



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL



RELATÓRIO
ESTAGIO SUPERVISIONADO

**ESTUDO DA DOSAGEM E DO DESEMPENHO DE BLOCOS
DE VEDAÇÃO DE CONCRETO**

**PROF. DR. JOÃO BATISTA QUEIROS DE CARVALHO.
(ORIENTADOR)**

**VALTERLIN DA SILVA SANTOS
(ESTAGIÁRIO)**

**CAMPINA GRANDE – PB
OUTUBRO – 2003**



Biblioteca Setorial do CDSA. Junho de 2021.

Sumé - PB

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	3
2.	OBJETIVO.....	5
3.	JUSTIFICATIVA	6
4.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
4.1	Impactos Ambientais na Industrialização das Rochas.....	7
4.1.1	<i>Aspectos Econômicos</i>	7
4.1.2	<i>Aspectos Ambientais</i>	8
4.2	A Industrialização de Rochas Ornamentais.....	9
4.3	Estudos Realizados Para o Aproveitamento dos Resíduos.....	9
5.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	11
5.1	Materiais.....	11
5.1.1	<i>Cimento Portland</i>	11
5.1.2	<i>Areia</i>	12
5.1.3	<i>Cascalho</i>	12
5.1.4	<i>Resíduo da Serragem do Granito</i>	13
5.2	Metodologia.....	13
5.2.1	<i>Ensaio de Caracterização</i>	13
5.2.1.1	Análise granulométrica.....	13
5.2.1.2	Massa específica real.....	14
5.2.1.3	Massa unitária dos agregados em estado solto.....	14
5.2.1.4	Teor de materiais pulverulentos.....	14
5.2.1.5	Teor de argila em torrões e materiais friáveis.....	14
5.2.1.6	Massa unitária dos agregados em estado compactado seco.....	15
5.2.1.7	Análise química convencional.....	15
5.2.2	<i>ENSAIOS TECNOLÓGICOS</i>	15
5.2.2.1	Confecção dos blocos de concreto.....	15
5.2.2.2	Determinação do teor ótimo de água na mistura	17
5.2.2.3	Resistência a Compressão Simples.....	18
6.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	19
6.1	Caracterização dos Materiais.....	19
6.1.1	<i>Agregados Naturais</i>	19
6.1.2	<i>Resíduo da Serragem do Granito</i>	21
6.2	Determinação do Teor Ótimo de Água na Mistura	22
7.	CONCLUSÃO.....	26
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA	28

1. INTRODUÇÃO

O parque industrial brasileiro se recente da necessidade do aumento da competitividade, para benefício da sociedade em geral. O mesmo com o setor produtivo do nordeste e, particularmente, do paraibano. Neste contexto, destacam-se as indústrias de construção civil e aquelas produtoras de materiais de construção. Este setor produtivo é típico daqueles de países em fase de industrialização incipiente: pouco competitivo porque apresenta baixa produtividade, oferece tímida diversificação de seus produtos acabados e ainda conserva elevados índices de desperdício e falta de compromisso com o meio ambiente.

Entre as conseqüências mais negativas, destaca-se o já citado desperdício, no sentido mais amplo, associado a flagrantes manifestações de agressão ambiental:

- Desperdícios de resíduos;
- Desperdícios de materiais novos, nas próprias construções;
- Desperdícios de jazidas contaminadas por poluentes que as descaracterizam com fontes de insumos confiáveis;
- Desperdícios de insumos e produtos acabados, das próprias indústrias de materiais de construção;
- Desperdícios de produtos industriais diversos, passíveis de beneficiamento para o uso como insumos, na fabricação de materiais de construção, desde que quimicamente estáveis e passíveis de integrar compósitos cerâmicos.

Estas e outras formas não citadas de desperdício de materiais e insumos são responsáveis pela exploração exaustiva de fontes de recursos naturais e elevação dos custos de construção, o que repercute nos preços proibitivos das habitações e em obvio agravamento do "déficit" habitacional.

SAUTEREY (1978), apresenta uma visão de que a construção civil é o ramo da atividade tecnológica que, pelo volume de recursos naturais consumidos, parece ser o mais indicado a absorver os resíduos sólidos. Sob este ponto de vista, pode-se ainda associar a ele a necessidade de atender às exigências de manejo e do gerenciamento adequado dos resíduos sólidos gerados pelas mais diversas atividades industriais que vêm sendo impostas principalmente nas últimas três décadas pelas leis ambientais,

pelos movimentos ecológicos em todo o mundo, e pelas tarifas ambientais que vêm substituindo as convencionais.

Neste mesmo aspecto algumas razões motivam, nos países em geral, a preocupação com o reaproveitamento dos resíduos:

- Preocupação com o esgotamento das reservas confiáveis de matérias-primas;
- A preocupação com o meio ambiente, afetado pelo volume crescente de resíduos sólidos descartados;

As indústrias responsáveis pelo beneficiamento de rochas ornamentais, pela falta de gerenciamento adequado e em virtude da quantidade crescente de resíduos gerados, vêm causando enormes preocupações às entidades empresariais, governamentais e ambientalistas.

Estes resíduos são constituídos geralmente de água, grinalha de aço ou granito, cal ou substituto e rocha moída, acumulando-se nos depósitos e sendo lançados no meio ambiente sem nenhum cuidado prévio, contaminando assim solos e/ou águas.

A Paraíba, especialmente a cidade de Campina Grande, possui um grande potencial no setor de industrialização de rochas ornamentais, e conscientes da problemática ambiental causada pela deposição inadequada do rejeito proveniente do processo de beneficiamento das rochas graníticas, a UFCG vem desenvolvendo vários estudos direcionados ao aproveitamento destes rejeitos de granito, seja na incorporação de argamassas de assentamento, como "filler" na produção de misturas asfálticas, na confecção de tijolos de sílica-cal, dentre outros mais. É importante ressaltar que o aproveitamento destes rejeitos de granito deve ser encarado como atividade complementar, com a finalidade de contribuir para a redução de custos finais do produto, bem como auxiliar no processo de minimização dos efeitos deletérios causados ao meio ambiente, pela deposição inadequada dos resíduos.

Este quadro mostra muito claramente a necessidade de que sejam desenvolvidas pesquisas no sentido de contribuir para a solução do desperdício na construção e acima de tudo contribuir para a preservação saudável do meio ambiente.

2. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo avaliar a dosagem de resíduo da serragem do granito de indústrias da Paraíba como matéria prima em substituição de uma parcela do agregado miúdo convencional (areia) na confecção de blocos pré-moldados de concreto sem função estrutural para uso na construção civil.

Buscar-se-á então, através de ensaios de resistência a compressão simples obter blocos alternativos dotados dos parâmetros mínimos exigidos pelas normas da ABNT.

