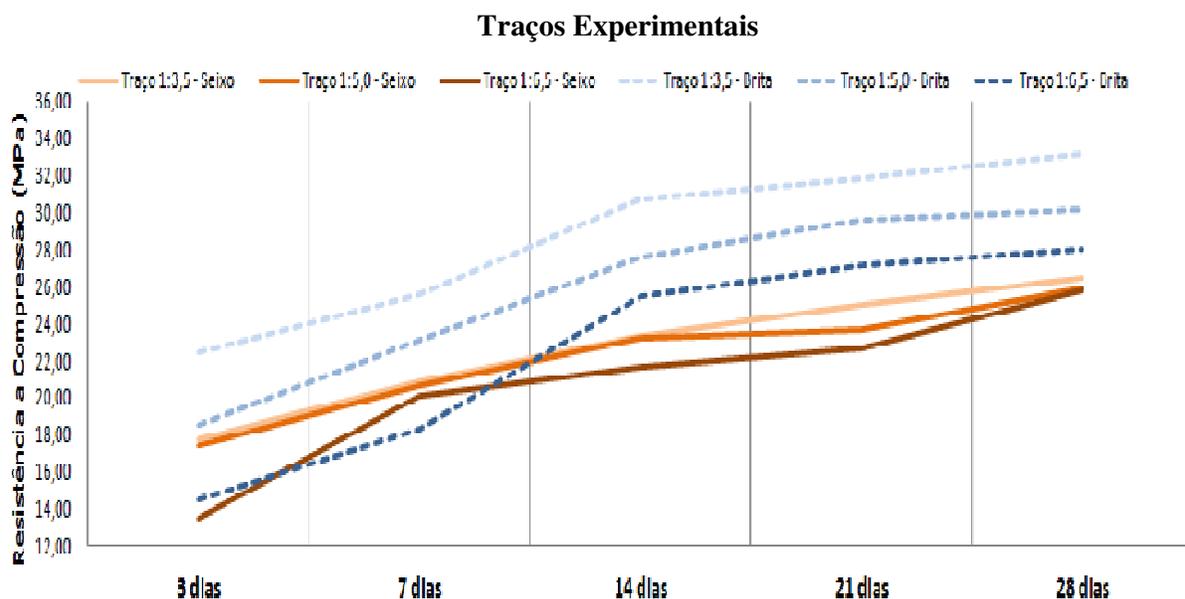


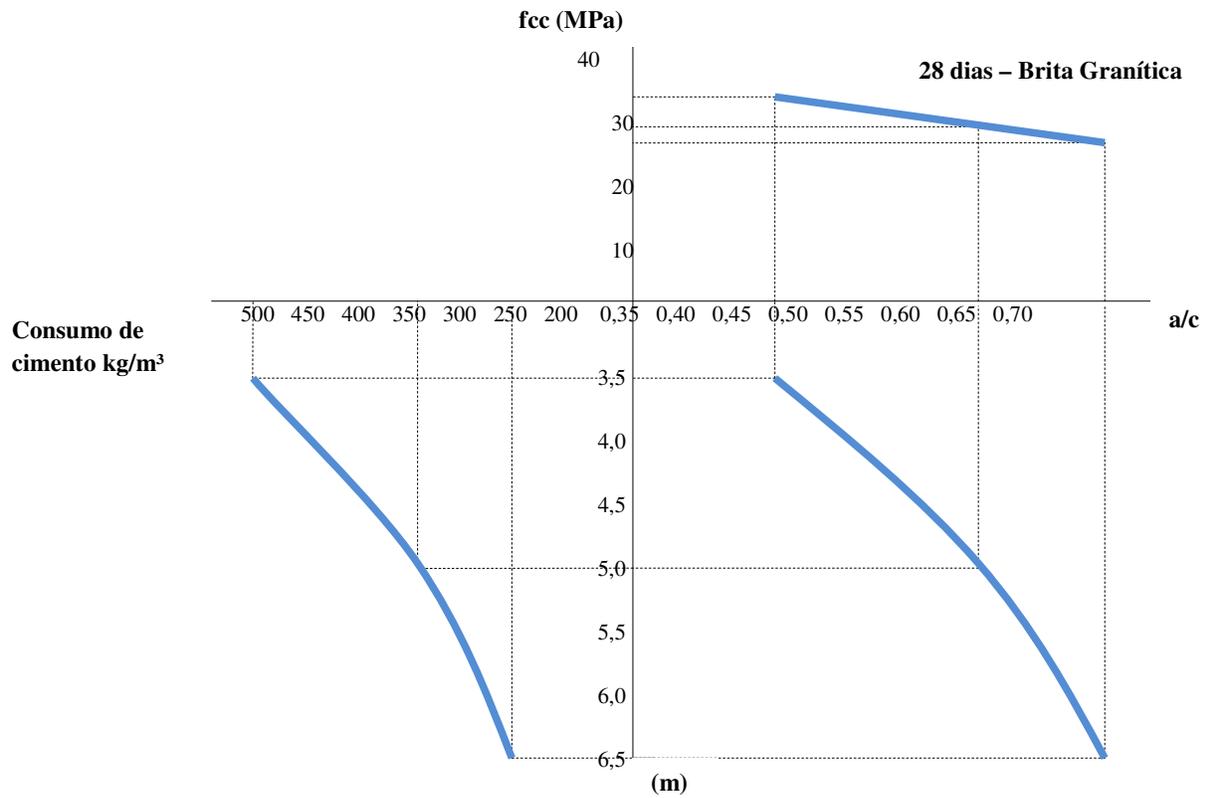
Figura 4.10 – Comportamento da resistência à compressão dos traços experimentais nas diferentes idades de ruptura.

Após 28 dias e de posse dos valores encontrados, a etapa seguinte constitui-se em elaborar o diagrama de dosagem referente às resistências à compressão. Dos diagramas (figuras 4.11 e 4.12) e com o valor de