

ESTUDO DE VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE RETÍFICA DE REVESTIMENTO CERÂMICO NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS

Gabriel Guaitolini¹, Rafael de Paula Cosmo²

¹Acadêmico do curso de Engenharia Química

²Doutorando em Eng. Mecânica – Professor da Multivix - Vitória

RESUMO

O setor da construção civil tem grande influência no consumo de recursos naturais e no descarte de resíduos ao meio ambiente. Sendo assim, é esperado que as empresas tenham um compromisso com essa prática e busque alternativas para que esses dois pontos sejam mitigados. Dessa forma, estudos para reutilização desses resíduos na fabricação de produtos mostra ser uma boa alternativa. Portanto, este trabalho busca apresentar uma forma de reutilizar o resíduo da indústria de cerâmica, pó da retífica, originado na etapa de retífica, para a produção de argamassas por meio da substituição em escalas de até 20%. A substituição da argamassa pelo pó da retífica tem influência em suas propriedades físicas e químicas. Por esse motivo, as amostras passaram primeiro por ensaios de caracterização e, depois, por uma avaliação dos resultados de resistência à tração, tudo em escala laboratorial. As argamassas testadas utilizando pó da retífica em sua composição apresentaram resultados positivos, mostrando ser uma alternativa viável para consumo. Os benefícios obtidos nos ensaios estão ligados principalmente ao tamanho pequeno de suas partículas: quanto menor a granulometria do pó na amostra, maior será sua resistência.

Palavras-chave: resíduo, argamassa, revestimento cerâmico.

ABSTRACT

The construction sector has a great influence on the consumption of natural resources and the disposal of waste to the environment, so it is expected that companies have a commitment to this practice and seek alternatives so that these two points are mitigated. In this way, studies for the reuse of these residues in the manufacture of products proves to be a good alternative. Therefore, this work seeks to present a way to reuse the residue from the ceramic industry, grinding powder, originated in the grinding stage, for the production of mortars, through substitution in scales of up to 20%. The replacement of the mortar by the grinding powder has an influence on its physical and chemical properties, for this reason, the samples first underwent characterization tests, and then, an evaluation of the tensile strength results, all on a laboratory scale. The mortars tested using grinding powder in their composition showed positive results, proving to be a viable alternative for consumption. The benefits obtained in the tests are mainly linked to the small size of its particles, the smaller the particle size of the powder in the sample, the greater its resistance.

Keywords: Residue, mortar, ceramic coating.

1. INTRODUÇÃO

O mercado da construção civil é um dos segmentos de mercado que mais movimentam a economia e geram emprego no mundo, seja por meio dos produtos ou serviços relacionados ao setor. Os produtos produzidos para esse seguimento, em sua grande maioria, utilizam recursos não renováveis, que ao longo dos anos de extração vão tornando esses recursos cada vez mais raros

na natureza. Além do dano ambiental gerado por essa prática, as indústrias são obrigadas a pagar mais caro por essas matérias-primas (Barboza et al., 2020).

Além disso, as indústrias que abastecem o mercado da construção civil são grandes geradoras de resíduo. Dessa forma, empresas que não encontram uma forma de reutilizar seus resíduos são forçadas a ter mais um gasto referente a seu descarte. Segundo a Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica (Anfacer), apenas em 2018 só as indústrias de revestimentos cerâmicos produziram aproximadamente 694,5 milhões de m² de placas cerâmicas e estima-se que o resíduo gerado por essa produção seja entre 3 a 7% (Barboza et al., 2020).

Logo, devido à preocupação com alto custo e da sustentabilidade da produção desses produtos, fez-se necessário o estudo de medidas alternativas na utilização de novos insumos, como a reutilização de subprodutos e resíduos.

O pó da retífica, um resíduo originado na etapa de retífica de revestimentos cerâmicos, foi o material escolhido para realização deste estudo, com o intuito de apresentar uma alternativa de consumo que não fosse no próprio processo de fabricação de revestimentos cerâmicos. O seguimento escolhido para sua utilização foi o da argamassa.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CERÂMICA

Por definição geral, um material cerâmico pode ser definido como o resultado físico de matérias-primas inorgânicas que são submetidas a um processo envolvendo calor ou calor e pressão. Do ponto de vista químico, materiais cerâmicos são constituídos por ao menos um elemento metálico e um não metálico ou dois não metálicos. Exemplos de possíveis combinações simples são: SiO₂ (Sílica); Al₂O₃ (Alumina); Na₂O (Óxido de Sódio); MgO (Óxido de Magnésio); e estruturas mais complexas como 3Al₂O₃.2SiO₂.H₂O (mulita) e Na₂O.Al₂O₃.6SiO₂ (Albita). Vale ressaltar ainda que os átomos de materiais cerâmicos apresentam ligações iônicas (átomo metálico com átomo não metálico) e covalentes (dois átomos não metálicos).

Dessa forma, as características do material cerâmico dependem essencialmente da combinação dos elementos utilizados em sua composição e da sequência de processamentos atribuídos a ele (Oliveira, Hotza, 2015).