De esta forma contribuirá para o meio ambiente, minimizando os efeitos danosos dos resíduos do granito e diminuindo a exploração dos recursos naturais, já tão explorados pelo homem e o mesmo tempo criar uma alternativa para o uso do resíduo produzido pela indústria de granito minimizando o custo final do seu produto.

3. JUSTIFICATIVA

A indústria de mármore e granito responsável pelo beneficiamento de rochas ornamentais tem produzido quantidades crescentes de resíduos, o que tem preocupado as entidades ambientalistas, governamentais e empresariais. As maiorias das indústrias de extração e beneficiamento de rochas ornamentais lançam, seus resíduos, diretamente nos ecossistemas, sem serem submetidos a qualquer processo de tratamento para eliminar ou reduzir os constituintes presentes nestes despejos, que são poluentes e nocivos à preservação do ambiente e, portanto, da manutenção da vida, quando presentes em teores acima dos toleráveis (SILVA, 1998).

Assim, pode-se ter a contaminação da água, quando lançados diretamente nos recursos hídricos. Caso sejam lançados no solo, podem ser depositados em locais inadequados, sem a devida proteção. Este, além de contaminar o próprio solo, possivelmente pode alterar as condições naturais do subsolo e do lençol de água subterrânea.

Desta forma surge a necessidade urgente de um gerenciamento e maior conscientização da responsabilidade de se fazer um trabalho em longo prazo, com o respeito ao meio ambiente e a comunidade.

A reciclagem vem se consolidando com um importante e sólido ramo da engenharia civil com a formação de um mercado próprio para o material reciclado, que tem como objetivo a minimizar do uso das matérias primas e a necessidade de evitar a degradação de áreas naturais.

Sob este aspecto este projeto busca a descoberta de novos materiais, utilizando tecnologia a baixo custo, que possam ser acessíveis às camadas mais desfavorecidas da sociedade, promover o aparecimento de novas oportunidades de trabalho e renda, essenciais ao processo de desenvolvimento, e ao mesmo tempo preservar o meio ambiente.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Impactos Ambientais na Industrialização das Rochas

Segundo SILVA (1998), todo processo de industrialização constitui-se num dos componentes principais da poluição ambiental, podendo originar grandes conflitos, evitáveis quando tomadas providências que promovam o desenvolvimento harmônico e sustentável.

4.1.1 Aspectos Econômicos

O Brasil é um grande possuidor de reservas de mármore e granitos, e assim sendo é imprescindível que ele crie suas metas para o setor de rochas ornamentais, através da mudança de conceitos ultrapassados e da implantação de uma política que concilie o aproveitamento racional dos recursos naturais, com o desenvolvimento de novas tecnologias.

Neste contexto, é necessário que as indústrias de rochas ornamentais tenham consciência do papel relevante que deverão exercer, dispendo das condições necessárias e suficientes para o seu posicionamento, de forma competitiva nos cenários nacional e internacional, com tecnologia moderna e apropriada. É necessário também, que elas busquem aumentar a sua produtividade, reduzindo os custos e os desperdícios gerados pelos fatores de mão-de-obra, diminuindo assim os impactos causados ao meio ambiente.

A utilização de rochas ornamentais é muito grande, no cotidiano da construção civil. Desta forma, a confecção de materiais alternativos, tendo-se como constituintes os resíduos gerados nas indústrias de transformação de rochas, poderá promover o aparecimento de novas oportunidades de trabalho e renda, essenciais ao processo de desenvolvimento.

Sendo assim, diante da grande disponibilidade de resíduos provenientes das indústrias de transformação de rochas, e das diversas oportunidades de emprego e renda que a utilização destes resíduos na confecção de materiais alternativos poderá gerar, torna-se cada vez mais necessário o incentivo e o desenvolvimento de

pesquisas tecnológicas, na qual esta se insere, que promovam e busquem constantemente o beneficiamento e melhoria da qualidade de vida do homem e do meio ambiente que o cerca.

4.1.2 Aspectos Ambientais

Segundo o ENBRI (1994), o termo meio ambiente deve ser entendido como sendo todos os aspectos relacionados à flora, à fauna e ao ser humano. Portanto, ele inclui os aspectos ligados ao ambiente natural e a sua interação com os ambientes construídos. Assim, esta descrição abrange todos os componentes da terra – o solo, a água, o ar e todas as camadas da atmosfera; as construções (estradas, rodovias, casas, edifícios, etc.), e atividades ligadas à recreação.

A degradação do meio ambiente causada pela implantação e produção industrial, com corrente uso dos recursos naturais ou processo de industrialização, pode gerar impacto nocivo sobre a saúde e sobre as condições sócio-econômicas da população.

Como consequência dos processos de industrialização são gerados resíduos (sólidos, líquidos ou gasosos). Esses subprodutos, quando descarregados sem quaisquer cuidados, representam um risco em potencial à saúde pública e ao meio ambiente.

Deste modo, as atividades industriais são, por sua natureza, transformadoras dos componentes dos ecossistemas, sendo, portanto, fontes de poluição difusa, constituída, em grande parte, de material particulado.

Neste contexto enquadra-se a maioria das indústrias de extração e beneficiamento de rochas ornamentais, pois os resíduos e rejeitos gerados nesse processo, muitas vezes são lançados diretamente nos ecossistemas, sem serem submetidos a qualquer processo de tratamento para eliminar ou reduzir os constituintes presentes nestes despejos, que são poluentes e nocivos à preservação do ambiente e, portanto, da manutenção da vida, quando presentes em teores acima dos toleráveis (SILVA, 1998).

Com isso, pode-se ter a contaminação da água, quando lançados diretamente nos recursos hídricos. Caso sejam lançados no solo, podem ser depositados em locais inadequados, sem a devida proteção. Este, além de contaminar o próprio solo,

possivelmente pode alterar as condições naturais do subsolo e do lençol de água subterrânea.

4.2 A Industrialização de Rochas Ornamentais

As rochas ornamentais e de revestimento, podem ser extraídos em forma de blocos, transformados em placas, cortadas e beneficiadas através de esquadrejamento, polimento, lustro, etc.

Seus principais campos de aplicação incluem, tanto as peças isoladas usadas para moldar esculturas, mesas, balcões e arte funerária em geral, como as em edificações, destacando-se, neste caso, os revestimentos internos e externos de paredes, pisos, pilares, colunas, etc. Cabe destacar ainda, a substituição da madeira e das estruturas de concreto nas construções por essas rochas.

