

DESENVOLVIMENTO DE MASSA ARGILOSA PARA CERÂMICA VERMELHA COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS

Lucinéa Bayer Poton Moscon¹

Marcelo Santos Neves²

Valéria Pontes de Jesus Rocha³

Larissa Barreiro Birro⁴

Viviana Possamai Della Sgrillo⁵

Alessandra Savazzini dos Reis⁶

^{1,2,3,4,5,6} Instituto Federal do Espírito Santo - IFES

¹ lpoton@hotmail.com

² marcelosneves@outlook.com

³ valeriapontes@live.com

⁴ lbirro@gmail.com

⁵ viviana@ifes.edu.br

⁶ alessandrar@ifes.edu.br

Resumo: As matérias-primas utilizadas nas indústrias têm se tornado cada vez mais escassas e os resíduos gerados se transformaram em graves problemas ao meio ambiente com gerenciamento complexo. Considerando que as indústrias em seu processo produtivo geram resíduos sólidos e que os custos com a disposição destes em aterros, além dos impactos ambientais, é um inconveniente, torna-se cada vez mais necessário o desenvolvimento de técnicas viáveis de reaproveitamento dos mesmos. Com isso, o objetivo desta pesquisa é avaliar o potencial técnico da utilização de três tipos de resíduos industriais gerados no estado do Espírito Santo: resíduo sólido proveniente do processo de dessulfuração de gases da coqueria, resíduo do processo de lapidação de vidros planos sodo-cálcicos e resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais como coprodutos na obtenção de massa argilosa para cerâmica vermelha em substituição de parte da matéria-prima natural argilosa. Foram produzidos corpos de prova prismáticos com a argila e os resíduos em composições binárias para testes das propriedades cerâmicas e análise da plasticidade. Os resultados encontrados mostram que a mistura V10R10 com teores de 10% de resíduo do processo de lapidação do vidro sodo-cálcico e 10% de resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais e a mistura F5R10 com teores de 5% de FGD e 10% de RBRO apresentaram melhoria na densificação das peças promovendo aumento da resistência mecânica. Entretanto, apenas a mistura F5R10 apresentou extrusão aceitável, o que viabiliza a utilização dos resíduos FGD e RBRO nos teores de 5% e 10% simultaneamente em massas argilosas para cerâmica vermelha.

Palavras-chave: Resíduos; massa cerâmica; resíduo de lapidação de vidro; FGD, resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, as matérias-primas estão se tornando cada vez mais escassas e os resíduos gerados se transformaram em graves problemas ao meio ambiente com gerenciamento complexo. Considerando que as indústrias em seu processo produtivo geram resíduos sólidos e que os custos com a disposição destes em aterros, além dos impactos ambientais, é um inconveniente, torna-se cada vez mais necessário o desenvolvimento de técnicas viáveis de reaproveitamento dos mesmos. Por outro lado, o estado do Espírito Santo apresenta grande desenvolvimento em setores industriais que geram variados resíduos nos processos produtivos em volumes apreciáveis, os quais podem se tornar coprodutos em materiais usados na construção civil, tais como, os materiais cerâmicos. Com isso, o objetivo da pesquisa é avaliar o potencial técnico da utilização de três tipos de resíduos industriais gerados no estado do Espírito Santo: resíduo sólido proveniente do processo de dessulfuração de gases da coqueria, resíduo do processo de lapidação de vidros planos sodo-cálcicos e resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais como coprodutos na obtenção de massa argilosa para cerâmica vermelha em substituição de parte da matéria-prima natural argilosa.

Os materiais de cerâmica vermelha possuem a capacidade de incorporar diferentes tipos de resíduos, como por exemplo, resíduos do beneficiamento de rochas ornamentais (Menezes et al., 2005), lama de alto-forno (Vieira et al., 2007), resíduo de petróleo (Pinheiro e Holanda, 2009), lodo do tratamento de água (Wolf et al., 2015), dessulfuração de gases e lapidação de vidros (Moreira, 2019) ou a combinação deles (Reis, 2015), dentre outros, em determinadas quantidades sem que as propriedades dos produtos cerâmicos sejam alteradas significativamente. Deve-se ressaltar que os processos de fabricação de produtos de cerâmica vermelha normalmente não necessitam de alterações significativas

quando são adicionados resíduos às formulações (Pinheiro e Holanda, 2009), o que os torna uma opção vantajosa de aproveitamento dos resíduos.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Obtenção e Caracterização das matérias-primas

O resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais (RBRO), resíduo de lapidação de vidros sodo-cálcicos (RLVP), resíduo da dessulfuração de gases de coqueria (FGD – flue gas dessulfurization) foram doadas por empresas do Espírito Santo. A argila foi extraída de uma jazida localizada em Nova Venécia-ES. As amostras das matérias-primas foram secas ao ar, destorroadas, homogeneizadas e quarteadas. Parte do material foi destinada aos ensaios de caracterização e parte foi utilizada para confecção de corpos de prova prismáticos. A caracterização foi feita por meio de: fluorescência de raios X (FRX) em espectrômetro marca PANalytical modelo AxiosMax com tubo de 4 kW e alvo de ródio. O índice de plasticidade (IP) foi determinado segundo as normas ABNT NBR 6459/2016 e ABNT NBR 7180/2016.

