

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC  
PÓS-GRADUAÇÃO – ESPECIALIZAÇÃO EM COORDENAÇÃO DE PROJETOS E  
NOVAS TECNOLOGIAS EM EDIFICAÇÕES**

**LUIZ RENATO STEINER**

**EFEITO DO REJEITO DE POLIMENTO DO PORCELANATO NA FABRICAÇÃO  
DE BLOCOS DE CONCRETO DE CIMENTO *PORTLAND***

**CRICIÚMA, MARÇO DE 2011**

**LUIZ RENATO STEINER**

**EFEITO DO REJEITO DE POLIMENTO DO PORCELANATO NA FABRICAÇÃO  
DE BLOCOS DE CONCRETO DE CIMENTO *PORTLAND***

**Monografia apresentada como requisito para a  
obtenção do grau de especialista em Engenharia  
Civil, no curso de Pós Graduação, da Universidade  
do Extremo Sul Catarinense – UNESC**

**Orientador: Prof. Dr. Eng. Fernando Pelisser**

**CRICIÚMA, MARÇO DE 2011**

## RESUMO

Novas formas de tratamento de resíduos urbanos e industriais têm levado a uma série de estudos relacionadas à reutilização e adição destes no processo industrial. Os resíduos originados no processo de polimento das peças cerâmicas de porcelanato não são diferentes, possuem elevada quantidade de efluentes, necessitando de tratamento das águas e deposição da parte sólida em aterros controlados, com um elevado custo financeiro e ambiental. Neste trabalho estudou-se o rejeito de polimento de porcelanato (RPP) avaliando seu efeito sinérgico (ou aglomerante) potencializando o efeito do cimento *Portland* para fabricação de blocos de concreto para vedação. Para caracterizar física e quimicamente o RPP, foram realizados ensaios de granulometria a laser, fluorescência de raios-X (FRX) e absorção atômica. Para estudo da mistura, foram utilizadas quatro composições de argamassa, de traço 1:3 adicionando 0, 5, 10 e 20% de rejeito em massa de cimento, sendo avaliadas por meio de ensaios de índice de consistência, resistência a compressão e medida do calor de hidratação (calorimetria). Os resultados mostraram que o resíduo melhora as características de trabalhabilidade e consistência das argamassas, tem participação na hidratação, acelerando e/ou reagindo com os compostos do cimento, indicando atividade pozolânica da sílica presente com hidróxido de cálcio e comprovado pelo ganho de resistência a compressão, em média 50% para uma adição de 20% de rejeito de RPP. O estudo apresentou o potencial e a viabilidade do uso do rejeito em produtos à base de cimento *Portland*, no entanto, o elevado teor de álcalis ( $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{K}_2\text{O}$ ) limita o uso em concretos que tenham agregados graúdos com presença de sílica amorfa, causando reações deletérias álcali-agregados. Mas sendo um material com características físicas tão nobres, necessita de mais estudos que possam ampliar sua aplicação em escala industrial e comercial.

**Palavras-chave:** Resíduo de porcelanato. Agregado fino. Blocos de concreto. Resistência a compressão. Reaproveitamento de resíduos.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Tipos de blocos vazados de concreto e vibro prensa para fabricação .....	13
Figura 2 – Comparação entre composições velhas e novas.....	19
Figura 3 – Diagrama de blocos para diversas hipóteses de fluxo de produção do Grês .....	21
Figura 4 – <i>Lay-out</i> de uma linha de polimento e retífica do grês porcelanato .....	24
Figura 5 – Gráfico da distribuição granulométrica do Rejeito do Polimento do Porcelanato .....	29
Figura 6 – Gráfico resistência à compressão para diferentes idades e adições.....	34
Figura 7 – Curva da análise térmica diferencial para adições de RPP.....	36

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dimensões reais dos blocos vazados de concreto – NBR 6136:2006 ....	15
Tabela 2 – Dimensões das espessuras em função da classe – NBR 6136:2006 .....	15
Tabela 3 – Resultados do ensaio de caracterização química do RPP .....	30
Tabela 4 – Traços e dosagens utilizadas no experimento .....	31
Tabela 5 – Resultados do ensaio de granulometria para RPP.....	33
Tabela 6 – Índice de consistência das argamassas .....	34
Tabela 7 – Resultados do ensaio de compressão axial das argamassas .....	35

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>6</b>
1.1 TEMA .....	6
1.2 OBJETIVOS .....	7
<b>1.2.1 Objetivo Geral</b> .....	<b>7</b>
<b>1.2.2 Objetivos Específicos</b> .....	<b>7</b>
1.3 JUSTIFICATIVA .....	7
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>9</b>
2.1 BLOCOS PARA CONSTRUÇÃO .....	9
<b>2.1.1 Histórico</b> .....	<b>9</b>
2.2 PRÉ-MOLDADO E PRÉ-FABRICADO .....	11
2.3 ARTEFATOS DE CIMENTO .....	12
<b>2.3.1 Blocos de concreto</b> .....	<b>12</b>
<b>2.3.2 Especificações dos blocos</b> .....	<b>13</b>
<b>2.3.3 Produção de Blocos</b> .....	<b>16</b>
2.4 CERÂMICA .....	17
<b>2.4.1 Histórico</b> .....	<b>17</b>
<b>2.4.2 Grês Porcelanato</b> .....	<b>18</b>
<b>2.4.3 Geração de resíduos</b> .....	<b>25</b>
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>29</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA .....	29
3.2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA .....	30
3.3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>33</b>
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>37</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>39</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Esse trabalho teve como objetivo verificar a viabilidade de utilização do resíduo de porcelanato, gerado no processo de polimento e retífica das placas, nas indústrias cerâmicas da região de Criciúma, como agregado miúdo na fabricação de blocos pré-moldados de concreto para alvenaria de vedação. As placas cerâmicas (pisos e azulejos) quando passam pela máquina polidora apresentam um acabamento melhor na superfície e laterais, como brilho, planicidade e uniformidade na sua geometria. Neste processo há uma perda de massa que pode chegar a 5%, gerando um resíduo, denominado de água com lodo fino. Esse lodo passa por um processo, onde é filtrado na estação de tratamento de efluentes e a água reutilizada em um circuito fechado.

Propostas foram estudadas a fim de reaproveitar este material como, por exemplo, sua adição em percentual pequeno na própria produção dos pisos e azulejos. A vantagem de sua incorporação no ciclo de produção é o fato de que o método assegura a inertização de elementos potencialmente tóxicos, uma vez que existe uma reação com a matriz cerâmica a alta temperatura, porém os resultados não foram satisfatórios em termos de consumo.

Em países grandes produtores de cerâmica, estudos foram realizados quanto à utilização deste rejeito em adição ao cimento, onde aspectos físicos e químicos indicam que o rejeito tem um grande potencial como adição em produtos a base de cimento *Portland*, minimizando o impacto ambiental com redução de deposição em aterros controlados. Assim, busca-se nesse trabalho quantificar o benefício desse material na fabricação de blocos de vedação em concreto.

### 1.1 TEMA

Reaproveitamento do resíduo do polimento do porcelanato (RPP) a ser utilizado na fabricação de blocos para alvenaria de vedação.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Estudar a interação do RPP com cimento *Portland* a fim de melhorar seu desempenho para produção de blocos de concreto.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Coletar e caracterizar amostras do RPP.
- Determinar os parâmetros físicos e químicos do rejeito estudado
- Avaliar seu potencial de uso como agregado ou aglomerante combinado ao cimento Portland a fim de reduzir o consumo de cimento ou melhorar seu desempenho para produção de artefatos de cimento
- Contribuir para o desenvolvimento sustentável da construção civil, através do reaproveitamento de resíduos, redução do consumo de cimento e na produção de materiais mais eficientes e duráveis.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

No Brasil, o uso do concreto de cimento *Portland* para fabricação de peças pré-moldadas está bem difundido. Novas formas de utilização do concreto pré-moldado surgem a cada dia e incrementa a construção civil. Entretanto, a escassez de recursos naturais com estas características, demanda uma avaliação detalhada de materiais alternativos a fim de avaliar as suas potencialidades e, se necessário, dispor de técnicas para aprimorar suas características mecânicas, assim como a sua durabilidade.

Por ser um material não inerte, a raspa do polido cerâmico tem um percentual de reutilização muito pequeno na própria indústria cerâmica e o destino do excedente é depositado somente em aterros controlados, gerando custos para sua deposição. A sua utilização como agregado na fabricação de blocos de vedação reduzirá o impacto ambiental, eliminará o custo de seu depósito em aterros e trará um fim mais adequado, sendo utilizado como matéria-prima na indústria da construção civil.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 BLOCOS PARA CONSTRUÇÃO

#### 2.1.1 Histórico

A utilização de blocos na construção de edificações é datada de milhares de anos, primeiramente em blocos de rochas, mas segundo Prudêncio Jr. (2002, *apud National Concrete Masonry Association*, 1988), no ano 4.000 a.C. a argila passou a ser trabalhada, viabilizando a produção de tijolos. Tempos depois os romanos desenvolveram argamassas de cal utilizadas para assentamento e revestimento. Por séculos, obras monumentais foram edificadas em blocos, mostrando sua capacidade portante.

A alvenaria de blocos perdurou até o final do século XIX como material estrutural, que por falta de procedimentos de dimensionamento, eram demasiadamente robustas e antieconômicas. Foi nesta época que surgiram as estruturas de aço e concreto, que apresentaram novos arranjos de formas embasadas em teorias de cálculos, fazendo com que a alvenaria estrutural ficasse em segundo plano.

Em 1850 o inglês *Gibbs* deu sua contribuição na área, criou e patenteou o que seria o advento do bloco de concreto, mas somente por volta de 1950 é que surgiu a alvenaria estrutural propriamente dita, concebida a partir de teorias de cálculos.