A industrialização destas rochas tem alcançado um desenvolvimento jamais visto no Brasil. Sendo comercializadas no país e no exterior. Em linhas gerais, esta industrialização pode ser entendida pelo desenvolvimento de diferentes fases, que podem ser assim resumidas: os estudos de pesquisa e extração, necessários à obtenção dos blocos; esses serão transformados em chapas nas serrarias, constituindo o desdobramento ou serragem; posteriormente, serão submetidas aos processos de acabamento para obtenção do produto final.

Estas operações por sua vez, geram resíduos em abundância, especialmente a fase de desdobramento das rochas que gera o resíduo mais fino e mais poluente, e que constitui, em essência, o objeto de estudo deste projeto de pesquisa.

4.3 Estudos Realizados Para o Aproveitamento dos Resíduos

Através de dados estatísticos fornecidos pela Poligram S.A, estima-se, que o Brasil, terceiro produtor de rochas ornamentais, tenha uma produção de 45 milhões de toneladas com taxa de crescimento de 6% ao ano. O volume total de resíduo, portanto, torna-se bastante significativo, quando se constata que, produzindo-se chapas de 2cm de espessura, 20 a 25% do bloco é transformado em resíduo. Isto tem motivado

representantes de várias indústrias do setor a procurarem um processo que o torne um produto utilizável e que não gere danos ao meio ambiente.

Neste sentido, pode-se vislumbrar o aproveitamento dos rejeitos na forma de cacos de rocha da extração, da serraria e marmoraria de onde seriam beneficiados sobre a forma de britas ou pó de pedra, ou ainda como agregados em produtos sintéticos. Também, as granalhas e lâminas, sem utilidade para o processo de serragem, podem ser vendidas como sucata para as indústrias siderúrgicas, ao invés de serem simplesmente descartadas em lugares totalmente inadequados (SILVA, 1998).

O resíduo da industrialização do mármore é bastante solicitado para fabricação de papel, na preparação de produtos farmacêuticos (como, aspirina) e também como corantes de certos materiais da construção civil, em fundições, e como substituto ao carbonato de sódio (FREIRE & MOTTA, 1995).

Os Departamentos de Engenharia Civil, Materiais e Agrícola do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba vêm desenvolvendo pesquisas desde 1997 com o rejeito da serragem de blocos de granito nas áreas de construção civil, como: argamassas, tijolos maciços sem queima, elementos de alvenaria e revestimentos cerâmicos com queima; na área rodoviária; na área agrícola como corretivo de solos e, recentemente, na melhoria de solos para revestimentos primários e materiais de enchimentos em concretos asfálticos.

Por tudo o que foi exposto neste item, percebe-se que são vários os campos e alternativas existentes para o aproveitamento do resíduo da serragem de granito. É necessário apenas um maior incentivo e um maior intercâmbio entre empresas e entidades de pesquisa, para que os estudos pertinentes a este assunto caminhem de maneira progressiva.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Materiais

Para realização dessa etapa da pesquisa utilizaram-se os seguintes materiais, além da água fornecida pela concessionária local CAGEPA (Companhia de água e Esgotos da Paraíba):

5.1.1 Cimento Portland

Adotou-se o tipo CP II Z 32 da marca Zebu, facilmente encontrado no comércio local (Campina Grande/PB). Após sua chegada, o cimento foi acondicionado em sacos plásticos, sobre tábuas de madeira e devidamente lacrados a fim de evitar a sua hidratação antes do uso.

As Tabelas 01 e 02 apresentam os resultados da composição química e dos ensaios físicos para a caracterização do cimento Portland fornecidos pela CIMPOR (Cimentos de Portugal) BRASIL.

TABELA 01 – Composição química do cimento Portland CP II Z 32

Análise Química	Norma ABNT	Especificações	Resultados
Perda ao Fogo (%)	NBR 5743/89	≤ 6,5	6,14
Dióxido de Silício – SiO ₂ (%)	NBR 9203/85	-	21,19
Óxido de Alumínio – Al ₂ O ₃ (%)	NBR 9203/85	-	7,12
Óxido de Ferro – Fe ₂ O ₃ (%)	NBR 9203/85	-	2,17
Óxido de Cálcio – CaO (%)	NBR 9203/85	-	27,30
Óxido de Magnésio – MgO (%)	NBR 9203/85	≤ 6,5	4,69
Anidrido Sulfúrico – SO ₃ (%)	NBR 5745/89	≤ 4,0	2,35
Anidrido Carbônico – CO ₂ (%)	NBR 11583/90	≤ 5,0	-
Óxido de Cálcio Livre - CaO Livre	NBR 7227/90	-	1,24
Resíduo Insolúvel (%)	NBR 5744/89	≤ 16,0	8,05

TABELA 02 – Resultados dos ensaios físicos do cimento Portland CP II Z 32

Ensaio Físico	Norma ABNT	Especificações	Resultados
Finura Malha nº 200 (%)	NBR 11579/91	≤ 12,0	3,8
Massa Específica (g/cm ³)	NBR NM 23/98	-	2,94
Massa Unitária (g/cm ³)			1,166
Área Esp.(Blaine) (cm ² /g)	NBR NM 76/98	≥ 2600	3845
Início de Pega (h:min)	NBR 11581/91	≥ 1:00	2:39
Fim de Pega (h:min)	NBR 11581/91	≤ 10:00	5:10
Expansibilidade à quente	NBR 11582/91	≤ 5,0	0,1
Resistência 3 dias (MPa)	NBR 7215/96	≥ 10	22,1
Resistência 7 dias (MPa)	NBR 7215/96	≥ 20	28,7
Resistência 28 dias (MPa)	NBR 7215/96	≥ 32	35,3

Todos os resultados atendem os limites estabelecidos nas normas correspondentes. Pela característica desse tipo de cimento espera-se como produto hidratado cerca de 20% a 25% de Ca(OH)₂ dentre o total de volume sólido da pasta de cimento completamente hidratada. Isto significa que o presente cimento é vulnerável ao ataque por soluções ácidas ou sulfatadas. Por outro lado para situação de severo ataque por carbonatação ele é recomendado. Destaca-se o baixo teor de álcalis nesse cimento o que é bom para prevenir contra a reação álcalis-agregado.

5.1.2 Areia

A areia utilizada foi proveniente do rio Paraíba. Ela foi selecionada por apresentar uma granulometria média e um teor de material fino adequado à fabricação de pré-moldados. Para isso, buscou-se obter um teor não inferior a 50% de material retido nas peneiras (#) 0,15mm e 0,30mm. Este critério foi adotado visando permitir um melhor acabamento na superfície os blocos moldados.

A areia foi acondicionado em lonas plásticas com o intuito de evitar sua contaminação por outros materiais. As amostras após secagem por exposição direta ao sol e ao ar foram colocadas em tambores com tampa, de modo a proteger da umidade.