2.2. Preparação das misturas

As matérias-primas foram secas em estufa à $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 h. Em seguida, o RLVP foi desaglomerado em moinho de bolas Marconi, e os resíduos RBRO, FGD e a argila foram desaglomerados manualmente com almofariz e pistilo. As matérias-primas foram passadas em peneira ABNT 60 mesh (abertura de malha de 0,250 mm), homogeneizadas e pesadas. Com base nos resultados da caracterização das matérias-primas e levando em consideração os estudos já realizados por pesquisadores do IFES, tais como, Filogônio (2016), Lougon (2018), Mohaupt (2019), Moreira (2019) e Rodrigues (2017) com os resíduos da pesquisa, optou-se por utilizar os limites máximos encontrados por estes, desta forma, foi definido o teor máximo de 5% de FGD, 30% de RLVP e 30% de RBRO nas misturas e agrupando dois resíduos por vez na massa cerâmica. Além disso foi feita mistura somente de argila para servir de grupo de controle e validação dos resultados obtidos. A nomenclatura adotada e os teores de resíduos (% em massa) das misturas formuladas na pesquisa estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Misturas % massa (Autores 2022).

Misturas	Argila (%)	RLVP (%)	FGD (%)	RBRO (%)	Total Resíduos (%)
A	100	0	0	0	0
F5R10	85	0	5	10	15
F5R30	65	0	5	30	35
V10R10	80	10	0	10	20
V10R30	60	10	0	30	40
V30R10	60	30	0	10	40
V30R10	60	30	0	10	40

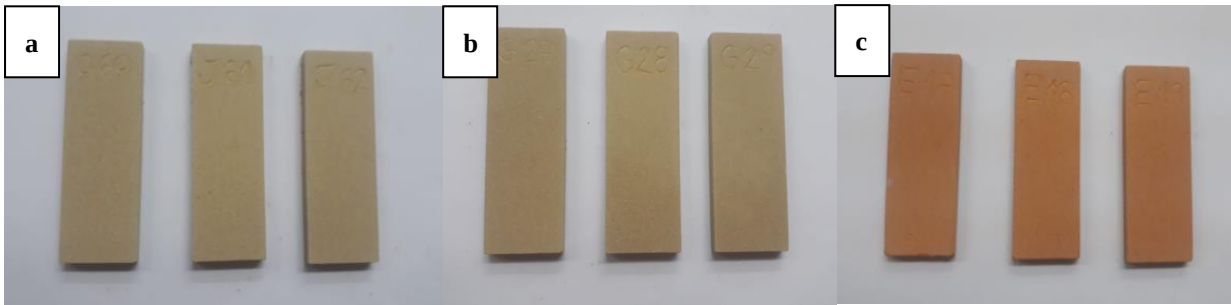
Nota: A=Argila; F=FGD; V=RLVP; R=RBRO

Foram determinados os índices de plasticidade (IP) das misturas utilizando o método de Atterberg para analisar a influência dos resíduos na plasticidade das massas, visando verificar se a massa é adequada a conformação por prensagem e por extrusão, principais processos usados para moldagem de produtos de cerâmica vermelha.

2.3. Obtenção dos Corpos de Prova e Caracterizações

As matérias-primas foram passadas em peneira ABNT 60 mesh com abertura de malha 0,250 mm, pesadas, homogeneizadas e umidificadas com borrifador e novamente homogeneizadas. A conformação por prensagem foi realizada em uma prensa hidráulica, modelo Marcon, com capacidade de 15 toneladas, utilizando um molde em aço inoxidável como matriz prismática 60x20x5mm de acordo com a metodologia proposta por Santos (1989) a uma pressão de 25 MPa, equivalente a 3 toneladas. Foram conformados 60 corpos de prova (Figura 1) para cada mistura. Após a conformação, os corpos de prova foram secos em estufa a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24h e queimados em forno a 950°C , em uma atmosfera oxidante com taxa de aquecimento de $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ e o tempo de patamar de 180 min. O resfriamento foi realizado até a temperatura ambiente por convecção natural dentro do forno. Optou-se por utilizar a temperatura de 950°C por ter apresentado os melhores resultados nas pesquisas de Filogônio (2016), Rodrigues (2017) e Moreira (2019).