resistência a ser obtido, valor já pré-estabelecido para o concreto em estudo (Tabela 4.12), obteve-se o consumo de cimento por metro cúbico, a quantidade de materiais a serem utilizados e os valores do fator a/c para o traço definitivo.

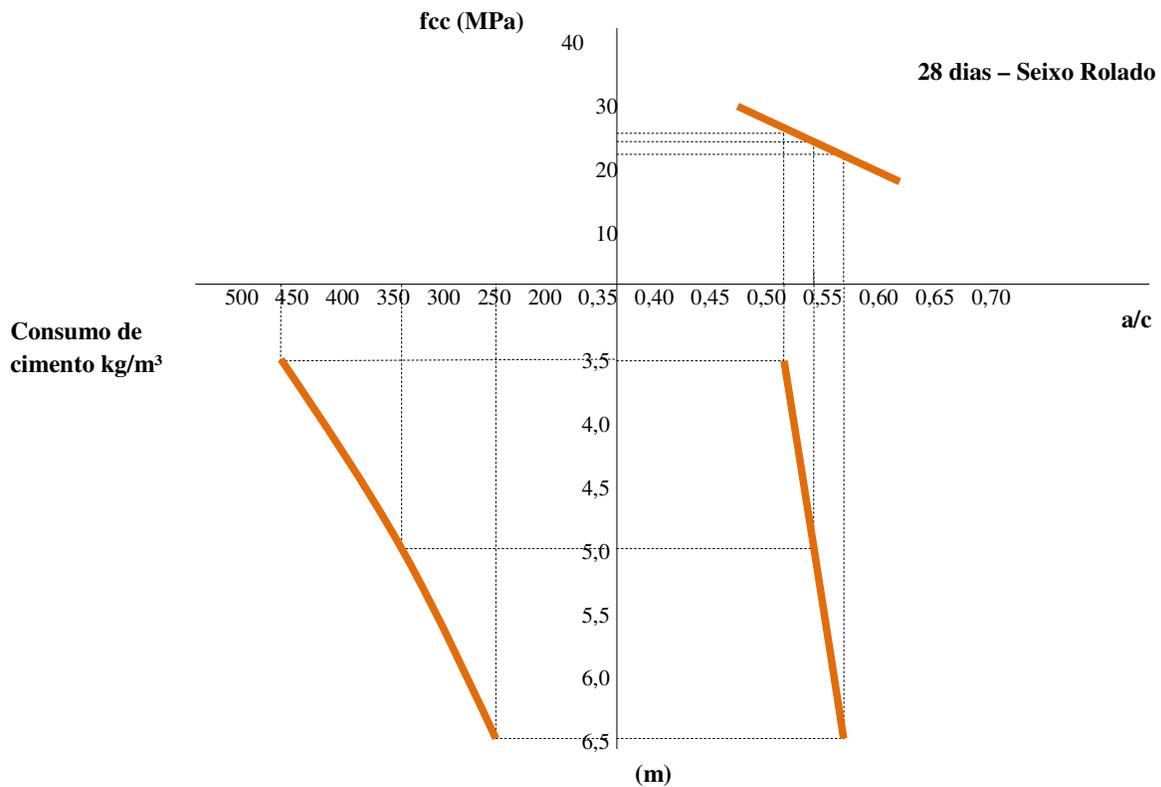
A tabela 4.17 mostra o fator a/c e o traço em massa definitivo para casa tipo de agregado, obtidos através do diagrama de dosagem.