5.1.3 Cascalho

O cascalho (granítico) utilizado, proveniente das pedreiras nas mediações de Campina Grande. Antes de ser utilizado foi inicialmente lavado para eliminar a porção

fina (pó de pedra) aderente à superfície dos grãos. Em geral esse pó aumenta a demanda de água na mistura, o que prejudica a resistência mecânica.

O cascalho também foi acondicionado em lonas plásticas com o intuito de evitar sua contaminação por outros materiais e, após secagem por exposição direta ao sol e ao ar foram colocadas em recipientes com tampa, de modo a proteger da umidade.

5.1.4 Resíduo da Serragem do Granito

O resíduo da serragem de granito foi coletada da Empresa FUJI S.A. Mármore e Granitos, Alça Sudoeste, S/N, Distrito Industrial, Ligeiro, Campina Grande – PB. E segue as prescrições da NBR 10007/87 – “Amostragem de Resíduos” que fixam as condições exigíveis para amostragem, preservação e estocagem de resíduos sólidos.

As amostras foram trituradas em um moinho, sendo logo após secas em estufa, para posteriormente serem armazenadas em sacos plásticos de modo a proteger da umidade.

5.2 Metodologia

5.2.1 Ensaios de Caracterização

5.2.1.1 Análise granulométrica.

Foram realizadas as análises granulométricas do cascalho e areia segundo a Norma ABNT NBR 7217/82 – “Determinação da Composição Granulométrica dos Agregados”.

Para as amostras de resíduos foram seguidas as recomendações da Norma ABNT NBR 6508/84 – “Solo – Análise Granulométrica”.

5.2.1.2 Massa específica real.

Amostras de cascalho foram submetidas à determinação da massa específica real, de acordo com as recomendações da Norma da ABNT NBR 9937/87 – “Determinação da Absorção e da Massa Específica do Agregado Graúdo”.

As amostras de areia foram submetidas à determinação da massa específica real, de acordo como descrito na norma NBR 9776/87 – “Método de Ensaio para Determinação da Massa Específica do Agregado Miúdo - Frasco de Chapman”.

Amostras de resíduos foram submetidas à determinação da massa específica real segundo o método do picnômetro de hélio, utilizando picnômetro Micromeritics, modelo AccuPyc 1330.

5.2.1.3 Massa unitária dos agregados em estado solto.

Foi realizada a determinação da massa unitária em estado solto do cascalho e da areia segundo a Norma ABNT NBR 7251/82 – “Agregados em Estado Solto – Determinação da Massa Unitária”.

5.2.1.4 Teor de materiais pulverulentos.

As amostras de areia foram submetidas à determinação do teor de materiais pulverulentos, de acordo como descrito na norma NBR 7219/87 – “Determinação do Teor de Materiais Pulverulentos”.

5.2.1.5 Teor de argila em torrões e materiais friáveis.

As amostras de areia foram submetidas à determinação do teor de materiais pulverulentos, de acordo como descrito na norma NBR 7218/87 – “Agregados - Determinação do Teor de Argila em Torrões e Materiais Friáveis”.

5.2.1.6 Massa unitária dos agregados em estado compactado seco.

Foi utilizado para determinar a melhor composição entre os agregados naturais (areia e cascalho) o ensaio da massa unitária no estado compactado seco, de acordo como prescrito na norma NBR 7810/83 "Agregado em estado compactado seco – Determinação da massa unitária".

5.2.1.7 Análise química convencional.

A análise química fornece dados fundamentais de grande utilidade científica, apesar de não permitir uma avaliação completa da composição mineralógica e das propriedades físico-químicas e tecnológicas. As determinações foram: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , Na_2O , K_2O , CaO , Pr (perda ao rubro).

O resíduo foi submetido à análise química segundo as normas do Laboratório de Análise Mineraiis do CCT/PRAI/UFCG.

5.2.1.8 Área Específica

A área específica do resíduo foi realizada pelo método do BET, em equipamento da Micromerities, modelo ASAP-2370.

5.5.2 ENSAIOS TECNOLÓGICOS

5.5.2.1 Confeção dos blocos de concreto

No estudo de dosagem para a fabricação dos blocos de concreto sem função estrutural (dimensões 9 cm x 19 cm x 39 cm) que atendem as especificações da Norma da ABNT NBR 7173/82, foi adotado o controle rigoroso na mistura dos materiais, para reduzir a variabilidade e a dispersão dos resultados obtidos. Isso significa dizer que os traços foram realizados em massa e sempre se trabalhou com os agregados seco, permitindo um melhor controle da relação água cimento (a/c) das misturas avaliadas.

A proporção entre os dois agregados naturais (areia e cascalho) sempre permaneceu na relação de 50%, pois foi aquela que proporcionou a maior massa

unitária dos agregados em estado compactado seco, como pode ser observado na Figura 01.

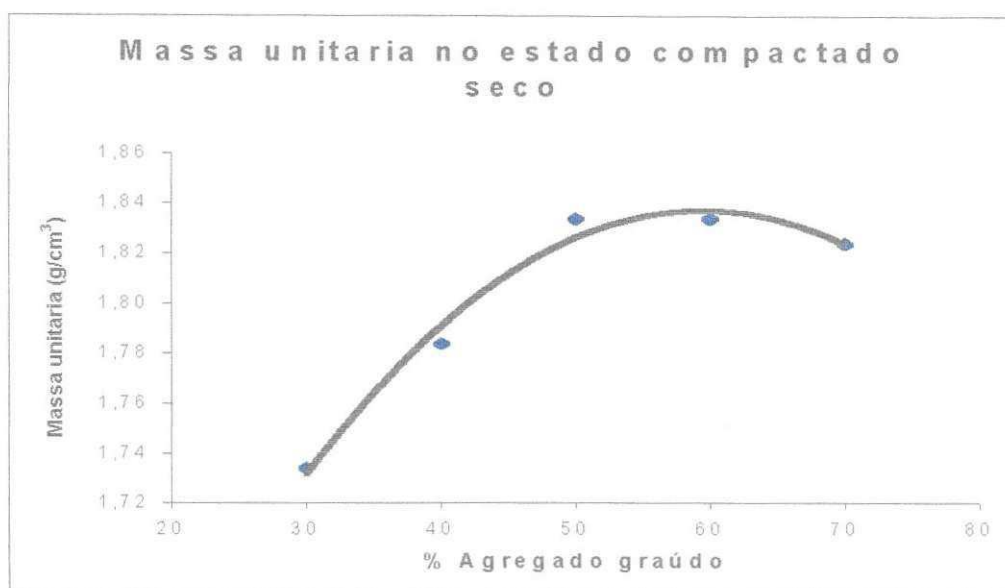


FIGURA 01 – Gráfico da massa unitária da mistura versus à porcentagem de cascalho na mistura

Perceber-se que o ponto ótimo esta aproximadamente em torno de 60% agregado graúdo. Mas ao realizarmos a moldagem dos blocos essa composição não se mostrou satisfatório. Logo a composição escolhida foi de 50% de cascalho e areia, apresentando resultados satisfatório quanto à moldagem de blocos.