2.2 REVESTIMENTOS CERÂMICOS

Segundo Oliveira e Hotza (2015), a cerâmica é também empregada como revestimento, e nesse contexto ela é produzida essencialmente por materiais que compõem o substrato do produto, responsável por atribuir características de resistência a carga e ao impacto. E, ainda, como vitrocerâmicos que são utilizados em esmaltes para impermeabilizar o substrato e melhorar a resistência ao desgaste abrasivo, o que aumenta sua vida útil (Oliveira, Hotza, 2015).

Vale ressaltar que os revestimentos são classificados de acordo com seu acabamento superficial, em esmaltado e não esmaltado, pelo método de conformação, que pode ser por extrusão, por prensagem e por colagem ou outras técnicas. E, ainda, pelo grupo de absorção d'água. O Quadro 1 demonstra as classificações do revestimento cerâmico esmaltado (ABNT NBR ISO 13006, 2020).

Quadro 1 - Codificação dos grupos de absorção d'água em função dos métodos de fabricação de acordo com a ABNT NBR ISO 13006, 2020.

Absorção de água (%)	Métodos de fabricação		
	Extrudado (A)	Prensado (B)	Outros (C)
Abs ≤ 0,5	AI	Bla	CI
0,5 < Abs ≤ 3		Blb	
3 < Abs ≤ 6	Alla	BIIa	CIIa
6 < Abs ≤ 10	Allb	BIIb	CIIb
Abs > 10	AIII	BIII	CIII

Fonte: ABNT NBR ISO 13006, 2020

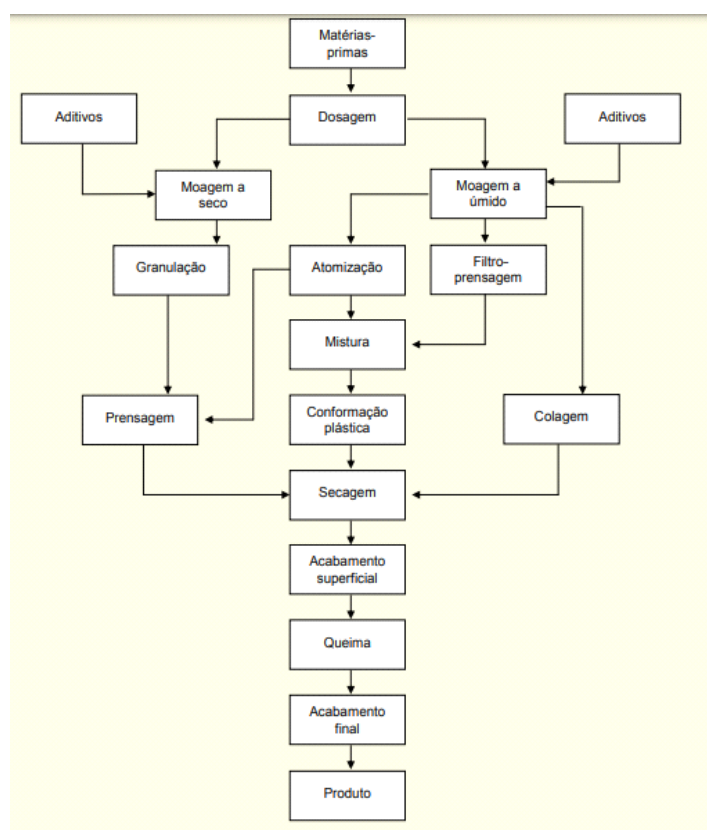
Segundo a norma de placas cerâmicas, ABNT NBR ISO 13006, 2020, o produto Bla é definido como porcelanato, uma placa totalmente vitrificada, com índice de absorção d'água igual ou inferior a uma fração de massa de 0,5%.

Já as placas cerâmicas classificadas como BIII são comumente chamadas de monoporosa, em que apresentam um índice de absorção d'água acima de 10%. Essas são recomendadas para serem utilizadas como revestimentos de parede (azulejo) justamente por possuírem alto índice de absorção d'água e, portanto, resistência mecânica reduzida (INMETRO, 1998).

2.3 PROCESSO DE FABRICAÇÃO

Além da composição química das matérias-primas, as características do produto dependem significativamente dos parâmetros tecnológicos e métodos adotados ao longo do processo de fabricação (Figura 1). Na definição das condições operacionais de um determinado processo, é fundamental levar em consideração os aspectos tecnológicos, a natureza física e química e os parâmetros de trabalho nas etapas do processo (Oliveira, Hotza, 2015).

Figura 1 - Fluxograma genérico do processo de fabricação de revestimentos.



Fonte: Oliveira, Hotza, 2015

Segundo Oliveira e Hotza (2015), as matérias-primas a serem utilizadas na composição da massa devem ser dosadas, baseando-se nas propriedades físicas necessárias para produção e características esperadas no produto final.

Destaca-se, ainda, os dois processos de moagem: a seco, em que não se utiliza água para a trituração das matérias-primas, e a úmido, em que se processa com a presença de água. Os dois métodos apresentam vantagens e desvantagens, segundo Oliveira e Hotza (2015). Logo, a escolha final do processo é uma questão tanto técnica quanto econômica e depende de uma série de fatores, como:

- Escala produtiva;
- Capacidade de investimento inicial;
- Equipamentos e processos já existentes;
- Características das matérias-primas disponíveis;
- Características desejadas do produto.