Nesta mesma época, nos Estados Unidos, a produção de blocos em concreto superava a produção de blocos cerâmicos, motivada pelo desenvolvimento de máquinas vibro-prensas automáticas, criadas por Jesse Besser, em 1904.

No Brasil o início da produção se deu por volta de 1940, com a construção de 2400 residências em um conjunto habitacional na cidade do Rio de Janeiro. As primeiras máquinas para a confecção dos blocos foram trazidas dos Estados Unidos na década de 1950, dando início ao ciclo evolutivo destes

componentes no país, mas foi em São Paulo que se deu seu maior desenvolvimento.

Estima-se que no Brasil, entre 1964 e 1976, foi construído mais de dois milhões de unidades habitacionais em alvenaria de blocos estruturais, mas os resultados não foram os almejados, a baixa qualidade e durabilidade do produto, trouxe a necessidade de pesquisas para sanar as dúvidas para com este tipo de construção.

Segundo Prudêncio Jr. (2002), em dezembro de 1977, em São Paulo, profissionais do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), empresas produtoras de blocos de concreto e o Comitê Brasileiro de Construção Civil – CB-2 da ABNT se reuniram e formaram uma comissão de estudos para desenvolver as normas nacionais de alvenaria estrutural.

O apogeu da alvenaria de blocos estruturais no Brasil se deu na década de 80. Após esta fase de importantes pesquisas, o trabalho com alvenaria estrutural escasseou, devido a falta de incentivos, profissionais qualificados e problemas patológicos, erroneamente atribuídos ao sistema construtivo. Todos esses fatores prejudicaram o mercado, fazendo com que empresas buscassem outros sistemas mais difundidos e consolidados.

As vantagens econômicas proporcionadas pelo sistema de alvenaria estrutural em comparação ao convencional de estrutura de concreto armado trouxeram ânimo e incentivo para algumas empresas construtoras. Estas mantiveram o sistema construtivo, buscaram soluções, ainda que empíricas, para os problemas patológicos, acabando aos poucos, com a imagem negativa deixada na década de 80, tornando novamente o mercado receptivo ao sistema.

Em algumas regiões do país, o uso de blocos de concreto na construção civil ainda é relativamente baixo. Um dos fatores que contribuem para tal é a falta de conhecimento técnico sobre o assunto, desde a sua fabricação até a sua utilização. Fato que se agrava com o grande número de fabricantes que não possuem informações relacionadas à normatização brasileira e a falta de infra-estrutura para produção em escala destes componentes.

Outro fator não menos importante, é a predominância em algumas regiões da cerâmica vermelha de blocos, que com abundância de matéria-prima, processo de fabricação e controle tecnológicos menos rigorosos, tornam o produto mais competitivo em relação ao bloco de concreto.

Segundo Viero (2008), atualmente, é grande a diversidade de elementos pré-moldados introduzidos no país, o estado de São Paulo, em suas obras, é a vitrine do emprego destes elementos, e vem crescendo sua utilização em edifícios comerciais, residenciais, hotéis, flats e até em edifícios industriais.

As características de diversidade, facilidade de montagem, produtividade e segurança, garantem a qualidade deste sistema construtivo. Paralelo as inovações do produto, surgem grandes avanços em relação aos materiais, fazendo com que melhor se aproveite o desempenho estrutural de cada material na composição dos elementos e componentes, onde bem combinados trazem maior benefício para o conjunto do sistema estrutural.

Para que os blocos de concreto de cimento *Portland* atinjam altos níveis de racionalização da construção das paredes de alvenaria, são analisadas as conformidades, obedecendo a requisitos e critérios de: análise dimensional, determinação de absorção de água e área líquida, resistência à compressão e retração por secagem, estabelecidos pela NBR 12118:2006.

## 2.2 PRÉ-MOLDADO E PRÉ-FABRICADO

Devido ao avanço tecnológico e ao uso de elementos de concreto pré-moldado, Associação Brasileira de Normas Técnicas apresentou a NBR 9062:2006, que trata especificamente do projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Esta norma especifica o padrão de controle de qualidade mínimo a ser atendido na produção destes dois tipos de elementos:

- Pré-moldado: elemento que é executado fora do local definitivo de utilização, produzido em condições menos rigorosas de controle de qualidade, sem a necessidade de pessoa, laboratório e instalações congêneres próprias.
- Pré-fabricado: elemento pré-moldado, executado industrialmente, mesmo em instalações temporárias em canteiros de obra, sob condições rigorosas de controle de qualidade.

## 2.3 ARTEFATOS DE CIMENTO

Segundo Guimarães (2007), artefatos de cimento abrigam indistintamente os materiais produzidos tanto em concreto como em argamassa, sempre empregando como aglomerante principal o cimento *Portland*, encaixam-se ainda neste contexto os produtos fabricados de cimento amianto.

Assim, a gama de produtos fabricados e considerados como artefatos de cimento são enormes, tendo cada qual, suas características particulares de produção e aplicação. O foco deste trabalho é somente blocos de concretos para alvenaria estrutural, objeto em estudo, com adição de raspa do polido cerâmico como agregado.

### 2.3.1 Blocos de concreto

Atualmente são fabricados e utilizados os mais diversos tipos de blocos de concreto para as alvenarias estruturais e de vedação. As peças são obtidas pelo processo prensagem e vibração do concreto de consistência seca em vibro-prensas, dentro de formas de aço com dimensões regulares, sendo curados por pelo menos 7 dias em ambiente com alta umidade. Geralmente são assentados com os furos na vertical, contribuindo na economia de argamassa.

Os blocos devem ser produzidos com cimento *Portland* e agregados inertes, podendo ser de areia, pedrisco, argila expandida e outros tipos, dentro de especificações próprias de cada um destes, com dimensões menores que  $\frac{1}{4}$  da menor espessura da parede do bloco, podendo ainda ser utilizados aditivos e pigmentos. Depois de fabricados os blocos devem ser curados em um processo que assegure um concreto homogêneo e compacto, e serem manipulados de maneira adequada para não terem sua qualidade prejudicada.

Os blocos que receberam revestimentos devem ter uma superfície mais áspera que garanta uma boa aderência, não sendo permitido o uso de qualquer pintura que esconda defeitos existentes no mesmo. Já os blocos aparentes, que

não receberam revestimento, devem ter suas superfícies isentas de imperfeições, trincas e lascas.

A figura 1 mostra alguns exemplos de blocos vazados e suas dimensões, juntamente com um modelo de vibro prensa utilizada na fabricação de blocos.

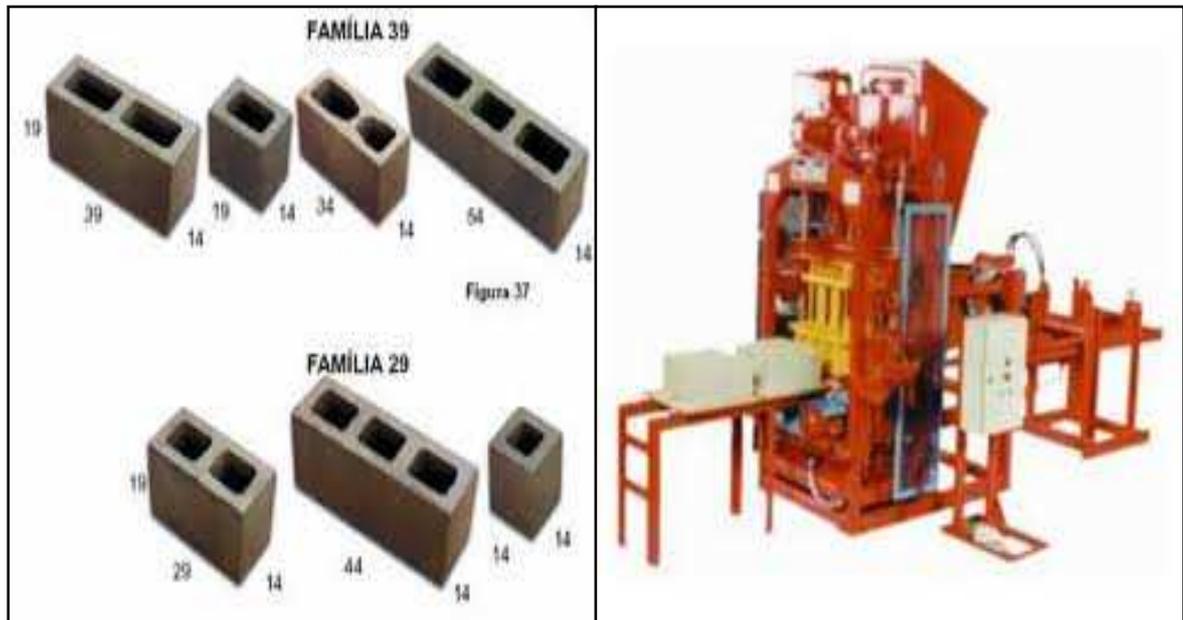


Figura 1 – Tipos de blocos vazados de concreto e vibro prensa para fabricação  
 Fonte: <http://cancelatas.com.br/maquinas-concreto/index.php>, 18/10/2010

## 2.3.2 Especificações dos blocos

### 2.3.2.1 Classificação

Os blocos de concreto vazados são classificados quanto ao uso. A NBR 6136:2006, que especifica que os blocos devem atender as classes descritas a seguir:

- Classe A: com função estrutural, destinados à execução de alvenarias interna e externa, acima ou abaixo do nível do solo.
- Classe B: com função estrutural, destinados à execução de alvenarias internas e externas, acima do nível do solo.
- Classe C: com função estrutural, destinados à execução de alvenarias internas e externas, acima do nível do solo.

- Classe D: sem função estrutural, destinados à execução de alvenarias internas e externas, acima do nível do solo.