A diminuição do índice de vazios implica na diminuição da quantidade de argamassa a empregar, resultando no aumento da resistência a compressão e a durabilidade do concreto. (BAUER, 1995).

O concreto para a confecção dos corpos de prova foi obtido obedecendo a seguinte metodologia:

- a) Primeiro colocou-se o cascalho e parte da água (um litro) na betoneira, misturando-se por apenas alguns minutos;
- b) Em seguida colocou-se a areia, deixando homogeneizar o material;
- c) Após a homogeneização, colocou-se o resíduo deixando homogeneizar novamente;
- d) Por último, colocou-se o cimento deixando homogeneizar todo o material;
- e) A água foi adicionada aos poucos, até a quantidade indicada;
- f) Após o término da colocação dos materiais, a misturadora permaneceu ligada até que se obtivesse um concreto homogêneo (aspecto uniforme).

Os blocos foram moldados com a mesma massa de concreto preparada, até no máximo 30 minutos após a mistura dos materiais. Enquanto a mistura permaneceu em repouso, ela foi protegida da ação do sol e do vento, cobrindo-a com panos úmidos, evitando a evaporação da água de mistura.

Como se está trabalhando com misturas secas que têm baixa relação água/cimento tomou-se maiores cuidados para não perder o pouco de água existente no concreto. A falta de água trará prejuízos ao processo da hidratação dos grãos de cimento e ao ganho de resistência à compressão ao longo do tempo.

Os blocos de concreto foram moldados utilizando máquina do tipo vibro-prensa sem conjugação de vibração com prensagem (Figura 02). Logo após a moldagem foram colocados juntamente com bandejas de madeira dentro da câmara úmida ($T = 23^{\circ}\text{C}$ e $\text{UR} > 95\%$). No dia seguinte eles foram retirados dos moldes e submetidos ao processo de cura imersos em água e cal (a cal foi utilizada a fim de regular o pH da água dentro de tanques) até as idades de controle (idade dos ensaios).

5.5.2.2 Determinação do teor ótimo de água na mistura

Foram estudados os traços 1:4, 1:6 e 1:8 para moldar amostras de concreto com 5%, 10% e 15% e 20% de resíduos em substituição a massa do agregado miúdo convencional (areia).

A fim de determinar o teor ideal de água, de cada um dos traços, foram moldados blocos variando a relação a/c. Para cada relação a/c foram confeccionados três blocos, observando se, com a massa de concreto, era possível formar um "bolo" com a mão, que manteve a forma inalterada (Figura 03). Em seguida, após a moldagem, verificou se as superfícies laterais dos blocos apresentam minúsculos veios d'água. Passados sete dias de cura os blocos foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão simples. O fator a/c ideal foi aquele que proporcionou a maior resistência à compressão simples.

O teor de água na mistura esta relacionada com a capacidade de compactação e vibração do tipo de máquina utilizado para moldar o bloco. Deve-se lembrar que se esta trabalhando com um tipo de equipamento que não conjuga as operações de vibração/compactação. Este fato determina alguma limitação nos resultados alcançados, apesar da simplicidade na operação das máquinas.



FIGURA 02 – Máquina de moldagem



FIGURA 03 – Teste da mão

5.5.2.3 Resistência a Compressão Simples

A Resistência à Compressão Simples (f_c) dos blocos foi determinada seguindo recomendações da norma da ABNT NBR – 7184/91 - “Blocos Vazados de Concreto Simples Para Alvenaria – Determinação da Resistência a Compressão”, para cada traço e tempo de cura estudado. Para cada traço, os blocos foram capeados com uma pasta composta de cimento e água, sobre uma mesa forrada com placas de acrílico, para que o bloco ficasse com superfícies planas antes de ser submetido aos ensaios de resistência a compressão simples. A superfície plana é importante para evitar concentração de carga sobre o bloco durante o ensaio, o que traria prejuízos aos resultados.

Para a depuração dos resultados de resistência à compressão simples (f_c) obtido para cada mistura foi aplicado o critério de “Chauvenet”. A aplicação desse critério significa que, em uma série de medidas, a probabilidade de ocorrência de um desvio de valor “x” é menor que $1/2n$, conforme a fórmula $P_x < 1/2n$. Para avaliar a evolução da resistência mecânica das dosagens, utilizaram-se 3 medidas ou blocos, ou seja, “n” = 3 (tres) e, portanto, $P_x = 0,167$ (desvio máximo de 16,7%). Dessa forma, foram rejeitados aqueles valores que tiveram desvio máximo de $\pm 16,7\%$ em relação à média (entre os três resultados por idade).

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Caracterização dos Materiais

6.1.1 Agregados Naturais

As Tabelas 03 e 04 apresentam os resultados da análise granulométrica dos agregados naturais (areia e cascalho) utilizada no estudo.

TABELA 03 – Granulometria do agregado miúdo (areia).

# (mm)	Material retido		% que passa da amostra total
	% Amostra total	% Acumulada	
9,5	0,45	0,45	99,55
4,8	0,41	0,86	99,14
2,4	1,45	2,31	97,69
1,2	5,52	7,83	92,17
0,6	23,79	31,62	68,38
0,3	50,83	82,45	17,55
0,15	15,88	98,33	1,67
Resto	1,67	100,00	0,00

$D_{\text{máx}} = 2,4\text{mm}$ Módulo de finura = 2,24

TABELA 04 – Granulometria do agregado graúdo (cascalho).

# (mm)	Material retido		% que passa da amostra total
	% Amostra total	% Acumulada	
12,7	0,49	0,49	99,51
9,5	0,50	0,99	99,01
4,8	49,07	50,06	49,94
2,4	20,87	79,93	20,07
1,2	7,19	87,13	12,87
0,6	4,48	91,61	8,39
0,3	3,22	94,83	5,17
0,15	2,67	97,50	2,50
Resto	2,33	99,83	0,17

$D_{\text{máx}} = 9,5\text{mm}$ Módulo de finura = 4,99

De acordo com a NBR 7211/83 a areia é classificada como fina (zona 2) e atende ao critério relacionado à soma das percentagens retidas nas peneiras (#)

0,15mm e 0,30mm (com cerca de 50 %). E esse critério é importante para propiciar melhor acabamento na superfície dos blocos.