Tabela 4.17 - Traços definitivos e fator a/c obtidos no diagrama de dosagem.

TIPO DE AGREGADO	TRAÇO DEFINITIVO (1 : a : p ₁ : p ₂)	FATOR A/C
Brita Granítica	1 : 1,65 : 0,76 : 1,79	0,50
Seixo Rolado	1 : 1,11 : 0,66 : 1,53	0,45



Figuras 4.11 – Ilustração do Diagrama de dosagem (brita granítica).



Figuras 4.12 – Ilustração do Diagrama de dosagem (seixo rolado).

4.4 Ensaios no concreto

Foram realizados ensaios no concreto no estado fresco e no estado endurecido para analisar e avaliar suas características com diferentes agregados graúdos.

4.4.1 Concreto no estado fresco

Segundo Helene (1993) quando se relaciona resistência e trabalhabilidade, o que se obtém são medidas inversamente proporcionais. No estado fresco, dentre as propriedades de destaque estão a massa específica do concreto e a trabalhabilidade. A massa específica está intimamente relacionada com a composição dos agregados, essencialmente à massa específica dos agregados. Segundo Bauer (2005), os concretos produzidos com cascalhos necessitará de menos água para que seja adquirida uma determinada trabalhabilidade. Isso é explicado devido à lisura das faces das superfícies dos cascalhos.

Para avaliação do concreto no seu estado fresco foi realizado o ensaio Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (ABNT NM 67: 1998).

4.4.1.1 Consistência do concreto pelo abatimento do tronco de cone.

A figura 4.13 representa o ensaio realizado e a tabela 4.18 apresenta os valores encontrados para o abatimento de tronco de cone dos concretos moldados com brita granítica e seixo rolado.

Tabela 4.18 – Valores para o ensaio de abatimento de tronco de cone (*Slump Test*).

Ensaio	Agregado Graúdo	
	Brita Granítica	Seixo Rolado
Slump Test Médio (mm)	5,5	6,5



Figura 4.13 – Ensaio de abatimento de tronco de cone (*Slump Test*).

Em análise os valores encontrados, conclui-se que o concreto produzido com seixo rolado, por ter como a característica física a forma cubóide e textura lisa, provocando uma menor aderência da argamassa à superfície do agregado, consequentemente apresentou um valor maior para o abatimento de tronco de cone, ou seja, uma melhor trabalhabilidade e construtibilidade. No caso da brita granítica, a porosidade e irregularidade dos grãos contribuíram para a diminuição do abatimento da pasta.