Ressalta-se, ainda, que na etapa de acabamento superficial, a placa recebe a decoração e aplicação do esmalte, responsável por atribuir características como brilho, textura e tonalidade do produto. Já na etapa do acabamento final, o produto já queimado passa pelos processos de retífica e polimento, agregando ao produto um aperfeiçoamento dimensional e um aumento de seu brilho, respectivamente (Oliveira, Hotza, 2015).

• **2.3.1 Retífica**

A retificação do revestimento cerâmico é uma etapa do acabamento final do processo, onde o material é submetido a uma ação de desgaste gerado por abrasivos diamantados, conhecidos como rebolos, devido sua dureza e condutividade térmica (Fujita et al., 2006). Segundo o mesmo autor, o processo de retificação é exposto como a interação do material abrasivo dos rebolos com a peça.

Acrescenta-se que o atrito entre a peça e o rebolo faz com que ele sofra alterações em sua microtopografia, que é o desnivelamento do disco, causados pela remoção do composto do rebolo (liga e grãos abrasivos). Esse desgaste é influenciado pela força atuante, tipo de grão e velocidade do rebolo. Juntamente com o material do rebolo removido, é gerado um resíduo sólido

originado do desprendimento de material cerâmico da placa retificada (Fujita et al., 2006).

- **2.3.2 Resíduos sólidos**

De acordo com a norma ABNT NBR 10004 (2004), resíduos no estado sólido e semi-sólido são resultado de atividades de origem de indústrias, residências, hospitais, comércio, agricultura e demais serviços. Sua classificação está relacionada a identificação do seu processo ou atividade primária, além de suas características, seus constituintes e a comparação desses elementos com listagens de resíduos e substâncias cujos impactos tanto à saúde quanto ao meio ambiente são conhecidos (ABNT, 2004).

De acordo com o art. 9º da Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010), na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, essa prática deve ser observada com a ordem de prioridade: não geração; redução; reutilização; reciclagem; tratamento dos resíduos sólidos; e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

Os resíduos sólidos são classificados em dois grupos, sendo eles: classe I (perigosos) e classe II (não perigosos), em que o segundo é subdividido em não inerte (IIA) e inerte (IIB) (ABNT, 2004).

Os resíduos sólidos originados de atividades envolvendo materiais cerâmicos são classificados como classe II - B não perigosos inertes, ou seja, não são inflamáveis, não sofrem qualquer tipo de reação física ou química, nem afetam negativamente outras substâncias que entrem em contato com esse tipo de resíduo (ABNT NBR 10004, 2004).

- **2.3.3 Pó da retífica**

O pó da retífica é um resíduo sólido originado do processo de desgaste entre a placa cerâmica, massa e esmalte, e os rebolos abrasivos, metais e liga de polímero, da fabricação da cerâmica de revestimento. Vale ressaltar que esse material é capturado por um sistema de exaustão, transportado por meio de veículo adaptado e armazenado em um pátio (Fujita et al., 2006).

Segundo o mesmo autor, esse material pode ser reutilizado no processo de fabricação da cerâmica, dependendo da quantidade de contaminante (resíduo do abrasivo) presente. Além disso, o pó da retífica pode ser utilizado na composição de produtos de outros segmentos, por exemplo, cimento e argamassa.

Para a utilização de forma segura em outros produtos, o pó da retífica precisa passar por ensaios de avaliação de suas características. Dentre esses ensaios, destaca-se a importância do controle de umidade por meio do ensaio de determinação de umidade, conforme norma ABNT NBR 6457 (2016). Além desse, outro controle importante é a determinação da composição química do pó da retífica, obtido por meio da análise química por fluorescência de raio-X (FRX) regido pela norma brasileira ABNT NBR ISO 12677 (2014). Ressalta-se, ainda, a relevância do controle do tamanho das partículas por meio do ensaio de análise de tamanho de partícula pelo método de difração a laser, conforme ISO 13320 (2020).

2.4 ARGAMASSA COLANTE INDUSTRIALIZADA

A argamassa é uma mistura homogênea no estado seco, composto por cimento Portland e agregados minerais moídos, podendo eventualmente conter adição de aditivos químicos para melhorar suas propriedades (ABNT NBR 14081-4, 2012). Dentre os agregados minerais moídos, pode ser utilizado matérias-primas próprias para a produção da argamassa, assim como coprodutos originados de processos de outro segmento, como pó da retífica da fabricação da cerâmica (Barboza et al., 2020).

Esse aglomerado é usado em uma mistura com água, onde é formada uma massa viscosa, plástica e aderente, utilizada no assentamento de placas cerâmicas para revestimentos (ABNT NBR 14081-4, 2012). Segundo a norma ABNT NBR 14081-4 (2012), a argamassa pode ser classificada em:

- Argamassa colante industrializada – AC I: apresentam características de resistência à influência mecânica e termoigrométricas, típicas de revestimentos internos;

- Argamassa colante industrializada – AC II: apresentam características de adesividade que permite absorver os esforços mecânicos em revestimentos de pisos e paredes tanto internos quanto externos;
- Argamassa colante industrializada – AC III: apresentam uma aderência mais elevada com relação aos tipos I e II. (ABNT NBR 14081, 2004);
- Para o controle de qualidade da argamassa, são realizados testes para comprovar a qualidade do produto fabricado, descritos na norma ABNT NBR 14081 (2004). Por exemplo, o ensaio de determinação da resistência de aderência à tração.