O cascalho não se enquadrar em nenhuma classificação da NBR 7211/83, pois se tratar de resíduo da britagem de rochas graníticas. Recomenda-se que seu diâmetro máximo do seja no máximo igual à metade da espessura dos moldes que, neste caso, é referida à espessura das paredes dos blocos. Como a espessura do bloco de vedação é cerca de 20 mm e o cascalho utilizado tem $D_{\text{máx}} = 9,5\text{mm}$, conforme o resultado da granulometria, observa-se que essa recomendação é atendida.

A Tabela 05 apresenta os valores da massa específica e a massa unitária obtidas para a areia e o cascalho respectivamente.

TABELA 05 – Massa específica e massa unitária dos agregados naturais.

Agregado Naturais	Massa específica (g/cm ³)	Massa unitária (g/cm ³)
Areia	2,591	1,437
Cascalho	2,632	1,389

A massa específica dos agregados tem reflexo direto na massa específica do concreto, já que ele contribui com cerca de 80% da massa do concreto, e dos três componentes principais (cimento, água e agregado) é o único que tem densidades variáveis. A importância de se determinar a massa unitária está na possibilidade de converter as composições do concreto dadas em volume para massa e vice-versa. (BAUER, 1995).

A Tabela 06 apresenta o teor de materiais pulverulentos e o teor de argila em torrões contidos na areia.

TABELA 06 – Determinações do teor de materiais pulverulentos e do teor de argila em torrões da areia.

	Areia	
	Limite máximo	Resultado
Teor de materiais pulverulentos (%)	5,0	0,74
Teor de argila em torrões (%)	1,5	0,95

6.1.2 Resíduo da Serragem do Granito

A Tabela 07 apresenta a composição química do resíduo estudado. Verifica-se que o resíduo apresenta teores de SiO_2 superior a 60% e teores de Al_2O_3 superior 13%. O teor de Fe_2O_3 situou-se em torno de 6%. A presença do CaO e do Fe_2O_3 encontrado na amostra são oriundos principalmente da granalha e cal utilizados como abrasivos e lubrificantes respectivamente. O teor de fundentes, Fe_2O_3 , Na_2O e K_2O , é de aproximadamente 13%.

TABELA 07 – Composição química do resíduo utilizado.

Pr	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O
2,57	60,20	6,30	13,80	6,02	-	3,38	3,63

Deve-se tomar cuidado com o elevado teor de K_2O e Na_2O , pois pode propiciar o aumento do teor de álcalis no sistema (cimento + resíduo + agregado) e desencadear a reação álcalis-agregado. Essa reação é lenta, expansiva e pode comprometer a durabilidade dos blocos.

A Tabela 08 apresenta os resultados da análise granulométrica do resíduo obtida por peneiramento e sedimentação.

TABELA 08 – Granulometria do resíduo utilizado neste trabalho.

# (μm)	Material retido		% que passa da amostra total
	% Amostra total	% Acumulada	
74	0,00	0,00	100,00
70	20,00	20,00	80,00
60	5,00	25,00	75,00
50	4,00	29,00	71,00
40	6,00	35,00	65,00
30	2,00	37,00	63,00
20	11,00	48,00	52,00
10	16,00	64,00	36,00
5	17,00	81,00	19,00
2	12,00	93,00	7,00

Tem-se que o resíduo tem 100% de massa acumulada passando pela peneira ABNT nº 200 (74 μm). Observa-se que o resíduo apresenta 80% em massa de partículas com diâmetro equivalente inferior a 70 μm . Verifica-se que o resíduo apresenta valor de porcentagem em massa de partículas com diâmetro equivalente

inferior a 2 μm de 7%, o que é bem semelhante a matérias-primas cerâmicas não-plásticas, quartzo e feldspato (5% e 8%).

Com base na curva de distribuição do tamanho de partículas obtidas pelo método de absorção de raios X, observa-se que os resíduos apresentam porcentagens de massa acumulada entre 40% e 50%, para um diâmetro médio equivalente a 10 μm , sendo esses valores similares a matérias-primas cerâmicas ($DM < 10 \mu\text{m}$).

A Tabela 09 apresenta os valores da massa específica real e da área específica pelo método BET obtidas para o resíduo. Verifica-se que o resíduo estudado apresenta área específica superior aos das matérias-primas convencionais não-plásticas (quartzo, 1,33 m^2/g e feldspato, 2,41 m^2/g). O valor da massa específica estão dentro da faixa de referencia (2,60 g/cm^3 a 2,70 g/cm^3) para matérias-primas cerâmicas não-plásticas.

TABELA 09 – Massa específica e área específica do resíduo.

Resíduo da Serragem do Granito	
Massa específica (g/cm^3)	2,701
Área específica (m^2/g)	6,16

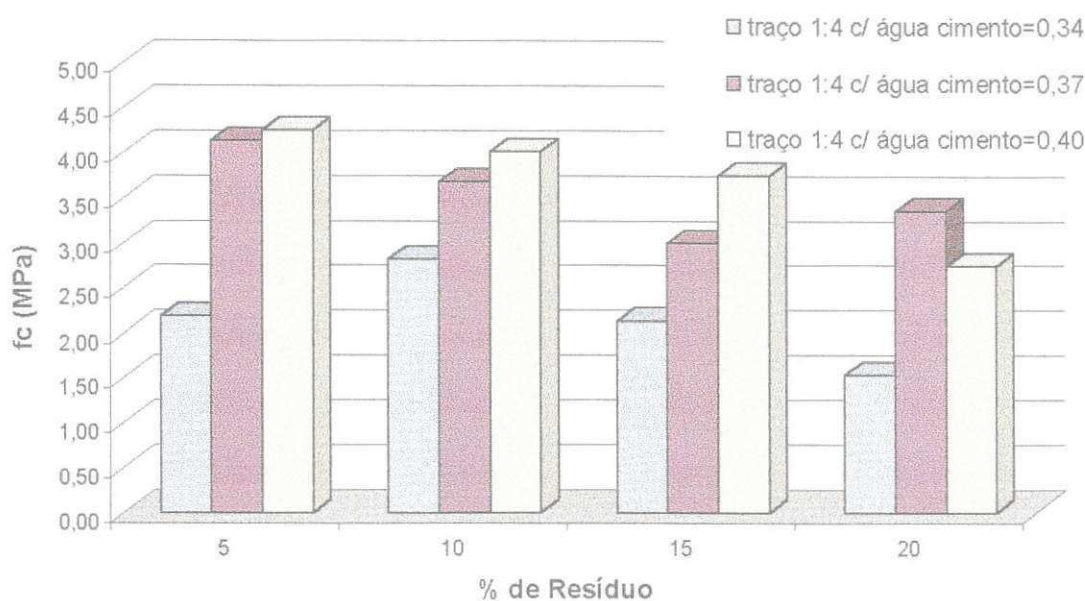
6.2 Determinação do Teor Ótimo de Água na Mistura

A Tabela 10 apresenta o valor de f_c (resistência a compressão simples), em MPa, dos blocos de concreto com 7 dias de cura imersos, para cada traço, composição e relação água cimento estudados.