4.4.2 Concreto no estado endurecido

Os corpos-de-prova moldados com os traços definitivos, tanto para seixo como para brita, foram curados em tanque com água e cal, sendo retirados do tanque 24 horas antes da idade do ensaio e posto para secar ao ar livre. Para minimizar qualquer imperfeição da superfície superior, os corpos-de-prova foram capeados, como mostra a figura 4.14.



Figura 4.14 – Capeamento dos corpos de prova.

4.4.2.1 Resistência à Compressão simples fcc.

Observam-se, em análise os resultados obtidos das resistências à compressão simples, ilustradas na Figura 4.15 e discriminados na Tabela 4.19, que os corpos-de-prova fabricados com brita granítica apresentaram valores, aos 28 dias, aproximadamente, 30% maiores, o que condiz com o esperado, uma vez que a brita granítica apresentou uma resistência ao esmagamento maior que o seixo rolado, e segundo Bauer (2005)⁸³ os agregados industrializados, apresentam superfícies angulosas e irregulares e os efeitos dessas características estão relacionados à compacidade, trabalhabilidade e resistência mecânica dos concretos, como também, segundo Helene (1993)⁸⁴, a geometria do grão do agregado graúdo do concreto ideal para concretos de altas resistências, é preferencialmente os agregados de geometria angulosa (brita).

⁸³ BAUER, L.A. Materiais de construção. 5a ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2005.

⁸⁴ HELENE, Paulo R.; TERZIAN L. Manual de dosagem e controle do concreto. São Paulo: PINI, 1993.

Devido à sua forma arredondada, os agregados como seixo rolado e cascalhos não apresentam boa aderência à argamassa do concreto, o que faz com que suas propriedades mecânicas sejam inferiores a de um concreto produzido com agregados britados (Petrucci, 2005)⁸⁵.

Tabela 4.19 – Valores das resistências à compressão simples (Traços Definitivos).

Resistência à Compressão simples fcc.			
Idade	3 dias	7 dias	28 dias
Brita	21,10	26,39	29,59
Seixo	16,70	17,23	22,29



Figura 4.15 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão simples - fcc.

4.4.2.2 Resistência à tração por compressão diametral $f_{ct,sp}$

A figura 4.16 e a Tabela 4.20 apresentam os valores médios das resistências à tração indireta, obtidos através do ensaio de resistência à tração por compressão diametral.

Tabela 4.20 – Valores das resistências à tração por compressão diametral.

Resistência à tração por compressão diametral $f_{ct,sp}$			
Idade	3 dias	7 dias	28 dias
Brita	2,30	3,01	3,44
Seixo	1,89	2,23	2,58

⁸⁵ PETRUCI, E. Concreto de cimento Portland. São Paulo: Globo, 1998.



Figura 4.16 – Resultados dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral.

Todos os corpos de prova, fabricados com os dois tipos de agregados, apresentaram adensamento uniforme e ausência de segregação. No entanto, verificou-se que os corpos-de-prova que tinham a brita granítica na sua composição, não apresentavam grãos do agregado graúdo rompidos após o ensaio, evidenciando a boa resistência do agregado (brita), ao contrário do seixo rolado que apresentou, como ilustrado na figura 4.17, em todas as idades de ruptura, a ocorrência de grãos fragmentados, onde a quantidade visualizada aumentou de acordo com as idades de ruptura.