Cada classe de blocos vazados de concreto devem atender ainda os requisitos de resistência mecânica, absorção de água e retração linear por secagem, sendo determinado para os blocos com função estrutural das classes A, B e C a resistência característica maior ou igual a 6,0 MPa, 4,0 MPa e 3,0 MPa respectivamente e para os sem função estrutural, classe D, a resistência característica superior ou igual 2,0 MPa. Para ambas as classes, a absorção média de água deve ser menor ou igual a 10% e a retração linear menor ou igual 0,065%.

### 2.3.2.2 Dimensões

Os blocos modulares e sub-modulares de concreto são denominados conforme as suas dimensões nominais e segundo Guimarães (2007), permitem modular as paredes de forma a evitarem o desperdício.

Prudêncio (2002) menciona que alguns fabricantes em função da racionalização nos sistemas construtivos em alvenaria estrutural, têm buscado dispor aos seus clientes o maior número possível de tipos de blocos, buscando a resolução de todos os problemas construtivos na fase de projeto.

As tolerâncias permitidas para suas dimensões são de  $\pm 2,0$  mm para largura e  $\pm 3,0$  mm para altura e comprimento. Na análise dimensional também são observadas as espessuras das paredes, tudo em conformidade com a NBR 6136:2006. As tabelas 1 e 2 apresentam as dimensões reais.

Tabela 1 – Dimensões reais dos blocos vazados de concreto – NBR 6136:2006

		FAMÍLIAS DE BLOCOS									
Designação	Nominal	20	15		12,5			10		7,5	
	Módulo	M - 20	M - 15		M - 12,5			M - 10		M - 7,5	
	Amarração	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/3	1/2	1/2	1/3	1/2
	Linha	20 x 40	15 x 40	15 x 30	12,5 x 40	12,5 x 25	12,5 x 37,5	10 x 40	10 x 30	10 x 30	7,5 x 40
Largura (mm)		190	140	140	115	115	115	90	90	90	65
Altura (mm)		190	190	190	190	190	190	190	190	190	190
Comprimento (mm)	Inteiro	390	390	290	390	240	365	390	190	290	390
	Meio	190	190	140	190	115	-	190	90	-	190
	2/3	-	-	-	-	-	240	-	-	190	-
	1/3	-	-	-	-	-	115	-	-	90	-
	Amarração L	-	340	-	-	-	-	-	-	-	-
	Amarração T	-	540	440	-	365	365	-	290	290	-
	Compensador A	90	90	-	90	-	-	90	-	-	90
	Compensador B	40	40	-	40	-	-	40	-	-	40

Fonte: ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

Tabela 2 – Dimensões das espessuras em função da classe – NBR 6136:2006

Classe	Designação	Paredes longitudinais <sup>1)</sup> mm	Paredes transversais	
			Paredes <sup>1)</sup> mm	Espessura equivalente <sup>2)</sup> mm/m
A	M-15	25	25	188
	M-20	32	25	188
B	M-15	25	25	188
	M-20	32	25	188
C	M-10	18	18	135
	M-12,5	18	18	135
	M-15	18	18	135
	M-20	18	18	135
D	M-7,5	15	15	113
	M-10	15	15	113
	M-12,5	15	15	113
	M-15	15	15	113
	M-20	15	15	113

Fonte: ENEGEP 2008 - Encontro Nacional de Engenharia de Produção

### 2.3.3 Produção de Blocos

Segundo Prudêncio (2002), os agregados miúdos utilizados na fabricação dos blocos, possuem características semelhantes as dos utilizados nos concretos convencionais, onde uma pequena quantidade de agregado graúdo com dimensão máxima de 9,5mm (brita 0) é adicionada.

O cimento mais comum utilizado é o ARI, de alta resistência inicial, acelerando a etapa de desforma e paletização do material. Os agregados miúdos utilizados são as areias médias e grossas, especificadas na NBR 7211, com módulo de finura em torno de 3,0.

Para blocos sem função estrutural, baixa resistência a compressão, onde o consumo de cimento é menor, é necessário o uso de areias finas, que melhoram a coesão e sua textura superficial. Aditivos muitas vezes são utilizados, a exemplo, os incorporadores de ar que melhoram a coesão, a textura superficial, a resistência e diminuem a energia empregada na vibro-compactação, aumentando a produtividade das fábricas.

O concreto utilizado na fabricação dos blocos deve ter uma consistência inicial que permita à imediata desforma (concreto seco), sua dosagem se baseia normalmente na composição ideal entre os agregados e formulação que apresente coesão suficiente, facilitando a produção e desforma, gerando o menor número de vazios possíveis e boa textura superficial.

Devem ser confeccionados traços com diferentes teores de cimento, de modo a se obter uma curva de resistência para atingir a faixa especificada em norma ou a de interesse do fabricante.

A relação água x cimento deve ser estabelecida na própria fábrica de forma experimental, ficando em função dos materiais utilizados e dos equipamentos disponíveis. Quanto mais água puder ser incorporada à mistura, maior será a resistência alcançada, observando-se sempre as etapas de prensagem, desforma e deformações durante o transporte para a cura, sem prejuízos a qualidade do produto.

Após dosagem dos materiais, estes são encaminhados a um misturador, que promoverá a homogeneização do material. A capacidade, tipo do misturador e tempo de mistura, deve ser compatível com o ciclo de produção. Todos esse

processo é fundamental, pois uma má mistura dos materiais constituintes, pode provocar heterogeneidade do produto final. O produto da mistura é encaminhado a cuba da vibro-prensa, que por meio da prensagem e simultânea vibração, dá forma aos blocos.

Quanto maior a grau de compactação do equipamento, maiores serão as características de resistências a compressão, absorção de água, retração e textura das peças.

O transporte do material prensado/moldado até o local de cura deve ser com cautela, buscando evitar vibrações que possam danificar as peças. O estágio de cura deve garantir à correta hidratação do cimento, preferencialmente acelerado em câmara de vapor, a temperatura de 60 a 70 °C, por, no mínimo, seis horas. Caso não seja possível a cura por meio de equipamentos, as peças deverão ser mantidas úmidas por sete dias para posterior entrega. O processo inicial de cura é responsável pelo ganho de resistência das peças e pela diminuição de sua retração potencial.

A estocagem e transporte pós cura, deve ser na forma de paletização, facilitando a operação de deslocamento, minimizando quebras, reduzindo os custos de reposição.

## 2.4 CERÂMICA

### 2.4.1 Histórico

No Brasil a indústria cerâmica surgiu com as antigas fábricas de tijolos e telhas de cerâmica vermelha. No início do século 20 começaram a produzir ladrilhos hidráulicos, azulejos, pastilhas cerâmicas e de vidro.

A partir da década de 70 a produção atingiu uma demanda crescente, isto fez com que a indústria cerâmica ampliasse de maneira significativa a sua produção, surgindo neste tempo novas empresas do ramo. As técnicas construtivas atuais, como sistemas estruturais em concreto armado, juntamente com sistemas de vedação, onde predomina a alvenaria de blocos cerâmicos e as características

climáticas, asseguraram um altíssimo potencial de uso de cerâmica para revestimentos,

Inicialmente a produção estava voltada para o mercado interno, os fabricantes passaram a buscar também o mercado externo, embora pequeno, mas demonstrando ser uma tendência crescente. Diante disto o setor iniciou nos anos 80 e aprofundando nos anos 90, uma reestruturação do setor, com modernização e adaptação das empresas, adquirindo equipamentos mais modernos, novas tecnologias, novos métodos de gestão e introduzindo novos produtos cerâmicos no mercado.

#### **2.4.2 Grês Porcelanato**

Também denominado “grês fino porcelanato”, “granito cerâmico” ou porcelanato, é um produto que precede o grês fino, branco ou colorido, originário da região norte européia, produtos que possuem como elemento comum a característica de impermeabilidade e resistência ao gelo.

Nascido para ser um produto sem esmalte o grês se insere nesta categoria devido a sua versatilidade entre estes materiais com superfície esmaltada, possuindo uma extrema resistência ao ataque de ácidos, sendo impermeável. Podem ser levigado (lixado) e polido apresentando superfícies que se assemelham mais aos mármore e granitos, com custos mais baixos e com características, muitas vezes, superiores a estas rochas.

Quanto ao método de conformação, o grês porcelanato pertence à classe das cerâmicas obtidas por prensagem, isto permite, em relação ao processo de conformação por extrusão, um controle melhor das dimensões e um melhor acabamento superficial. Com relação à absorção de água, Pedrassani (2002) afirma que o grês apresenta valores nitidamente mais baixos em relação a outras placas cerâmicas. Dos que estão no mercado, muitos apresentam absorção de água inferior a 0,5% e em alguns casos abaixo de 0,1%.

Este é um dado muito importante, pois, quanto mais impermeável menor é a porosidade e isso influencia as características técnicas da placa cerâmica como resistência a flexão, ruptura, dureza e resistência a abrasão, dando ao grês

porcelanato o *status* de produto de alta resistência, fenômeno de produção e qualidade que é hoje.

Todas estas características não estão somente ligadas ao método de conformação, mas também as características dos materiais constituintes, as composições adotadas, o grau de finura das partículas obtidas em modernos moinhos e o emprego dos fornos a rolo, tudo isto tem permitido a evolução tecnológica do grês porcelanato. A figura 2 apresenta na forma de gráfico, a evolução das composições em virtude da inovação do processo de fabricação, sendo que no gráfico 1 é apresentada a composição tradicional e o gráfico 2, a composição atual.