2.5 ENSAIOS

• 2.5.1 Determinação de umidade

A análise do teor de umidade consiste na determinação do percentual de água, em peso, presente em uma amostra. Um dos métodos que podem ser utilizados é o de determinação do teor de umidade de solos, prevista na norma ABNT NBR 6457 (2016), onde são definidos os padrões e os métodos a serem seguidos (ABNT NBR 6457, 2016).

Segundo a norma ABNT NBR 6457 (2016), para definição dos resultados do ensaio é realizada a coleta dos materiais, que são homogeneizados e depois separados em amostras. Essas amostras são pesadas em um equipamento de medição calibrado, com capacidade nominal e resolução compatíveis. A pesagem é feita utilizando capsulas metálicas como recipiente que será considerado no cálculo de teor de umidade. Após pesado, o material precisa ser secado e pesado novamente.

A determinação do teor de umidade é obtida utilizando a Equação 1:

$$(1)$$

Em que,

W é o teor de umidade, expresso em porcentagem (%)

M1 é a massa da amostra úmida mais a massa do recipiente, expressa em gramas (g)

M2 é a massa da amostra seca mais a massa do recipiente, expressa em gramas (g)

M3 é a massa do recipiente (capsula metálica), expressa em gramas (g)

- **2.5.2 Análise química (FRX)**

As diretrizes do ensaio de análise química por fluorescência de raio-X (FRX) são regidas pela norma brasileira ABNT NBR ISO 12677 (2014). Esse é um método qualitativo e quantitativo realizado para identificar os elementos químicos presentes em um determinado produto e seus percentuais. Esse método se destaca por ser uma forma rápida para obtenção de resultados, por não destruir a matriz e por seu baixo custo operacional (Börjesson et al., 2003).

A FRX consiste na produção e na detecção de raios-X, gerados pelo fenômeno fotoelétrico, emitidos pelos elementos presentes na amostra. Isso ocorre quando essa é irradiada com elétrons, prótons, raios-X ou gama com energias apropriadas. A radiação eletromagnética emitida interage com a amostra, podendo ocorrer absorção, emissão e espalhamento de radiação eletromagnética (Skoog et al., 2009). Como resultado, há um abuso de energia no processo, que é manifestado na forma de emissão de raios-X característicos de cada átomo presente na amostra (Jenkins, 1999).

- **2.5.3 Análise de tamanho de partículas – método de difração a laser**

A técnica de difração a laser ISO 13320 (2020) é o método mais usado para determinação da distribuição do tamanho de partículas. O sucesso da técnica se baseia no fato de que pode ser aplicada a uma grande variedade de sistemas de partículas, além de ser rápida e poder ser automatizada (ISO 13320, 2020).

Segundo a norma ISO 13320 (2020), a resolução do teste descreve a habilidade de medir e identificar, significativamente, partículas de tamanhos aproximados, apresentando uma curva com a dispersão da amostra. O sistema consiste em uma fonte de luz monocromática, um alimentador simples, um sistema óptico, detectores de luz e um dispositivo de cálculo de controle. Para

estender a faixa aplicável de tamanho de partícula e sua análise, fontes de luz múltipla, sistemas de detenção de luz adicionais e sistemas ópticos relacionados podem ser usados.

Preparar uma amostra representativa, com volume adequado, para o teste de medição é necessário usar uma técnica adequada de separação de amostra. Pequenas amostras podem ser retiradas de uma pasta homogênea de partículas em um líquido. A pasta é formada, adicionando dispersante à amostra gota a gota, misturando-a com a espátula. Uma boa consistência para a pasta é semelhante ao mel ou a pasta de dente. A consistência da pasta influencia nos resultados (ISO 13320, 2020).

• **2.5.4 Determinação da resistência de aderência à tração**

A norma ABNT NBR 14081-4 (2012) define um método para determinação à resistência à aderência entre a placa cerâmica e a argamassa colante, medida por meio de arrancamento por tração.

Para a realização do ensaio, deve-se estender a argamassa na direção longitudinal sobre uma superfície e, após cinco minutos, posicionar dez placas cerâmicas sobre a argamassa estendida, respeitando uma separação de aproximadamente 50mm entre as placas. Na etapa de cura normal, o material precisa ser submetido, durante 28 dias, às condições de temperatura do laboratório descritas na ABNT NBR 14081-2 (ABNT NBR 14081, 2012).

Após o tempo de cura, realiza-se o ensaio de arrancamento por tração manual, aplicando carga a uma velocidade uniforme de (250 ± 50) N/s até a ruptura, e avaliar sua a classificação, podendo ser:

- Ruptura do substrato;
- Ruptura da interface argamassa e substrato;
- Ruptura da camada de argamassa colante;
- Ruptura da interface argamassa e placa cerâmica;
- Ruptura da placa cerâmica;

- Falha de colagem da peça metálica.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

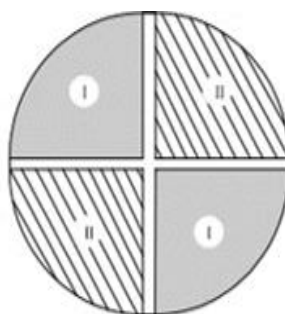
3.1 AMOSTRAGEM

O processo de amostragem é tão importante quanto o próprio ensaio em si, devendo, por isso, serem adotadas as devidas precauções. É necessário que se obtenham amostras representativas em relação à natureza do material e suas características.