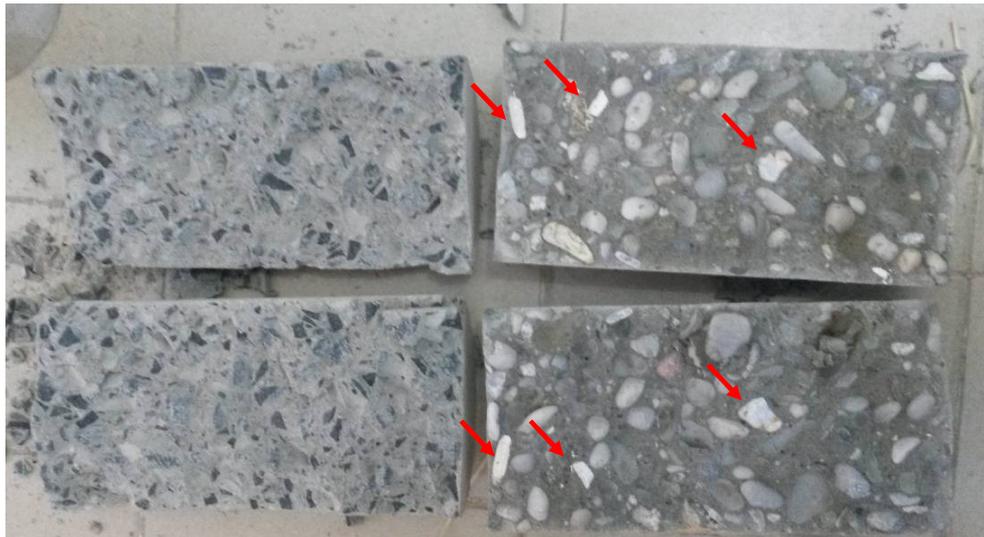


Figura 4.17 – Identificação de grãos dos agregados graúdo (seixo) fragmentados após o ensaio.

Outro fato observado foi a existência de grande quantidade de vazios deixados pelos grãos do seixo após a ruptura dos corpos-de-prova, se comparados com os corpos-de-prova moldados com brita granítica. A quantidade de vazios observada foi decrescente às datas de ruptura, figurando uma baixa aderência do seixo rolado à argamassa nas primeiras idades. A figura 4.18 ilustra a quantidade de vazios nos corpos-de-prova de seixo rolado rompidos a 3 dias da data de moldagem, caracterizando, se comparados com as demais datas de ruptura, uma quantidade superior de vazios.



Figura 4.18 – Identificação de alguns vazios nos corpos-de-prova moldados com seixo rolado e rompidos a 3 dias.

4.4.2.3 Módulo de Elasticidade - E_c

Os valores encontrados para o módulo de elasticidade obtido por ciclos de carregamento para os corpos-de-prova rompidos nas idades de 3, 7 e 28 dias, estão demonstrados na figura 4.19 e na Tabela 4.21.

Tabela 4.21 – Resultados dos ensaios de módulo de elasticidade - E_c

Módulo de Elasticidade - E_c			
Idade	3 dias	7 dias	28 dias
Brita	39,7	44,2	85,2
Seixo	27,5	31,9	47,4



Figura 4.19 – Resultados dos ensaios de módulo de elasticidade – Ec.

Conforme a ABNT: 6118/2014, o valor do módulo de elasticidade pode ser estimado em função da equação 2.2 para concretos normais na idade de 28 dias. A tabela 4.22 transcreve os valores encontrados Módulo de Elasticidade obtido através das formulas teóricas da ABNT – Ec.

$$E_{ci} = 5.600 \cdot \sqrt{f_{ck}} \quad \text{Equação 2.2}$$

Sendo que:

E_{ci} e f_{ck} são dados em MPa

Tabela 4.22 – Resultados dos ensaios de módulo de elasticidade obtidos através das formulas teóricas da ABNT - Ec

Módulo de Elasticidade obtido através das formulas teóricas da ABNT - Ec	
Idade	28 dias
Brita	30,46
Seixo	26,44

Segundo Monteiro, Helene & Kang (1993) apud Chagas (2011), o módulo de elasticidade depende primeiramente da resistência da matriz e da adesão do agregado. Para o estudo apresentado, em que os agregados apresentam características distintas e consequentemente fator a/c e teor de cimento diferentes, módulo de elasticidade ficará diretamente correlacionado às características do agregado graúdo.