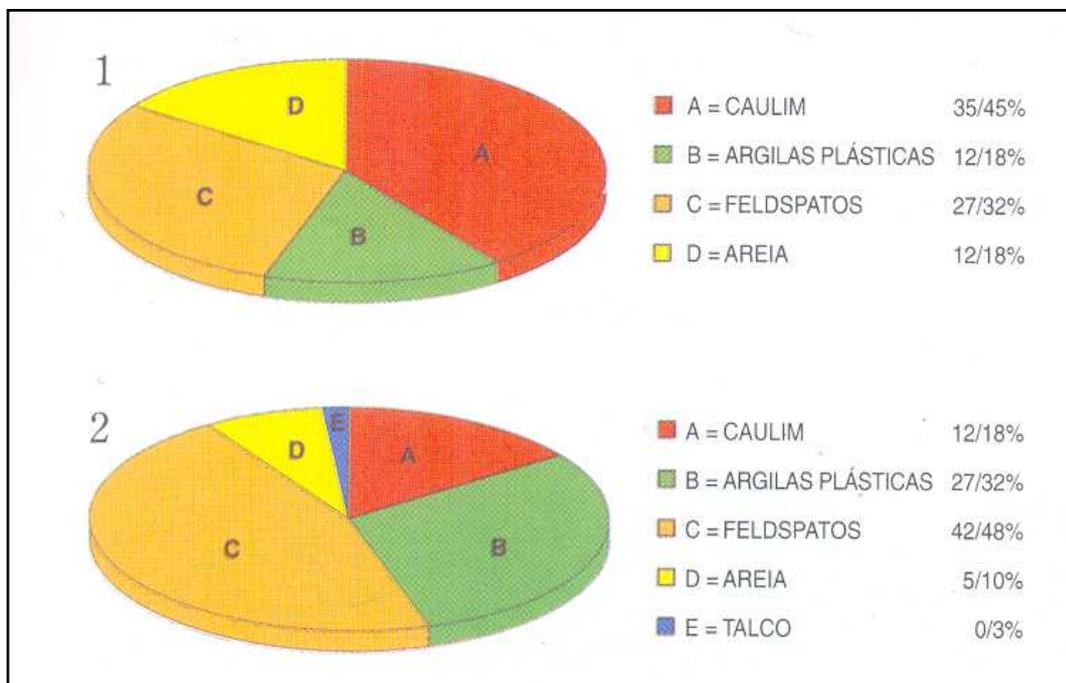


Figura 2 – Comparação entre composições velhas e novas

Fonte O grês Porcelanato - manual de fabricação e técnicas de emprego, pg. 119

A evolução das composições acompanha as inovações no processo de fabricação do grês porcelanato. Segundo Pedrassani (2002), a mudança do processo de queima tradicional com temperaturas de aproximadamente 1200°C com ciclos de 40 a 50 horas, para as queimas de 1200 a 1230°C com ciclos de 50 a 70 minutos, levou a modificações nas composições, devido ao ciclo mais rápido e pela baixa reatividade entre os vários componentes.

Isto fez com que muitos materiais constituintes fossem reduzidos e outros aumentados nas composições. A exemplo, o caulim, que nos ciclos atuais foi reduzido, por se comportar como elemento refratário, com alta porosidade ao final da

queima. O aumento da adição de feldspato e argilas plásticas, materiais com comportamento fundentes e a adição de pequenas quantidades de fundentes enérgicos como talco, wollastonita, etc. O quartzo é material sempre presente, e a quantidade varia de acordo com o grau de pureza das areias quartzosas.

#### 2.4.2.1 Produção do Grês

A indústria cerâmica de revestimentos utiliza uma grande variedade de matéria-prima encontrada na natureza, ou seja, materiais argilosos e não-argilosos, servindo de estrutura do corpo cerâmico ou para promover a fusão da massa.

O processo de produção em geral é bastante automatizado, com equipamentos de última geração, limitando a ação humana nas atividades de controle do processo, inspeção da qualidade, armazenagem e expedição.

A fabricação dos produtos cerâmicos tradicionais, onde estão incluídas as placas cerâmicas, desenvolve-se basicamente seguindo as seguintes fases:

- Pesquisa e extração da matéria prima.
- Armazenamento e secagem da matéria prima.
- Mistura das matérias-primas (argilas, materiais fundentes, talco, carbonatos etc.) que são moídas e homogeneizadas em moinhos de bola, em meio aquoso.
- Secagem e granulação da massa em *spray dryer* (atomizador).
- Silagem do material proveniente da secagem e granulação.
- Conformação, decoração e queima.
- Polimento e retificação da placa cerâmica.
- Classificação do produto acabado.
- Estocagem.

Para o grês porcelanato, o seu desenvolvimento atual está associado à introdução de composições químico-mineralógicas inovadoras e adequadas, e a aplicação de modernas técnicas de conformação a alta pressão, técnicas de decoração e queima rápida estendida aos grandes formatos. Na figura 3, é

apresentado um diagrama de blocos com várias hipóteses de fluxo de produção do grês com características específicas.

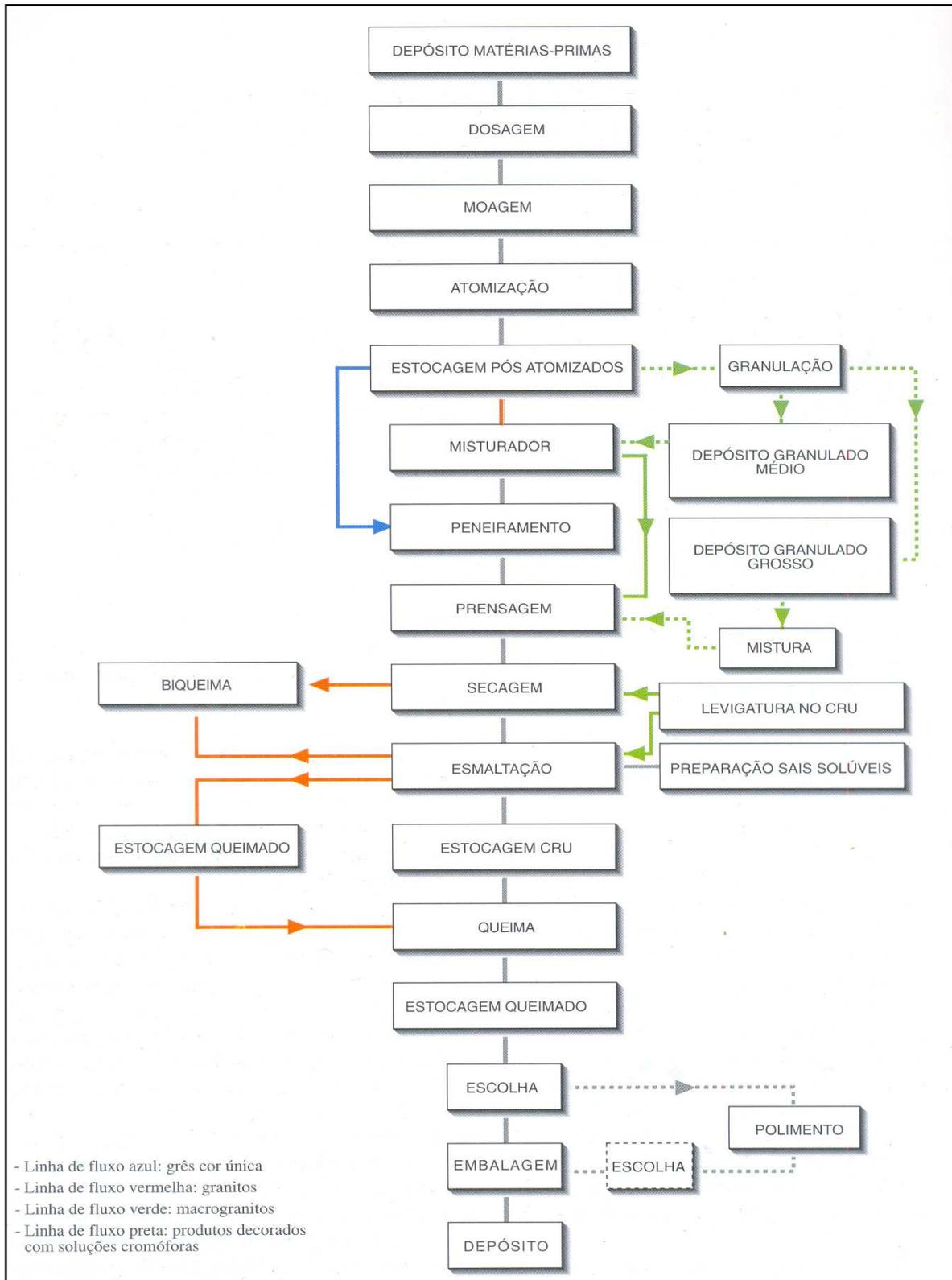


Figura 3 – Diagrama de blocos para diversas hipóteses de fluxo de produção do Grês  
 Fonte O grês Porcelanato - manual de fabricação e técnicas de emprego, pg. 132

#### 2.4.2.2 Polimento e Retífica

O processo de polimento e retífica das placas é responsável pelo acabamento dos produtos já elaborado em outras etapas da produção (fundos para polimento e retífica), sendo somente processados os produtos de classe extra, já classificados nas etapas anteriores de produção. Os fabricantes de máquinas polidoras estudam soluções técnicas e de implantação adequada para polir um material com características de elevada dureza, fragilidade e tolerância dimensional.

O polimento do grês porcelanato segundo Pedrassani (2002) é dividido em várias fases de trabalho como: calibragem, aplainamento, polimento, levigadura, esquadrejamento, retífica, biselatura e lappatura do grês.