Para este trabalho, foram recolhidas amostras do coproduto cerâmico, pó da retífica, de dois processos diferentes, um da produção de produtos BIa e outro da produção de produtos BIII. A fim de coletar uma amostra representativa de todo material armazenado no pátio, seguiu-se os padrões pré-estabelecidos pela norma DNER - PRO 120/97 (NBR 7216). Vale ressaltar que foi recolhido uma amostra de 50kg do resíduo de cada processo utilizando recipientes livres de qualquer contaminante.

Para realização dos ensaios de caracterização em níveis laboratoriais, a amostra foi reduzida utilizando a técnica de quarteamento de acordo com a NBR NM 27 (2001), conforme mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Divisão da amostra: (I) partes aproveitadas; (II) partes descartadas.



Fonte: DNER (1997)

3.2 CARACTERIZAÇÕES DOS MATERIAIS

Com o objetivo de identificar os materiais estudados, foram realizados ensaios para determinar as características do pó da retífica, da argamassa e das matérias-primas que a compõem.

Para a caracterização do pó da retífica e da argamassa, foram realizados os ensaios de determinação do teor de umidade, análise química e análise do tamanho de partícula. Já para a caracterização das matérias-primas da composição da argamassa, foi realizado o ensaio de análise química.

O ensaio de determinação do teor de umidade é regido pelas diretrizes da norma ABNT NBR 6457 (2016). Para determinar o teor de umidade das amostras do pó da retífica dos dois produtos e da argamassa, os materiais coletados foram homogeneizados e depois separados em três amostras cada contendo 30g, conforme Figura 3.

Figura 3 – Amostras para ensaio de determinação de umidade.



Fonte: Autor (2021)

Essas foram pesadas em balança com capacidade nominal de 200g e resolução de 0,01g, utilizando capsulas metálicas como recipiente, anotando-os como M1. Após a pesagem, o material foi levado para a estufa por 24 horas a uma temperatura de 105°C a 110°C. Posteriormente, as amostras foram retiradas da estufa e transferidas para um dessecador até atingirem a temperatura ambiente e, em seguida, pesadas novamente M2. As capsulas metálicas utilizadas como recipiente também foram pesadas e anotadas como M3. Por fim, foi feito o cálculo usando a Equação 1, a partir das massas obtidas, para encontrar o resultado, conforme Quadro 2.

Quadro 2 – Resultados das massas obtidas.

Identificação Pó da retífica	Massa (g)		
	Antes da secagem (M1)	Após secagem (M2)	Recipiente metálico (M3)

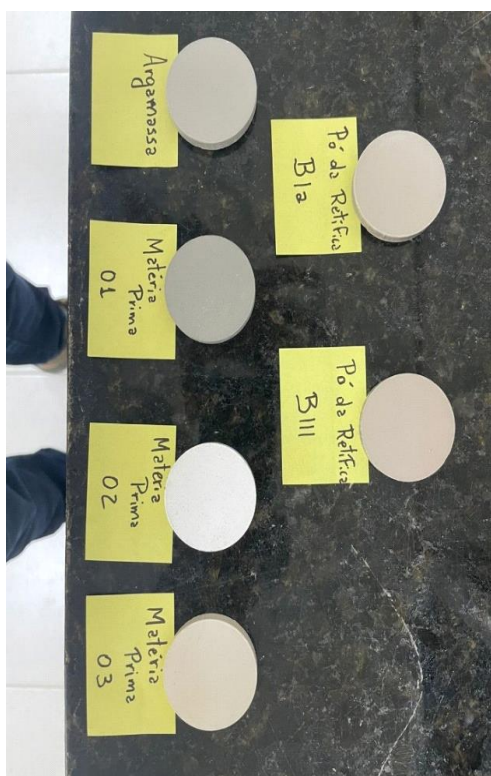
Bla - Amostra 1	30,00	29,65	3,02
Bla - Amostra 2	30,00	29,62	3,04
Bla - Amostra 3	30,00	29,61	3,01
BIII - Amostra 1	30,00	29,70	3,02
BIII - Amostra 2	30,00	29,67	3,00
BIII - Amostra 3	30,00	29,65	3,02
Argamassa - Amostra 1	30,00	29,04	3,02
Argamassa - Amostra 2	30,00	29,11	3,01
Argamassa - Amostra 3	30,00	29,01	3,00

Fonte: Autor, 2021

Os ensaios de análise química por fluorescência de raio-X (FRX) são regidos pela norma brasileira ABNT NBR ISO 12677 (2014). Para realização dos ensaios, foram utilizadas amostras do pó de retífica do produto Bla, do pó da retífica do produto BIII, da argamassa e das matérias-primas que a compõem.

Inicialmente, uma porção de aproximadamente 300g de cada amostra, foram secadas por oito horas em estufa, com temperatura até 110°C. Após isso, os materiais foram pesados em balança com capacidade nominal de 200g e resolução de 0,01g, a quantidade de 20g de cada material e adicionado 1g de resina para que fosse possível a conformação dos corpos de prova em prensa hidráulica a 30 bar e identificados, conforme a Figura 4:

Figura 4 – Corpos de prova das amostras conformados.