Em análise os resultados, pode-se concluir que o módulo de elasticidade aumentou, expressivamente, conforme o aumento da resistência à compressão e que os valores encontrados experimentalmente são superiores aos valores, aos 28 dias, encontrados através da equação normativa da ABNT.

CAPITULO V

5. Conclusão

Os resultados obtidos permitiram concluir que:

5.1 Com relação à trabalhabilidade do concreto

Os concretos fabricados com seixo rolado apresentaram melhor trabalhabilidade, obtendo um abatimento na ordem de 65,0 mm, mesmo com fator *a/c* 10% menor que o do concreto moldado com brita granítica, atribuindo-se esse desempenho ao seu formado anguloso, superfície de textura lisa e, também, o baixo teor de absorção.

5.2 Com relação às resistências

5.2.1 Resistência à compressão simples

Em relação a resistência à compressão simples, o concreto que continha na sua composição a brita granítica como agregado graúdo, apresentou, aos 28 dias, uma resistência média de, 29,59 MPa, representando 32,75% maior que a resistência média, também aos 28 dias, do concreto moldado com seixo rolado, que foi de 22,29 MPa.

5.2.2 Resistência à tração por compressão diametral

O concreto fabricado com seixo rolado, no tocante a resistência à tração por compressão diametral, também apresentou valores inferiores aos obtidos pelo concreto fabricado com brita granítica. No entanto, as variações na ordem de 75 a 82% comportaram-se mais uniformes ao longo das datas de rupturas.

5.3 Com relação ao módulo de elasticidade

Com relação ao módulo de elasticidade, o concreto produzido com seixo rolado apresentou, em termos percentuais, aos 28 dias, 55,63% do valor encontrado para o concreto produzido com brita granítica. Em comparações às equações teóricas propostas pela ABNT NBR 6118:2014, observa-se que os valores dos módulos de elasticidade

obtidos experimentalmente, através de ciclos de carregamento, são superiores aos obtidos por meio das expressões normativas.

5.4 Sugestões para trabalhos futuros

- a. Estudo comparativo dos comportamentos mecânicos do seixo rolado britado com a brita granítica;
- b. Estudo da técnica de dopagem dos agregados em concretos fabricados com seixo rolado;
- c. Estudo da viabilidade técnica e econômica de pavimentos rígidos fabricados com seixo rolado.

Referências Bibliográficas

- ANUÁRIO MINERAL BRASILEIRO, Brasília, DF: DNPM, 2012
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 53: Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2003.
_____.NBR NM 45. Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
_____.NM 67. Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.
_____.NBR NM 248. Agregados. - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
_____.NBR 5738. Concreto- Moldagem e cura de corpos-de-prova de concreto. Rio de Janeiro, 2003.
_____.NBR 5739. Concreto - Ensaio à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
_____. NBR 7211. Agregados - Agregados para concreto. Rio de Janeiro, 2005.
_____.NBR 7222. Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2010.
_____.NBR 7223: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1996.
_____.NBR 7809: Agregados graúdos - Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro. Rio de Janeiro, 2005.
_____.NBR 9779. Argamassa e concreto endurecido – Determinação de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 1995.
_____. NBR 9833. Concreto – Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 2009.
- BOGGIO, A. J. . Estudo comparativo de métodos de dosagem de concretos de cimento Portland. Dissertação de Mestrado. UFRGS. Porto Alegre, 2007.