Como primeira fase do trabalho, a calibragem da superfície é necessária para calibrar a planaridade não perfeita e uniformizar as espessuras das placas gresificadas. O processo ocorre mediante a ação tangencial e descontínua por uma série de rolos abrasivos com espirais diamantadas, dispostos transversalmente à direção de avanço do material. Neste processo são utilizados alguns sistemas diferentes:

- Calibragem linear - os rolos diamantados são dispostos transversalmente a direção de avanço.
- Calibragem cruzada – gira 90° as placas cerâmicas entre a primeira e a segunda fase de calibragem com rolos fixos.
- Calibragem rolos móveis – as placas cerâmicas paradas ou em movimento, são desgastadas por uma série de rolos móveis transversalmente a direção do material.

Ao final do processo a placa cerâmica ficará com aspecto de lixado, com sulcos superficiais visíveis na direção do avanço, sendo eliminados na fase seguinte.

Na etapa de polimento e levigadura, última sobre a linha em que emprega abrasivos sucessivamente mais finos, a placa cerâmica deve obter uma superfície especular (espelho). Cabeçotes oscilantes, cônicos e satélites, são empregados para esta operação e os parâmetros a serem considerados para uma operação perfeita dos abrasivos são:

- O número de rotações por minuto (RPM).

- O número de oscilações e dos setores abrasivos oscilantes.

O resultado final desta etapa são as placas cerâmicas perfeitamente planas e polidas ao espelho, prontas para a fase de esquadrejamento/retífica e biselatura.

Indispensável na obtenção de placas geometricamente perfeitas, a operação de esquadrejamento e biselamento permite dentro de tolerâncias muito estreitas, o paralelismo quanto à ortogonalidade das peças.

A operação de esquadrejamento é feita através de rolos diamantados, com alta capacidade de remoção, que trabalham sobre os lados contrapostos das placas. A fase sucessiva que ocorre no mesmo módulo é o chanframento dos lados, por meio de mandris inclinados 45°, dotados tanto de rolos diamantados quanto abrasivos. Durante todo o processo a espessura de material removido dos bordos é de 1 a 2 mm.

Terminada a operação de esquadrejamento e biselatura, as placas são lavadas, limpas e enxugadas, antes de serem levadas ao ponto de escolha ou estocagem.

Segundo Pedrassani (2002), a lappatura do grês trata-se de uma técnica nova que permite a obtenção de placas cerâmicas com superfícies “satinada” com efeitos visuais, além da melhoria das características estéticas do rústico, o processo permite manter a mesma dureza superficial e valores de absorção quase invariáveis.

A operação acontece mediante uma lappatura superficial das placas cerâmicas já queimadas, por meio de abrasivos diamantados, modificando a superfície das peças, dando-lhes aspecto de satinado, evidenciando além da alteração da luz refletida, o design e os eventuais relevos presentes na superfície. Na figura 4 é mostrado um *lay-out* de linha de polimento e retífica do grês porcelanato.

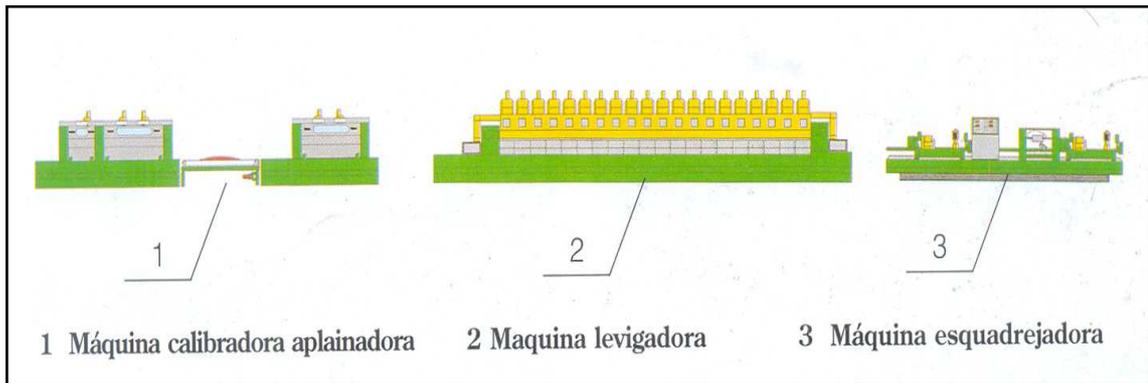


Figura 4 – *Lay-out* de uma linha de polimento e retífica do grês porcelanato  
 Fonte O grês Porcelanato - manual de fabricação e técnicas de emprego, pg. 229

É importante destacar o corte e trabalhos posteriores sobre o grês. Novas técnicas de corte com discos diamantados, hidrojato ou laser, permitiram o aproveitamento de placas cerâmicas descartadas e a criação de uma variada gama de pavimentações e revestimentos com efeitos estéticos sempre mais agradáveis.

Dentro deste contexto há destaque para a técnica a laser desenvolvida por uma empresa alemã, Pedrassani (2002). A inovação para as placas cerâmicas de grês consiste em gerar sobre a placa levigada uma rugosidade que garante o anti-escorregamento (*Safe Step*) da pavimentação sem manchar o polimento, deixando toda estética de um pavimento brilhante.

Após o polimento e sua retificação, as placas devem passar por um processo de estabilização de tensões internas, feito por meio do seu resfriamento por um período mínimo de 12 horas.

Durante os vários processos que envolvem o polimento e retificação da placa cerâmica do grês, é fundamental a presença de água em grande quantidade, de boa qualidade e abundante, para um bom polimento. A água é distribuída em cada cabeça polidora, com a função de diminuir o atrito entre os abrasivos e a peça, refrigerar o local e retirar os resíduos gerados, que poderiam ficar sobre as peças causando riscos e arranhões.

A água também é responsável pela limpeza da máquina e recebe aditivos químicos que auxiliam na decantação dos sólidos, retornando à máquina em um circuito fechado, piorando sua qualidade ao longo do tempo, interferindo diretamente no brilho do produto acabado.

### 2.4.3 Geração de resíduos

A geração de resíduos sólidos no processo de fabricação de revestimentos cerâmicos é resultado da lavagem do piso da fábrica e, principalmente, das linhas de produção, denominado de “raspas”. No entanto apesar dos problemas encontrados, a indústria cerâmica vem buscando soluções técnicas e ambientais para reduzir a produção de resíduos e a sua reutilização no ciclo de produção.

Esses resíduos oriundos de todas as etapas da produção das peças cerâmicas encontram-se, em sua maioria, na forma de efluentes líquidos contendo materiais sólidos em suspensão. Após tratamento adequado, com a adição de produtos químicos, a água pode ser reutilizada na produção, em um circuito fechado, onde o volume de lodo gerado durante o tratamento pode ultrapassar 12m<sup>3</sup> por mês. Segundo Purificação (2009) mensalmente na fábrica de cerâmicas e porcelanatos da Cecrisa em Santa Luzia (MG), são geradas aproximadamente 600 toneladas de resíduos úmidos.

Estes resíduos sólidos denominados de “raspas” contém metais tóxicos provenientes de algumas matérias-primas sintéticas utilizadas no processo de decoração e acabamento. Esses são classificados segundo NBR 10004:2004 como classe I e classe IIA, requerendo uma disposição gerenciada de custo relativamente alto.

A ABNT elaborou um conjunto de normas para padronizar nacionalmente a classificação dos resíduos:

- NBR 10004:2004 - Resíduos Sólidos, Classificação;
- NBR 10.005:2004 - Lixiviação de Resíduos, Procedimento;
- NBR 10.006:2004 - Solubilização de Resíduos, Procedimento;
- NBR 10.007:2004 - Amostragem de Resíduos, Procedimento;
- NBR 12808:1993 – Resíduos de Serviços de Saúde, Classificação;
- NBR 14598:2000 – Produtos de Petróleo, Determinação do ponto de fugor pelo aparelho de vaso fechado;
- USEPA-SW846 – Test methods for evaluating solid waste – Physical/chemical methods.

A NBR 10004:2004 "Resíduos Sólidos - Classificação" classifica os resíduos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, apontando os resíduos que devem ter manuseio e destinação rigidamente controlada. Os resíduos são classificados em:

- **Resíduos classe I:** perigosos, aqueles que apresentam periculosidade, ou uma das características a seguir: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade.
- **Resíduos classe IIA:** não-inertes, podem ter propriedades como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.
- **Resíduos classe IIB:** inertes, resíduos que, quando amostrados de forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007, e submetidos a um contato estático ou dinâmico com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, não tiver em nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se os padrões de aspecto, cor, turbidez e sabor.

Os resíduos cujas características não puderem ser determinadas nos termos da NBR 10004, por motivos técnicos ou econômicos, serão classificados por órgãos públicos de controle da poluição e preservação ambiental.

Sendo um material composto de insumos de decoração, contendo fundentes, como fritas e vidrados, características mineralógicas e granulométricas a "raspa do polido cerâmico" tem potencial para ser incorporada novamente a massa cerâmica ou como agregado na formação de novos produtos.

Atualmente muito pouco é aproveitado na própria indústria cerâmica de porcelanato. Segundo Purificação (2009), não existem registros de utilização ou reutilização dos resíduos de polimentos de porcelanatos em escalas menores e ou industriais, o que é gerado é destinado para os aterros, mas existem estudos que comprovam a evidência e a veracidade da utilização. A vantagem da incorporação no ciclo de produção da cerâmica, segundo Cavalcante (2008) é o método que assegura a inertização de elementos potencialmente tóxicos, uma vez que existe a sua reação com a matriz cerâmica a alta temperatura. Para reutilização de um resíduo, torna-se imprescindível a sua adequada caracterização, só após esta etapa pode-se dar início aos estudos de valorização.

Na construção civil não é diferente, não há registros concretos da utilização na produção de insumos para construção, existindo somente estudos

recentes demonstrando o potencial deste material em substituição a outros materiais e sua utilização como agregado.