TABELA 10 – Valores de f_c (MPa) de blocos de concreto com 7 dias de cura imersos para cada traço, composição e a/c estudados.

Traço a/c	f_c (MPa)								
	1:4			1:6			1:8		
%R	0,34	0,37	0,40	0,44	0,49	0,54	0,64	0,67	0,70
5	2,184	4,131	4,245	2,564	3,086	3,780	2,688	3,248	3,490
10	2,821	3,675	4,010	2,156	3,419	4,274	2,194	2,749	1,425
15	2,137	3,001	3,751	1,382	2,564	4,729	2,032	2,536	2,194
20	1,533	3,362	2,749	3,466	2,764	1,709	2,279	3,124	3,419

A Figura 04 apresenta os valores de f_c (em MPa) para cada composição com o traço 1:4.



F

IGURA 04 – Valores de f_c (em MPa) para cada composição com o traço 1:4.

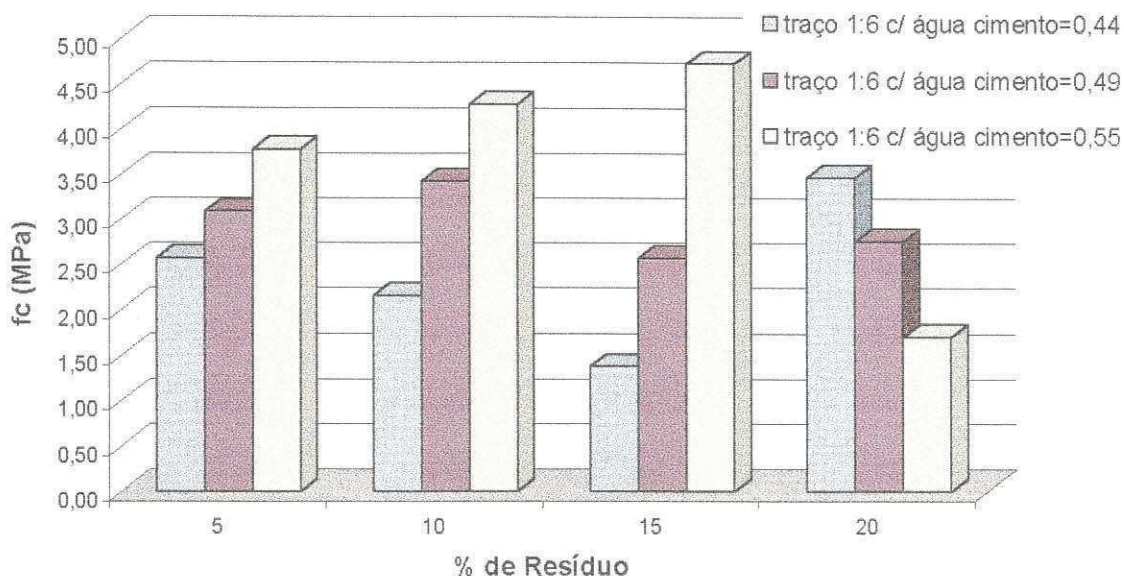
Analisando a Figura 04 tem-se que a relação água cimento ótima para o traço 1:4 é de $a/c = 0,40$, pois foi a aquela apresentou o maior valor de f_c , com exceção para o compósito com 20% de resíduo incorporado que apresentou relação água cimento ideal de $a/c = 0,37$.

Observa-se que o aumento da quantidade de água utilizada na moldagem provoca um aumento significativo da resistência à compressão simples. Com exceção do compósito com 20% de resíduo incorporado, na qual o aumento de $a/c = 0,37$ para $a/c = 0,40$ provocou uma diminuição dos valores de f_c .

Verificou-se, de um modo geral, que o aumento da proporção de resíduo na mistura (para as relações a/c ideal) provoca uma queda da resistência à compressão simples, fato este explicado devido à baixa resistência do agregado alternativo.

Constata-se que todas as composições do traço 1:4 com relação água/cimento ideal (maior valor de f_c) atendem as exigências da Norma ABNT NBR 7173/82 ($f_c \geq 2,5$ MPa) já com sete dias de cura.

A Figura 05 apresenta os valores de f_c (em MPa) para cada composição com o traço 1:6.



F

IGURA 05 – Valores de f_c (em MPa) para cada composição com o traço 1:6.

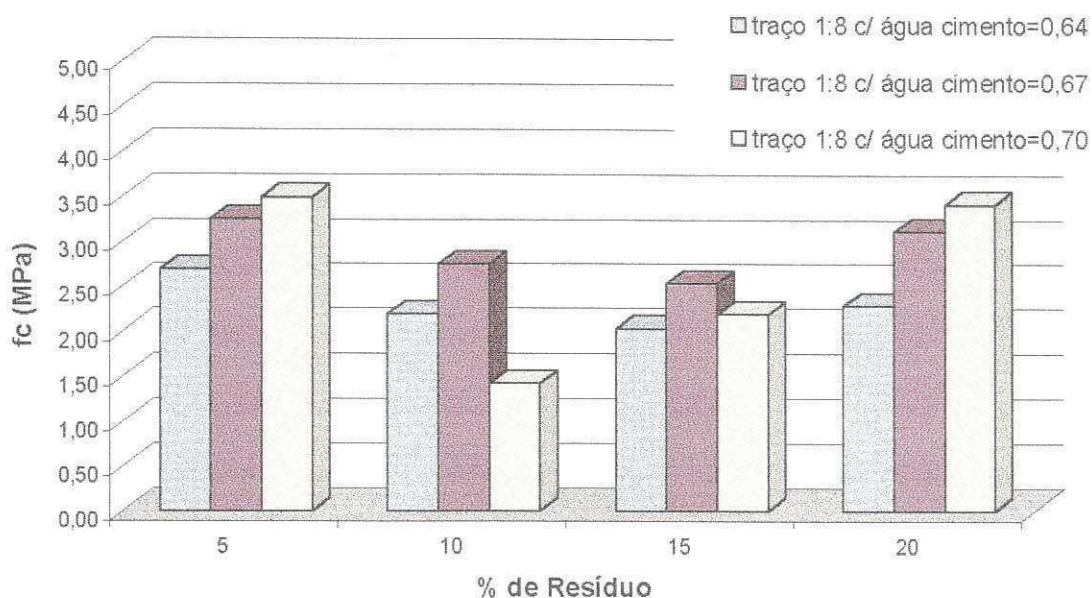
Analisando a Figura 05 tem-se que a relação água cimento ótima para o traço 1:6 é de $a/c = 0,55$, pois foi a aquela apresentou o maior valor de f_c , com exceção novamente para o compósito com 20% de resíduo incorporado que apresentou relação água cimento ideal de $a/c = 0,44$.