- BARATA, Marcio Santos, Estudo viabilidade técnica e econômica de produção de concreto de auto desempenho (CAD) com os materiais disponíveis em Belém – PA, através do emprego de adições de sílica ativa e metacaulim, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.
- BANFORTH, Phil; CHISHOLM, D.; GIBBS, J.; HARRISON, T., Proprieties od concrete for use in Eurocode , 53p., Published January 2008, Prince Group , Surey, 2008.
- BARBOSA, M. P. ; AKASAKI, J. L. ; NEVES, F. G. . A influência do Tipo de Agregado Graúdo nos Módulos de Elasticidade e na Resistência à Tração dos Concretos de Elevado Desempenho. In: 41º Congresso Brasileiro do Concreto, 1999, Salvador- Ba. Artigo, 1999.
- BARBOSA, M. P. ; SALLES, F. M. ; SANTOS, J. . Um estudo experimental com diferentes tipos de agregados graúdos para a verificação da resistência mecânica à compressão do concreto de elevado desempenho. In: 41º Congresso Brasileiro do Concreto, 1999, Salvador-BA. Artigo, 1999.
- BARBOSA, M. P. ; DURÃO, A. V. ; SALVADOR FILHO, J. A. A. . Influência do Tipo de Cimento nas Propriedades Mecânicas do Concreto Ordinário submetido a Cura Térmica. In: 43º CONGRESSO Brasileiro do Concreto, 2001, Foz do Iguaçu. 43º Congresso Brasileiro do Concreto- Artigo. São Paulo: IBRACON, 2001.
- BAUER, L.A. Materiais de construção. 5a ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2005.
- CHAGAS, R. M. P. . Estudo do concreto laterítico dosado com aditivo plastificante à base de lignosulfonato, Dissertação M. SC, UFCG, 2011.
- CORREIA FILHO, F. L. Projeto Avaliação de Depósitos Minerais para Construção Civil PI/MA. Teresina: CPRM, 1997. 2 v
- DA SILVA, Marco Antônio, ROCHA, Francisco dos Santos, Contribuição ao estudo da reação álcali-agregado em seixos utilizados em concretos de cimento portland na cidade de Manaus, artigo, 47º Congresso Brasileiro de Concreto, IBRACON, Setembro 2005.
- DINIZ, Bruno Athayde, DE CASTRO JUNIOR, José Nilson santos (2010). Análise comparativa de misturas asfáltica com seixo rolado e seixo rolado britado quanto aos parâmetros Marshall. –52p. TCC – Centro de ciências exatas e tecnologia, universidade da Amazônia, Belém, PA, 2010.

- FERNANDES, Marcos Anderson Guedes, DOS SANTOS, Peterson Rodrigo Vaz, DA SILVA, Marcelo Otaviano Barbosa, MOREIRA, Alisson Elvim Pedroso, LAGO, Leonardo Barbosa, SOUZA, Paulo Sérgio Lima, Avaliação da produção de concreto auto-adensável (caa) com utilização do seixo rolado, artigo, 50º Congresso Brasileiro de Concreto, IBRACON, Setembro 2008.
- FUSCO, Péricles Brasiliense, Técnicas de armar as estruturas de concreto, São Paulo, Pini, 1995.
- GARCIA, F. N.; BARBOSA, M. P. . Análise dos Modulos de Elasticidade e da Resistência à Tração dos Concretos de Elevado Desempenho em função do Tipo de Agregado Graúdo. São Paulo: XI Congresso de Iniciação Científica- Editora da Unesp, 1999 (Congresso de Iniciação Científica).
- HELENE, P. R L.. Contribuição para o estabelecimento de parametros para dosage e controle de concreto de cimento Portland. Tese Doutorado. EPUSP, São Paulo, 1987.
- HELENE, Paulo; TERZIAN, Paulo. Manual de Dosagem e Controle do Concreto. Ed. PINI; São Paulo – SP, 1994.
- JACINTHO, Ana Elisabete P.G. de, GIONCO, José Manuel, Resistência Mecânica do Concreto, cap 20, Concreto:ensino,pesquisa e realizações, v.1, IBRACON, São Paulo, 2005.
- JUCÀ, Tainá.;TEIXEIRA, Fernando A.; PEREIRA, Claudio H. A. F.; OLIVEIRA, Keila, R. B.; GUIMARÊS, Leonardo E.; ANTONELLI, Gilson; GOMES, Flávio M.; GEYER, André; Estudo de dosagem de concreto de alto desempenho – comparativo de custos, Universidade Federal de Goiás, 43º Congresso Brasileiro do Concreto, Artigo, 2001.
- LIMA, I. S. ; FERREIRA, J. A. ; ROCHA, F. ; S. FILHO, L. C. . Avaliação de Influência da Lavagem do Seixo Rolado Utilizado na Cidade de Manaus em Concreto de Elevada Resistência. In: 45º Congresso Brasileiro do Concreto, 2003, Vitória. Anais do 45º Congresso Brasileiro do Concreto, 2003.
- KIHARA, Y; CENTURIONE, S.L.O cimento portland. In: Concreto: Ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. p. 295-322
- MACHADO, Fábio Augusto Silva, GONÇALVES, Pedro Paulo Bandeira, SOUZA, Paulo Sérgio Lima, ARANHA, Paulo Márcio da Silva, Análise de influência da substituição de agregado graúdo por resíduo de construção e demolição em concreto produzido com seixo rolado, artigo, 47º Congresso Brasileiro de Concreto, IBRACON, Setembro 2005.