Em seus estudos com cimento misturado a lamas de polimento (MPR - *polishing residue*) e vitrificação de cerâmica (MGR - *Glazing residue*), Andreola (2010) mencionam que os rejeitos apresentam vantagens reais de sua utilização como adição em produtos a base de cimento *Portland*. Os resultados em sua pesquisa mostram que o resíduo de vitrificação, que este relacionado com o tipo de esmalte usado na fabricação da cerâmica, funciona mais como adição inerte, não como componente ativo na mistura. Já o rejeito que deriva do processo de polimento do porcelanato, tem papel ativo na mistura de cimento, com efeito, pozolânico podendo ser responsáveis pelo ganho de resistência mecânica e contribuindo para o empacotamento da microestrutura do cimento hidratado e, conseqüentemente reduzindo a porosidade e aumentando a resistência dos materiais produzidos.

É essencial o desenvolvimento sustentável, minimizando a geração de resíduos, já que não pode ser eliminar por completo. Vantagens como redução do consumo de energia, poluição e aterros, a reciclagem ainda encontra barreiras perante a construção civil, por conta da suposta baixa qualidade dos produtos contendo resíduos.

Atualmente a reciclagem de resíduos tem sido incentivada em todo o mundo, seja por questões políticas, econômicas ou ecológicas, sendo a melhor alternativa na redução de impacto ao meio ambiente, com a redução do consumo de matéria-prima e produção desordenada de resíduos.

De acordo com John (1996 *apud* Leite 2001), o mercado da construção civil apresenta-se como uma das melhores alternativas para o consumo de materiais reciclados, pois a atividade de construção é realizada em qualquer região, reduzindo custos como o de transporte. Além disso, o autor comenta que os materiais necessários para produção da grande maioria dos componentes de uma edificação não necessitam grande sofisticação técnica. O raio de alcance que o resíduo beneficiado pode ter é um ponto importante no conjunto da análise da possibilidade de sua reutilização.

Nesse contexto, aplica-se os critérios de sustentabilidade ao concreto, material de construção mais consumido, principalmente por sua grande versatilidade, associada à facilidade na obtenção das matérias-primas, baixo custo,

facilidade de fabricação, elevada resistência mecânica, impermeabilidade à água e grande durabilidade.

Devido ao crescente consumo de cimento Portland no cenário mundial, com previsões de triplicar em poucos anos, e o elevado impacto ambiental de sua produção com liberação de CO<sub>2</sub>, atualmente busca-se utilizar cada vez mais cimentos ecológicos com adições de minerais, projetos otimizados e racionais que reduzam o consumo de cimento e a produção de concretos impermeáveis.

Considera-se, ainda, que o concreto é um material de construção de grande contribuição ambiental, pois pode ser utilizado para deposição de rejeitos industriais, utilizar em sua constituição um grande número de materiais reciclados, seqüestrando o tão comentado CO<sub>2</sub> da natureza e ser infinitamente reciclado.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

Para dar início aos estudos, uma quantidade de material necessária para a realização dos ensaios foi secada em estufa a uma temperatura de 60°C, por um período de 24h, pois a umidade do material coletado era visivelmente elevada impossibilitando o destorroamento. Depois de seco o resíduo foi destorroado manualmente em um almofariz.

Nesta etapa, verificou-se a distribuição granulométrica do material em estudo. O ensaio realizado foi com tecnologia *multi-laser*, por meio do equipamento modelo CILAS 1064, com faixa analítica de 0,04 – 500µm/100 Classes. Como pode ser visto na figura 5, o diâmetro das partículas do rejeito a 10% do volume ficam em 1,82µm, a 50% ficam em 8,81µm e a 90% ficam 27,56µm, totalizando um diâmetro médio de 11,83µm do volume ensaiado.

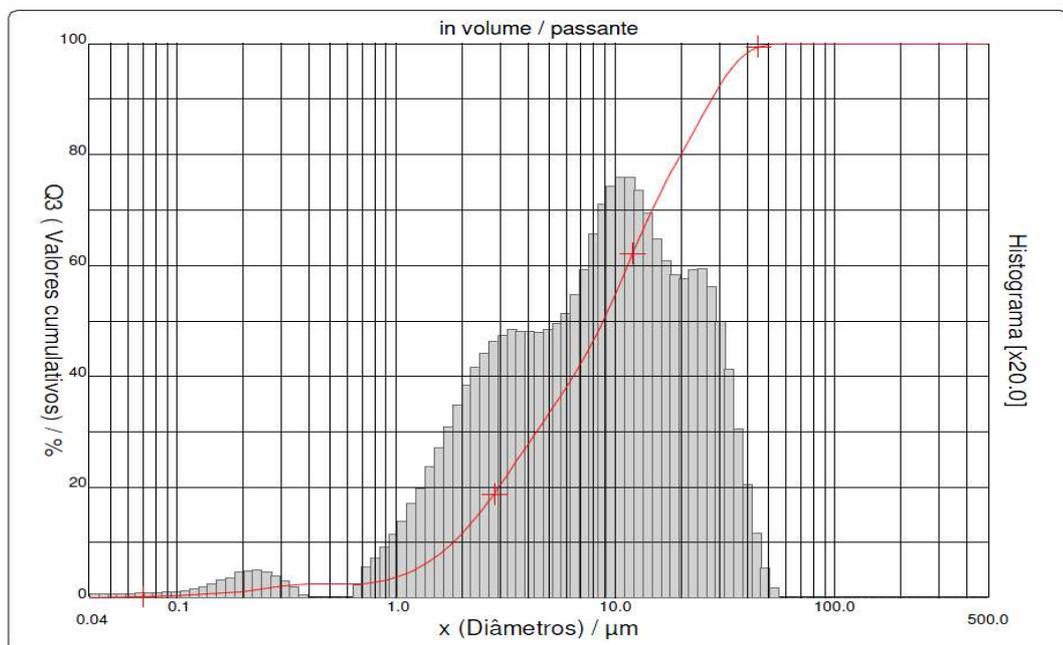


Figura 5 – Gráfico da distribuição granulométrica do Rejeito do Polimento do Porcelanato  
Fonte LAMAT- Laboratório de Materiais – IPAT - UNESC

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA

Na etapa de caracterização química, o objetivo foi verificar os elementos químicos constituintes e seus teores no material em estudo. O ensaio para determinação da análise química foi por espectrometria de fluorescência de raios x e espectrometria de absorção atômica. A tabela 3 apresenta os resultados da análise química do RPP em estudo.

Tabela 3 – Resultados do ensaio de caracterização química do RPP

<b>Elemento</b>	<b>Teor (%)</b>	<b>Elemento</b>	<b>Teor (%)</b>
AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,40	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-
CaO	2,41	Li <sub>2</sub> O	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,67	BaO	0,07
K <sub>2</sub> O	2,36	Co <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	N.D.
MgO	1,10	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<0,1
MnO	0,02	PbO	N.D.
Na <sub>2</sub> O	3,05	SrO	<0,1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,07	ZnO	0,18
SiO <sub>2</sub>	66,74	rO <sub>2</sub> +HfO <sub>2</sub>	0,66
TiO <sub>2</sub>	0,72	<b>Perda Fogo</b>	0,49

Fonte: Do autor

Como pode ser observado, os elementos predominantes na composição do rejeito são a sílica (SiO<sub>2</sub>), o principal componente da areia e matéria-prima do vidro, também usado na fabricação do cimento *Portland*, e o óxido de alumínio (AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), muito empregado na produção cerâmica de porcelanas e de cimento.

A de se destacar a presença de metais como o bário, nocivo a saúde humana, mesmo presente em proporções pequenas no rejeito, que depositado a céu aberto em aterros irregulares, pode ser lixiviado para o lençol freático, contaminando-o.

### 3.3 MATERIAIS E MÉTODOS

O programa experimental consistiu em preparar um traço de argamassa de proporção 1:3:0,60 (cimento:areia:água/cimento, em massa), com quatro adições diferentes de RPP, em concentrações de 0%, 5%, 10% e 20%, em relação à massa de cimento. No estudo foi usado argamassa de cimento em vez de concreto, por que o objetivo foi analisar a interação entre cimento e resíduo, para posteriormente aplicá-lo em produtos a base de cimento *Portland*, e também justificado pelo fato de que, apesar de influenciar na resistência do concreto, o agregado graúdo é considerado material de enchimento, não sendo objeto deste estudo.

Foi utilizado cimento Portland brasileiro tipo CII-Z 32 e areia padrão brasileira, misturando 4 faixas granulométricas (material retido nas peneiras de malha 0.3mm, 0.6mm, 1.2mm e 2.4mm). A relação água/cimento foi fixada em 0,60.

A tabela 4 apresenta o traço e a dosagem de RPP utilizados no experimento.

Tabela 4 – Traços e dosagens utilizadas no experimento

<b>Materiais</b>	<b>Traço 1 (g)</b>	<b>Traço 2 (g)</b>	<b>Traço 3 (g)</b>	<b>Traço 4 (g)</b>
Areia Classificada	2100	2100	2100	2100
Cimento CII-Z	700	700	700	700
RPP	0	35	70	140
Água	420	420	420	420
Composição unitária em massa (cimento:areia:a/c:RPP)	1:3:0,60:0	1:3:0,60:0,05	1:3:0,60:0,10	1:3:0,60:0,20

Fonte: Do autor

Para obter o índice de consistência, os equipamentos utilizados e os procedimentos realizados, estavam de acordo com a NBR13276:2005.

Para determinar a resistência a compressão das argamassas foram confeccionados para as idades de 7, 28 e 56 dias, seis corpos de prova para cada dosagem de RPP, dos quais somente três foram utilizados neste ensaio, os demais ficaram a disposição para substituição ou estudos futuros. Os corpos de prova são de secção cilíndrica, com diâmetro de cinco centímetros e altura dez centímetros.