Observa-se o mesmo padrão de comportamento em relação à oscilação dos valores de f_c à medida que aumenta a quantidade de água, conforme ocorreu com o traço 1:4 (Figura 02), com exceção do compósito com 20% de resíduo incorporado, na qual o aumento o aumento da quantidade de água provocou uma diminuição de dos valores de f_c .

Diferentemente daquilo que ocorreu com o traço 1:4 (Figura 04) o aumento da proporção de resíduo na mistura (para as relações a/c ideal) provoca um aumento da resistência à compressão simples, fato este não observado com o compósito com 20% de resíduo incorporado.

Constata-se que todas as composições do traço 1:6 com relação água/cimento ideal (maior valor de f_c) atendem as exigências da Norma ABNT NBR 7173/82 ($f_c \geq 2,5$ MPa) já com sete dias de cura.

A Figura 06 apresenta os valores de f_c (em MPa) para cada composições com o traço 1:8



F

IGURA 06 – Valores de f_c (em MPa) para cada composição com o traço 1:6.

Analisando a Figura 06 não é possível estabelecer um padrão de comportamento em relação à oscilação dos valores de f_c à medida que aumenta a quantidade de água, conforme ocorreu com os traços 1:4 e 1:6 (Figura 04 e Figura 05 respectivamente). Os compósitos com 5% e 20% de resíduo incorporado, apresentam um aumento dos valores de f_c , já os compósitos com 10% e 15% apresentam um aumento seguido de uma queda nos valores de f_c .

Análogo ao traço 1:4 (Figura 04) o aumento da proporção de resíduo na mistura (para as relações a/c ideal) provoca uma diminuição da resistência à compressão simples, fato este não observado com o compósito com 20% de resíduo incorporado.

Constata-se que todas as composições do traço 1:8 com relação água/cimento ideal (maior valor de f_c) atendem as exigências da Norma ABNT NBR 7173/82 ($f_c \geq 2,5$ MPa) já com sete dias de cura.

Assim sendo a relação água cimento ideal para cada traço e composição é:

% de resíduo incorporado	1:4	1:6	1:8
5%	0,40	0,55	0,70
10%	0,40	0,55	0,67
15%	0,40	0,55	0,67
20%	0,37	0,44	0,70

7. CONCLUSÃO

Com base nos resultados apresentados concluímos que:

- O resíduo apresenta massa específica real, distribuição granulométrica e área específica semelhante às das matérias-primas convencionais para a fabricação de blocos cerâmicos, situando-se entre os valores das matérias não-plásticas e plásticas.
- Todas as composições estudadas com relação água/cimento ideal (maior valor de f_c) atendem as exigências da Norma ABNT NBR 7173/82 ($f_c \geq 2,5$ MPa) já com sete dias de cura.
- Na maioria dos casos o aumento de água provoca um ganho de resistência a compressão simples. Esse efeito parece ser diferente em função da quantidade de resíduo presente nas composições.

O aumento da quantidade de água provoca um melhor arranjo das partículas e também uma melhora no grau de compactação (que depende também da máquina utilizada na moldagem) e, por conseguinte um aumento da resistência a compressão simples, no entanto o aumento contínuo da quantidade de água a partir de um certo ponto provocará uma queda da resistência f_c , pois esta ocupará o lugar das partículas sólidas, aumentando assim os vazios do bloco. Desta forma o gráfico da resistência da resistência a compressão simples (f_c) em função da relação a/c assemelha-se a uma parábola, aumentando até uma relação a/c ideal, a partir daí começa a decrescer com o acréscimo de água (observe a Figura 02 com 20% de resíduo traço 1:4).

No entanto nem sempre é possível encontrar o fator água cimento ideal (fato constatado na maioria das composições) devido às limitações na conjugação nas etapas de vibração e prensagem da máquina vibro-prensa utilizada na moldagem, o que tem impossibilitado trabalhar com dosagens com menor consumo de cimento.

Diante de tais perspectivas promissoras, novos estudos devem ser desenvolvidos para que se possa produzir blocos pré-moldados ainda mais econômico com menor

consumo possível de agregados naturais superando as limitações até então encontradas.

É importante ressaltar que análise de blocos alternativos utilizando resíduos a da serragem de rochas graníticas como agregados não se limita ao estudo da resistência a compressão simples e absorção de água, deve lembrar da necessidade de uma análise quanto ao envelhecimento (durabilidade) e logicamente dos custos referentes a produção industrial.

Espera-se que o objetivo deste trabalho tenha sido alcançado, contribuindo ao mesmo tempo para preservar o meio ambiente e para aumentar o grau de confiabilidade da reciclagem dos resíduos da serragem de rochas graníticas como materiais reaproveitáveis para fabricação de componentes utilizados em edificações.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. Determinação da Absorção de Água e da Massa Específica do Agregado Graúdo. NBR 9937/87.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. Método de Ensaio para determinação da massa específica do agregado miúdo - Frasco de Chapman. NBR 9776/87.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. Agregado em Estado Compactado seco - Determinação da Massa Unitária. NBR 7810/83.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. Determinação da Composição Granulométrica dos agregados. NBR 7217/82.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Agregados em estado solto – Determinação da massa unitária – Método de ensaio, NBR 7251/82.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Grãos de Solos que Passam na Peneira de 4,8mm - Determinação da Massa Específica – Método de ensaio, NBR 6508/84.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Amostragem de Resíduos, NBR 10007/87.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Agregados – Determinação do Teor de Argila em Torrões e Materiais Friáveis, NBR 7218/87.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Determinação do Teor de Materiais Pulverulentos, NBR 7218/87.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria sem Função Estrutural, NBR 7173/82.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Blocos Vazados de Concreto Simples – Determinação da Resistência a Compressão, NBR 7184/91.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria sem Função Estrutural, NBR 7173/82.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Agregado para Concreto, NBR 7211/83.
- BAUER, L. A. F. Materiais de Construção vol. 1 - 5ª edição. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. Rio de Janeiro - 1995 - pg. 435.

ENBRI – Development of a Framework for Environmental Assessment of Building Materials and Components. ENBRI Proposal to European Community BRITE EURAM PROGRAM. 1994.

FREIRE, A. S. & MOTTA, J. F. Rochas de Qualidade vol 16 – 1995 - pg 123.

SAUTEREY, R. Proceedings Aiaeenpc vol 1 – 1978 - pg 37.

SILVA, N. I. W. et. al, Anais do 42º Congresso Brasileiro de Ceramica. Poços de Caldas. São Paulo – 1998 – pg 97.