- MEHTA, Povindar Kumar, Concreto: Estrutura, propriedades e materiais/ P. Kumar Mehta, Paulo J. M. Monteiro. – São Paulo: Pini, 1994.
- MITCHELL, N. B., The indirect tension test for concrete. Master. Res. And Std, Oct. 1961.
- Minérios do Piauí – Diagnóstico e Diretrizes para o Setor Mineral do Estado do Piauí (Convênio nº 004/2004 MME).
- MONTEIRO, P. J. M.; HELENE, P. R. L.; KANG, S.H.; Designing concrete mixtures for strength, elastic modulus and fracture energy, Materials and Structures, c.26, p443-452, paper, 1993.
- NEVILLE, Adam Matthew. Propriedades do Concreto, tradução SALVADOR E. Giammusso. 1ed. São Paulo, PINI, 1982
- PERDIZ, Rogério Salles, DE VASCONCELOS, Raimundo Pereira, Avaliação da utilização do granito da região de Moura, como agregado graúdo, considerando as propriedades mecânicas do concreto, artigo, 50º Congresso Brasileiro de Concreto, IBRACON, Setembro 2008.
- PFEIL, W. . Concreto Armado I, 5 ed., Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e científicos Editora Ltda, 1988.
- PETRUCI, E. Concreto de cimento Portland. São Paulo: Globo, 2005.
- SOUZA, P. S. L. ; ARANHA, Paulo Marcio da Silva ; BANDEIRA JÚNIOR, Pedro Paulo ; MACHADO, Fábio Augusto . Análise da Influência da substituição de agregado graúdo por resíduo de construção e demolição em concreto produzido com seixo rolado. In: 47º Congresso Brasileiro do Concreto, 2005, Olinda. Anais do 47º Congresso Brasileiro do Concreto-CBC2005. Olinda: IBRACON, 2005. v. 1. p. 93-109.
- SOUZA, P. S. L. ; D.C.C., Dal Molin, . Avaliação do uso do seixo proveniente do estado do Pará no concreto convencional e de alta resistência. In: 43 Congresso Brasileiro do Concreto, 2001, Foz do Iguaçu. Anais do 43 Congresso Brasileiro do Concreto. Foz do Iguaçu: IBRACON, 2001. V. 1. P. 1-15.
- SILVA, A. S.; ROCHA, F. S. . Contribuição ao estudo da reação álcali-agregado em seixos utilizados em concreto de cimento Portland na cidade de Manaus. 47º Congresso Brasileiro do Concreto, 2005, Recife-PE. Anais do 47º Congresso Brasileiro do Concreto, 2005.
- SILVA, Francisco Benedito. Estudo comparativo das propriedades do concreto convencional utilizando brita granulítica e seixo rolado do sertão de Pernambuco / Francisco Benedito Silva. -- Caruaru : FAVIP, 2012.

- VILLAR FILHO, Orlando de C., Estabilização de solos lateríticos da região nordeste do Brasil com cimento, Dissertação, p.113, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1985.