Fonte: Autor (2021)

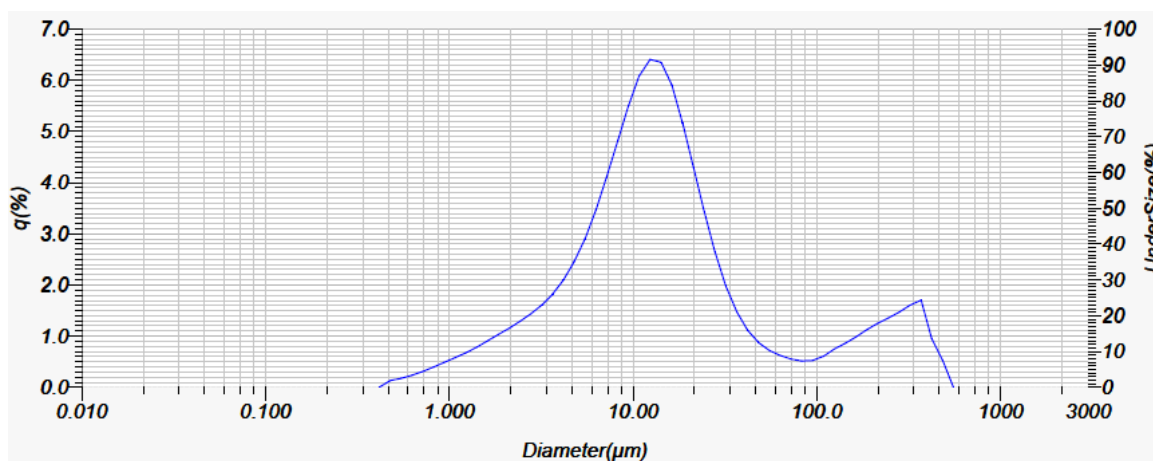
Após tais procedimentos, os corpos de prova foram posicionados no equipamento Epsilon 3X, marca Malvern Panalytical, e, três horas mais tarde, seus resultados foram obtidos.

O ensaio de análise de tamanho de partícula, pelo método de difração a laser, é regido pela norma ISO 13320 (2020), que determina uma curva distribuição dos tamanhos das partículas da amostra.

Para realização desse ensaio, foi aproveitado o restante das amostras secas utilizadas no ensaio de determinação de análise química. Inicialmente, foram preparadas três amostras de cada um dos materiais analisados, pó de retífica do produto Bla, pó da retífica do produto BIII e argamassa. Para isso, foi pesado em balança com capacidade nominal de 200g e resolução de 0,01g, a quantidade de 100g por amostra e adicionado 20% de água. Após isso, as amostras foram homogeneizadas em agitador mecânico por três minutos a fim de garantir a textura adequada para a leitura no equipamento modelo LA-950 da marca Horiba.

Após a finalização desse ensaio, uma curva com a distribuição do tamanho das partículas é gerada, conforme Gráfico 1.

Gráfico 1 – Distribuição do tamanho de partícula da amostra de argamassa.



Fonte: Autor (2021)

3.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO

Levando em consideração os valores de caracterização encontrados em laboratório, foram formulados testes diluindo o pó da retífica em escala de 2%,

5%, 10% e 15% na formulação e realizado o teste para determinar a resistência a tração. Conforme norma ABNT NBR 14081-4 (2012), a tensão de ruptura deve ser no mínimo de 0,3 Mpa.

No teste 1, foi substituído argamassa pelo pó da retífica do produto Bla, seguindo as escalas de percentual descritas acima. No teste 2, foi substituído argamassa pelo pó da retífica do produto BIII, nas mesmas escalas. No teste 3, o pó da retífica do produto BIII substituiu o material da composição da argamassa que apresentou características mais semelhantes a ele.

Com as amostras preparadas, foram realizados os ensaios de determinação da resistência de aderência à tração, conforme norma ABNT NBR 14081-4 (2012), em que se determina as diretrizes para a avaliação por meio de arrancamento por tração. Para isso, foi utilizado uma placa de concreto, e em sua superfície, dois corpos de prova de cada teste foram submetidos ao ensaio, conforme a Figura 4:

Figura 4 – Placa de concreto com os corpos de prova.



Fonte: Autor, 2021

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 DETERMINAÇÃO DE UMIDADE

Inicialmente, a partir dos processos de coleta do material e redução para determinação das amostras para o ensaio, obteve-se valores das amostras antes e depois da secagem em estufa e do recipiente metálico utilizado.

Utilizando as massas, foi possível identificar o teor de umidade, conforme apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 – Valores obtidos no ensaio.

Identificação Pó da retífica	%
	Teor de umidade
Bla - Amostra 1	1,17%
Bla - Amostra 2	1,27%
Bla - Amostra 3	1,30%
BIII - Amostra 1	1,00%
BIII - Amostra 2	1,10%
BIII - Amostra 3	1,17%
Argamassa - Amostra 1	3,20%
Argamassa - Amostra 2	2,97%
Argamassa - Amostra 3	3,30%

Fonte: Autor, 2021

A partir dos resultados obtidos, foi possível verificar que as amostras apresentam um baixo teor de umidade em relação aos resultados das amostras da argamassa.