Os procedimentos realizados e os equipamentos utilizados na preparação dos corpos de prova para a determinação da resistência compressão, estavam de acordo com a NBR13279:2005.

A análise do comportamento do material incorporado à matriz de cimento, foi realizada por meio de calorimetria isométrica em um microcalorímetro com oito canais modelo TAM AIR, calorímetro a 22 ° C. As pastas de cimento foram misturadas antes de serem inseridos na unidade de medição e a massa da amostra foi de  $11 \pm 0,1$  g.

O método consistiu em verificar o comportamento inicial da matriz nas primeiras horas de hidratação do cimento *Portland* tipo II com adições de 10 e 20% de rejeito RPP, através da variação da temperatura em função do tempo. Neste processo os efeitos aceleradores ou retardadores do composto adicionado podem ser observados, e até mesmo, verificar a ocorrência de novas reações promovidas pela adição deste.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise dos resultados obtidos por meio dos ensaios realizados demonstrou em vários fatores, o potencial e a viabilidade do uso do rejeito do polimento do porcelanato (RPP), não só como agregado na produção de blocos cimento *Portland*, mas também como material pozolânico, devido ao aumento da resistência com o tempo.

A granulometria média do rejeito, que é de 11,83 $\mu$ m, como pode ser observado na tabela 5, é bem próxima a do cimento que é de 16,91  $\mu$ m, indicando que o material tem comportamento físico semelhante ao do cimento, influenciando de maneira positiva a consistência e trabalhabilidade, diminuindo a porosidade das argamassas.

Tabela 5 – Resultados do ensaio de granulometria para RPP

<b>Volume</b>	<b>Ø 10% <math>\mu</math>m</b>	<b>Ø 50% <math>\mu</math>m</b>	<b>Ø 90% <math>\mu</math>m</b>	<b>Ø Médio <math>\mu</math>m</b>
<b>Rejeito</b>	1,82	8,81	27,56	11,83
<b>Cimento</b>	1,88	14,3	35,32	16,91

Fonte: Do autor

Embora o RPP tenha sido utilizado na forma de adição e não em substituição ao cimento, a relação água/cimento, manteve-se constante juntamente com a plasticidade, medida pelo índice de consistência (*flow-table*) como mostra a tabela 6, indicando igualdade nos parâmetros para aplicabilidade das argamassas produzidas com o resíduo. Outro fator importante a ser observado quanto ao tamanho das partículas do rejeito é o acabamento da peça, pois a presença de finos na argamassa confere uma textura mais suave e superfície mais lisa, melhorando o aspecto como um todo.

Tabela 6 – Índice de consistência das argamassas

Traços	Adições	Índice de Consistência (mm)
1:3:0,60	0% - RPP	294
1:3:0,60	5% - RPP	285
1:3:0,60	10% - RPP	278
1:3:0,60	20% - RPP	273

Fonte: Do autor

Nos resultados de resistência a compressão, constantes nas figuras 6 e transcritos para tabela 7, foi observado um aumento significativo com adição de 20% do RPP. Esse aumento foi superior na idade de 28 dias (36,77MPa) e ainda maior, na idade de 56 dias (41,25MPa), indicando efeito da reação pozolânica entre o cimento hidratado e o RPP, o que apresentou um ganho aproximado de 50% de resistência a compressão em relação ao traço sem adição de rejeito.

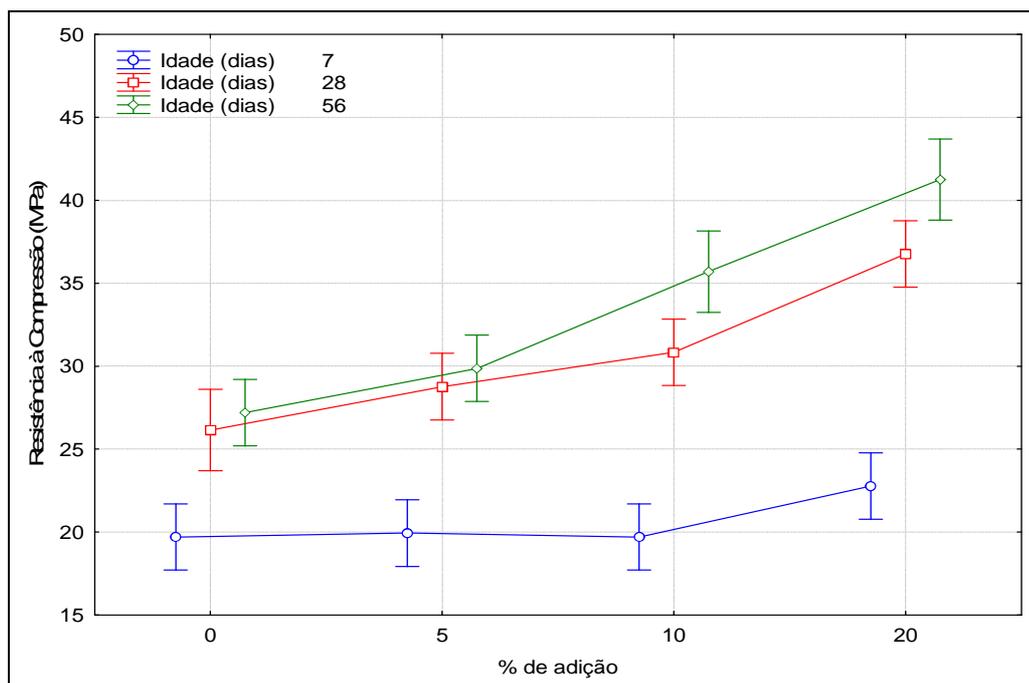


Figura 6 – Gráfico resistência à compressão para diferentes idades e adições  
Fonte LMCC- Laboratório de Materiais de Construção Civil – IPAT – UNESC

Tabela 7 – Resultados do ensaio de compressão axial das argamassas

<b>Traço (1:3)</b>	<b>Idade (dias)</b>	<b>Resistência Média (MPa)</b>
0% - RPP	7	19,70
5% - RPP	7	19,93
10% - RPP	7	19,57
20% - RPP	7	22,77
0% - RPP	28	26,16
5% - RPP	28	28,76
10% - RPP	28	30,83
20% - RPP	28	36,77
0% - RPP	56	27,20
5% - RPP	56	29,87
10% - RPP	56	35,70
20% - RPP	56	41,25

Fonte: Do autor

Ao considerar-se que para 1 MPa de resistência na argamassa de referência são necessários aproximadamente 17kg de cimento, essa elevação na resistência a compressão estaria economizando, em tese, por volta de 238kg de cimento por metro cúbico de argamassa produzida. Também poderia ser estimada uma composição de argamassa com menor consumo de cimento, atingindo às características técnicas-mecânicas para aplicação do material.

O aumento da resistência pode estar relacionado ao tamanho das partículas do rejeito (efeito *filler*), potencializando a cinética de hidratação do cimento e melhorando a dispersão da matriz do aglomerante. Na hidratação, os pequenos núcleos de cimento hidratados crescem unindo-se uns aos outros e, neste caso, facilitados pelos núcleos do rejeito (grãos), formam um novo sólido, aumentando o ganho de resistência.

Nos estudos, Andreola (2010) comprova por meio de ensaios, a melhora no índice de atividade e o aumento da resistência a compressão ao longo do tempo. Para o tempo de cura de 28 dias, a amostra com adição de 25% de MPR (RPP) apresentou 56,80MPa de resistência a compressão, sendo inferior a amostra de referência 63,20MPa, levando à diminuição das propriedades mecânicas. No tempo de cura de 90 dias, a adição de 25% MPR (RPP) apresentou aproximadamente 73,00MPa de resistência a compressão, um pouco melhor em relação à amostra de

referência, em torno de 71,00MPa, evidenciando o papel ativo na mistura, efeito pozolânico, sendo responsáveis pelo ganho de resistência mecânica.

Neste estudo, além do ensaio de resistência, essa constatação foi medida por meio de micro-análises térmicas durante o processo de hidratação, monitorando o calor normalizado para pasta referência e adições de 10% e 20% do RPC, como mostra a figura 7. Foi observado um aumento do calor normalizado com a adição do resíduo na faixa de 10 a 20 horas. Pode-se concluir que esse efeito físico contribuiu para o aumento da resistência.

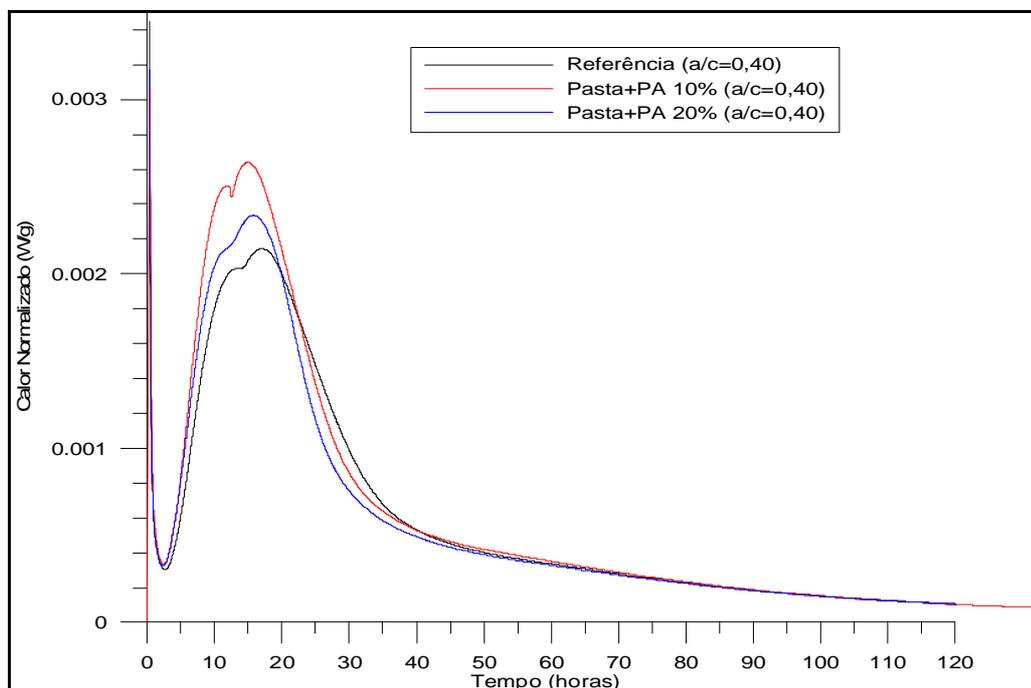


Figura 7 – Curva da análise térmica diferencial para adições de RPP  
Fonte ECV- Laboratório de Engenharia Civil – UFSC