Pelo fato de a argamassa passar por um processo de moagem a seco, os resultados de umidade apresentados pelo pó da retífica dos dois produtos demonstram que não haveria um custo extra de secagem para sua utilização.

4.2 ENSAIO DE ANÁLISE QUÍMICA

A partir dos processos descritos anteriormente, foi possível caracterizar as amostras quanto a sua composição química. O Quadro 4 apresenta os resultados obtidos do ensaio em questão.

Quadro 4 – Resultados do ensaio de análise química.

ANÁLISE QUÍMICA (%)						
Óxidos Constituintes	Argamassa	Pó Retífica Produto Bla	Pó Retífica Produto BIII	MP1	MP2	MP3
Na ₂ O	0,62	1,31	1,36	0,42	-	-
MgO	2,51	2,23	1,43	1,33	4,91	-
Al ₂ O ₃	6,04	16,59	17,58	5,90	0,82	2,49
SiO ₂	49,14	69,06	67,68	21,90	6,02	96,13
SO ₃	2,44	0,34	0,09	0,34	-	-
Cl	0,17	0,05	0,27	-	-	-
K ₂ O	0,36	4,38	3,81	0,26	0,11	0,06
CaO	33,97	2,35	3,59	61,98	47,27	-
TiO ₂	0,79	0,62	0,60	-	0,06	-
Fe ₂ O ₃	1,15	2,50	2,47	2,75	0,55	0,89
ZnO	-	0,11	0,53	-	-	-
BaO	-	-	0,05	-	-	-
Perda ao	2,80	0,45	0,52	4,71	39,94	-

fogo						
------	--	--	--	--	--	--

Fonte: Autor, 2021

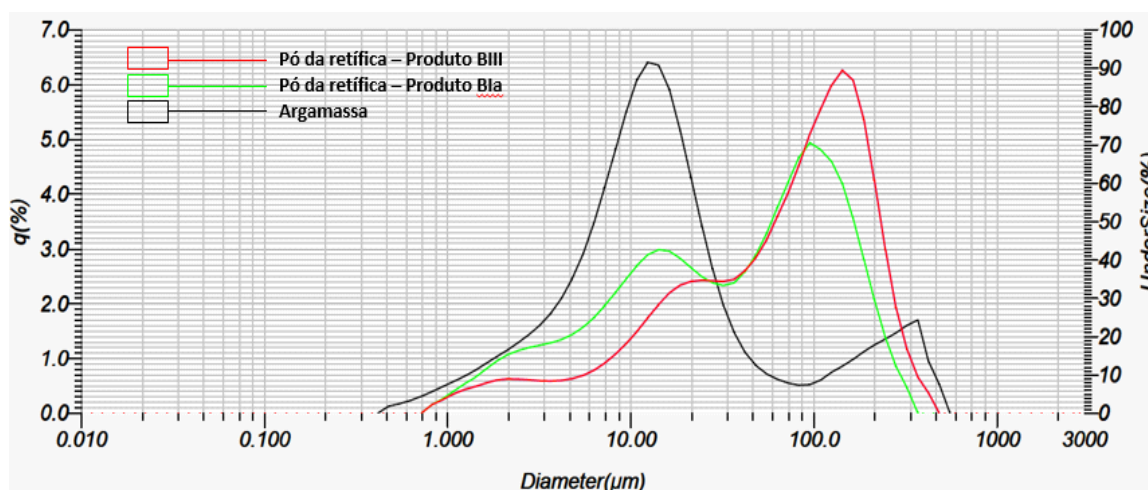
A análise foi importante para observar a composição química dos materiais estudados, e baseado em suas similaridades, reforçar a confiabilidade para a garantia da qualidade do produto final, já que grande parte de suas características após aplicação é concebida pela composição química do produto.

Além disso, o nível elevado de SiO das amostras do resíduo beneficiam a argamassa pela diminuição da capilaridade e aumentam a densificação, que devido a seu formato esférico das partículas e por serem mais finas, preenchem os espaços deixados pela hidratação (Vaske et al., 2008).

4.3 ENSAIO DE TAMANHO DE PARTÍCULAS

Com os resultados obtidos por meio desse ensaio, foi possível determinar a distribuição do tamanho das partículas de cada amostra, e, assim, evidenciar a contribuição oferecida pelo tamanho da partícula no ensaio de aderência à tração. O Gráfico 2 apresenta uma comparação entres as curvas de distribuição de cada amostra.

Gráfico 2 – Curva da distribuição do tamanho de partículas das amostras.



Fonte: Autor (2021)

Os resultados obtidos das amostras de pó da retífica dos produtos Bla e BIII apresentaram uma distribuição com tamanhos de partículas menores, quando

comparados com os resultados da argamassa e as matérias-primas que a compõem.

Torgal e Jalali (2010) afirmaram que o tamanho da partícula influencia na resistência e na durabilidade da argamassa, pois com uma quantidade maior de partículas finas haveria um maior preenchimento dos espaços vazios, aumentando sua densidade, logo, reduzindo sua porosidade.

4.4 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO

Com os dados obtidos por meio desse método e dos ensaios realizados anteriormente, foi possível identificar a influência que os resultados de caracterização dos materiais apresentaram em relação à aderência à tração. O Quadro 4 mostra os valores encontrados nesse ensaio.

Os valores encontrados para a resistência de aderência à tração estão dentro dos limites descritos pela norma ABNT NBR 14081-4 (2012), que determina uma resistência acima de 0,3Mpa. Dessa forma, é possível afirmar que os resultados deste estudo foram satisfatórios para todas as amostras.

Quadro 4 – Resultados de aderência à tração obtidos.

RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO (Mpa)						
Corpo de Prova	Argamassa (Padrão)	Escala de diluição	Corpo de Prova	Argamassa c/ Pó prod. Bla	Argamassa c/ Pó prod. BIII	Argamassa subst. Cimento Portland por Pó prod. BIII
CP 1	0,43	2%	CP 1	0,44	0,44	0,42
CP2	0,43	2%	CP2	0,43	0,44	0,43
		5%	CP 1	0,44	0,45	0,43
		5%	CP2	0,44	0,44	0,43
		10%	CP 1	0,46	0,48	0,45
		10%	CP2	0,47	0,48	0,45
		15%	CP 1	0,50	0,53	0,46
		15%	CP2	0,50	0,52	0,47

Fonte: Autor (2021)

Vale ressaltar, também, que a mistura não apresentou variações consideráveis na composição inicial, como cor e aspecto. Além disso, todos os ensaios apresentaram um teor de umidade mais baixo, havendo possibilidade de atuar no processo de fabricação a fim de reduzir o custo de fabricação. Como o estudo não visa o fator financeiro, essa análise não foi considerada.

5. CONCLUSÃO

A busca por alternativas para a utilização dos resíduos industriais é um grande desafio enfrentado pelas indústrias na atualidade. Os custos de armazenamento, transporte e descarte, além do possível impacto ambiental causado por ele, podem trazer uma série de impactos negativos à corporação e ao meio ambiente. Este trabalho teve como objetivo estudar a viabilidade do resíduo do pó da retífica, originado na fabricação de cerâmica, para a fabricação de argamassa colante.

O resíduo estudado apresentou, de forma geral, bons resultados já na caracterização. Os ensaios de umidade, a análise química e a determinação do tamanho de partícula do pó da retífica demonstraram que sua utilização em condições naturais agrega qualidade ao produto final.

Na caracterização dos testes utilizando o pó da retífica dosado na argamassa, realizado por meio da determinação de resistência de aderência à tração, todos os testes apresentaram resultados que estão de acordo com a norma ABNT NBR 14081-4 (2012), sendo então consideradas alternativas viáveis.

Com os resultados obtidos na realização deste trabalho, assim como os conhecimentos adquiridos durante o seu desenvolvimento, recomenda-se para trabalhos futuros:

Realização de teste em escala semi-industrial, para avaliar se os resultados são similares aos obtidos em escala laboratorial. Realização do teste de resistência à tração após intervalos de tempo de 15 dias, 30 dias, 6 meses e um ano, para analisar a influência do material em uma escala maior de tempo. Realização do estudo de viabilidade do produto.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 13006**: Placas cerâmicas – Definições, classificação, características e marcação. 2020, Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10004**: Resíduos sólidos - classificação. 2004, Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6457 Versão corrigida 2016**: Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. 2016, Rio de Janeiro.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 12677:** Análise química de produtos refratários por fluorescência de raios X (XRF) — Método do corpo de prova fundido. 2014, Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14081-4:** Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas Parte 4: Determinação da resistência de aderência à tração. 2012, Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 27:** Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. 2000, Rio de Janeiro.
- BARBOZA, L. S. et al. **Estudo da viabilidade da utilização de resíduos de polimento e retificação de cerâmica para fabricação de argamassa.** Rio de Janeiro. 2020.
- BRASIL. **Lei nº 12.305 de 2 de agosto 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. (pdf)
- FUJITA, H. et al. **Contribuição ao estudo da retificação abrasiva de materiais cerâmicos.** Associação Brasileira de Cerâmica, v. 52, n. 324, p. 269-275, 2006. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/8952>. Acesso em 29 set 2021. (pdf)
- International Organization for Standardization (ISO).* **ISO 13320: Analyse granulométrique — Méthodes par diffraction laser.** 2020, Genebra.
- OLIVEIRA, A. P. N.; HOTZA, D.. **Tecnologia de fabricação de revestimentos cerâmicos.** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2015. 2. ed.
- BORJESSON, J.; ISAKSSON, M.; MATTSSON, S. X-ray fluorescence analysis in medical sciences: a review. **Acta Diabetologica**, v. 40, n. 1, p. 39-44, 2003. (pdf)
- JENKINS, R. **X-Ray Fluorescence Spectrometry.** Nova York. 2 ed.1999. (pdf)
- SKOOG, D.A.; HOLLER, F.J.; NIEMAN, T. A. **Princípios de Análise Instrumental**, 5 ed. Porto Alegre: Bookman, p. 31-36; p. 317-342, 2009. (pdf)
- Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). **Revestimentos Cerâmicos (pisos e azulejos).** Governo Federal do Brasil. 1998. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/revestimentos.asp?iacao=imprimir>. Acesso em: 01 out 2021
- TORGAL, F. P. JALALI, S. **A sustentabilidade dos Materiais de Construção.** 2 ed. Coimbra. 2010.
- VASKE, N. R. et al. **Aplicação da argamassa com adição de sílica ativa como material de reforço em elementos comprimidos de concreto.** Porto Alegre. 2008.