Outro fator que comprova a reação pozolânica do rejeito é o somatório das porcentagens de  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ , correspondente a 88,81%, onde a NBR 12653:1992 estabelece no mínimo um somatório igual 50%, para que a classificação do material seja pozolânico ou aglomerante. No entanto, o elevado teor de álcalis ( $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{K}_2\text{O}$ ) limita o uso do rejeito em concretos que tenham agregados graúdos com presença de sílica amorfa, causando reações deletérias álcali-agregados, com formação de gel higroscópico expansivo, manifestando-se na forma de expansões, movimentações diferenciais, fissurações e redução das resistências à tração e compressão do concreto.

## 5 CONCLUSÃO

O ensaio de granulometria do rejeito mostrou que o tamanho das partículas influencia de maneira positiva na consistência e trabalhabilidade das argamassas, podendo conferir um melhor acabamento das peças, não alterando a relação água/cimento, além de melhorar a hidratação do cimento.

A caracterização química mostrou que a presença e a quantidade de alguns elementos como:  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ , conferem ao rejeito características que promovem o efeito pozolânico. Porém, o elevado teor de álcalis ( $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{K}_2\text{O}$ ) limita o uso do rejeito em concretos que tenham agregados com sílica amorfa, causando reação álcali-agregados, manifestando-se na forma de expansões e movimentações diferenciais nas estruturas.

Os resultados de resistência a compressão demonstraram de maneira prática e clara o bom desempenho mecânico que o rejeito impôs as argamassas, com um ganho médio de 50% de resistência, para uma adição de 20% de RPP.

Outro fato importante que pode ser observado na análise térmica do material incorporado, foi à maior liberação de calor no sistema durante a hidratação do cimento com a adição de rejeito, indicando sua interação com a matriz pelo processo de nucleação ou reação química. O fato é que este aumento de calor normalizado indica uma maior velocidade de hidratação dos núcleos de cimento, conseqüentemente, o aumento de resistência do concreto.

Com base nos resultados obtidos por meio dos ensaios apresentados, entende-se que o RPP pode ser utilizado não somente como agregado de enchimento na fabricação de blocos, mas também conferir a estes e a outros produtos, a base de cimento *Portland*, características de grande importância como resistência e durabilidade.

De forma geral, pode-se concluir que para o resíduo originado no processo de polimento das placas cerâmicas de porcelanato (RPP), este poderia ser adicionado em 20% com relação à massa de cimento, melhorando as características físicas e mecânicas das argamassas utilizadas na fabricação de blocos de concreto.

É importante salientar que a viabilidade não está relacionada somente as melhorias das características físicas e mecânicas que o rejeito promoveu, mas também os aspectos ambientais devem ser avaliados, pois o rejeito é classificado,

segundo a NBR 10004:2004, como classe I e classe IIA, possuindo metais solúveis, que podem contaminar o lençol freático, mesmo em quantidades pequenas.

Como sugestão para trabalhos futuros, pode-se estudar o aumento da dosagem ou em substituição ao cimento, avaliando sua interação química e física, além de estudos quanto à necessidade de sua inertização com ensaios de lixiviação. Não menos importante a avaliação do produto em escala industrial, verificando aspectos como volume disponível para comercialização, custos de processamento como secagem e classificação e outros fatores adicionais que fazem parte do ciclo produtivo.

## REFERÊNCIAS

ANDREOLA, Fernanda, et al. New blended cement from polishing and glazing ceramic sludge. **International Journal of Applied Ceramic Technology**: Ceramic Product Development and Commercialization, v. 7, n. 4, p. 546-555, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136**: Bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos - classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12118**: Bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutura – Método de ensaio: Análise dimensional e determinação da absorção de água, da resistência à compressão e da retração por secagem. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653**: Materiais pozolânicos – Especificação. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – preparo da mistura e determinação do índice de consistência . Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15577-1 a 6**: Agregados - Reatividade álcali-agregado. Rio de Janeiro, 2008.

BIFFI, Giovanni. **O grês porcelanato**: manual de fabricação e técnicas de emprego. 3.ed. São Paulo: Faenza Editrice do Brasil, 2002.

BUSTAMANTE, Gladstone Motta; BRESSIANI, José Carlos. **A indústria cerâmica brasileira**. Cerâmica Industrial, v. 5, n. 3, maio/jun. 2000. Disponível em: <[http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v05n03/v5n3\\_5.pdf](http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v05n03/v5n3_5.pdf)>. Acesso em: 18 ago. 2010.

FARIAS, C. A. S. de, et al. Determinação de dosagens teóricas para produção de blocos estruturais alternativos através de redes neurais artificiais. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz do Iguaçu, **Anais...** Foz do Iguaçu: CBECIMat, 2006. p. 1235-1246. Disponível em: <<http://www.metallum.com.br/17cbecimat/resumos/17Cbecimat-108-004.pdf>>. Acesso em: 25 maio 2010.

GONÇALVES, Jardel Pereira; TOLEDO FILHO, Romildo Dias; FAIRBAIRN, Eduardo de Moraes Rego. Estudo da hidratação de pastas de cimento *Portland* contendo resíduo cerâmico por meio de análise térmica. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 6, n. 4, p. 83-94, out./dez. 2006.

GUIMARÃES, A. T. C.; RECENA, F. A. P.; PEREIRA, F. M. Produtos de Cimento Portland. In: **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências e engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2005. v. 2. p. 945-982.

HECK, Clarice. Gres Porcelanato. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 01, n. 04/05, ago./dez., 1996. Disponível em: <[http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v01n45/v1n45\\_3.pdf](http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v01n45/v1n45_3.pdf)>. Acesso em: 18 out. 2010.

JOHN, V. M.; ROCHA, J. C. Metodologia para desenvolvimento de reciclagem de resíduos. In: **Utilização de resíduos na construção habitacional**. Coletânea Habitare, 2003. v. 4. p. 9-64. Disponível em: <<http://habitare.infohab.org.br/pdf/publicacoes/arquivos/126.pdf>>. Acesso em: 18 out. 2010.

KIARA, Yushiro; CENTURIONE, Sérgio Luiz. O cimento Portland. In: **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005. v. 1. p. 295-321.

MARQUES, L. N. *et al.* **Re-aproveitamento do resíduo do polimento de porcelanato para utilização em massa cerâmica**. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v.2, n. 2, p. 34-42, 2007. Disponível em: <<http://www.dema.ufcg.edu.br/revista/index.php/REMAP/article/viewFile/39/69>>. Acesso em: 18 ago. 2010.

PRUDÊNCIO JR., Luiz Roberto; OLIVEIRA, Alexandre Linha de; BEDIN, Carlos Augusto. **Alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Florianópolis: ABCP, 2002.

PURIFICAÇÃO, Eduardo Bruno da. **Estudo do uso de agregados reciclados de concreto e substituição do cimento por resíduo de polimento de porcelanato na produção de piso intertravado de concreto**. 2009. 104f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <[http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/1843/ISMS-84XLBK/1/disserta\\_o\\_eduardo\\_brunopdf.pdf](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/1843/ISMS-84XLBK/1/disserta_o_eduardo_brunopdf.pdf)>. Acesso em: 16 nov. 2010.

SILVA, Maristela Gomes da. Cimentos *Portland* com adições minerais. In: **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências e engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2005. v. 1. p. 761-793.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural - vedação**. Belo Horizonte: Sinduscon, 2007. Disponível em: <http://www.sinduscon-mg.org.br/site/arquivos/up/geral/BlocosVazadosAlvenariaSemFuncaoEstrutural.pdf>. Acesso em: 25 maio 2010.

VIERO, Leonardo Kemerich. **Industrialização da construção civil pré-fabricados em concreto**. 2008. 65f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008. Disponível em: <[http://www.ufsm.br/engcivil/TCC/2008/I\\_Semestre/TCC\\_15\\_Leonardo\\_Viero.pdf](http://www.ufsm.br/engcivil/TCC/2008/I_Semestre/TCC_15_Leonardo_Viero.pdf)>. Acesso em: 25 maio 2010.

Nome do arquivo: Monografia Coordenação de Projetos e Novas  
Tecnologias Em Edificações  
Diretório: C:\Meus Documentos\Luiz Renato\Pós  
Graduação\monografia  
Modelo: C:\Users\Usuario\AppData\Roaming\Microsoft\Model  
os\Normal.dotm  
Título: UNESC – UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL  
CATARINENSE  
Assunto:  
Autor: Luiz  
Palavras-chave:  
Comentários:  
Data de criação: 09/03/2011 19:56:00  
Número de alterações: 8  
Última gravação: 13/03/2011 17:17:00  
Salvo por: Usuario  
Tempo total de edição: 67 Minutos  
Última impressão: 13/03/2011 17:17:00  
Como a última impressão  
Número de páginas: 42  
Número de palavras: 9.727 (aprox.)  
Número de caracteres:52.531 (aprox.)