Figura 1: Corpos de prova prensados: (a) cru, (b) seco e (c) queimado (Autores 2022).



A caracterização dos corpos de prova após queima, foi feita por análise de retração linear, massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água, perda ao fogo e tensão de ruptura à flexão. Essas propriedades físicas e mecânica dos corpos de prova foram determinadas de acordo com a metodologia proposta por Santos (1989).

a) Retração linear de queima (RLQ): o cálculo foi realizado a partir das medidas das dimensões do corpo de prova após secagem a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ (L_s) e após a queima (L_q), de acordo com a Equação 2:

$$RLQ(\%) = \frac{L_s - L_q}{L_q} \cdot 100 \quad (2)$$

b) Absorção de água (AA): os corpos de prova já sinterizados foram secados em estufa a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, para retirada de qualquer umidade eventualmente adquirida e, posteriormente, foram pesados para identificar a massa após a queima (m_q). Em seguida, os corpos de prova foram imersos em água à temperatura ambiente durante 24 h. O excesso de água na superfície foi removido por um pano úmido e então foram pesados para determinar a massa úmida (m_u). O cálculo da absorção de água (AA) foi realizado com a Equação 3:

$$AA(\%) = \frac{m_u - m_q}{m_q} \cdot 100 \quad (3)$$

c) Porosidade aparente (PA): foram utilizadas as massas do corpo de prova após a queima seco (m_q) e úmido (m_u), além da massa do corpo de prova imerso (m_i). O método da balança hidrostática foi utilizado para determinar a massa do corpo de prova imerso colocando o CP suspenso por um fio preso à balança enquanto estava imerso em água. A PA é determinada pela Equação 4.

$$PA(\%) = \frac{m_u - m_q}{m_u - m_i} \cdot 100 \quad (4)$$

d) Massa específica aparente (MEA): é uma medida indireta da densificação do corpo de prova após a sinterização. Para o cálculo considera-se a massa do corpo de prova após a queima (m_q), a massa do corpo de prova úmido (m_u) e a massa do corpo de prova imerso (m_i), conforme a Equação 5.

$$MEA \left(\frac{g}{\text{cm}^3} \right) = \frac{m_q}{m_u - m_i} \quad (5)$$

e) Perda ao fogo (PF): é definida como a perda de massa que ocorre na mistura durante o processo de queima. Para calculá-la foram pesados os corpos de prova após secagem (m_s) em estufa à temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ e após a queima (m_q). O percentual de perda ao fogo é afetado pela liberação de voláteis durante a sinterização e pode ser determinado pela Equação 6.

$$PF(\%) = \frac{m_q - m_s}{m_s} \cdot 100 \quad (6)$$

f) Tensão de ruptura à flexão (σ): o ensaio mede a resistência à flexão a 3 pontos que consiste em apoiar as extremidades do CP na base da máquina de ensaio e impor uma carga progressiva no centro do CP através de um cutelo com a tendência

de flexioná-lo. Determina-se então a carga atuante no momento da ruptura e a tensão de ruptura é calculada a partir da Equação 7. Para o cálculo tem-se σ = tensão de ruptura à flexão (MPa); P = carga na ruptura (N); L = distância entre os apoios (mm); b = largura do corpo de prova (mm) e h = espessura do corpo de prova (mm).

$$\sigma = \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad (7)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização química das matérias-primas

O resultado da caracterização química das matérias-primas está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 Análise química das matérias-primas (Autores 2022).

Compo- nentes	SiO ₂	Na ₂ O	CaO	SO ₃	Cl	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	SrO	BaO	Co ₂ O ₃	PbO	ZnO	ZrO ₂ +HfO ₂	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Perda ao fogo (%)
Argila	55,61	0,42	0,15	-	-	0,62	24,89	5,97	2,33	-	-	-	-	-	-	-	1,1	0,12	<0,05	8,76
FGD	0,23	<0,05	39,48	45,4	7,9	0,3	0,07	0,1	0,06	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,05	0,12	<0,05	6,07
RLVP	69,67	11,25	9,43	-	-	2,64	2,02	1,01	0,33	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,08	<0,05	<0,05	3,41
RBRO	73,2	2,65	1,63	-	-	0,49	13,53	1,77	4,93	-	-	-	-	-	-	-	0,21	0,14	<0,05	1,43

A análise química da argila mostra uma composição essencialmente de SiO₂ e Al₂O₃. Os valores estipulados por Santos (1989) de sílica, entre 43,2% e 77,6%, e de alumina, entre 6,8% e 38,0%, como típicos de cerâmica vermelha com caráter refratário foram integralmente atendidos. A perda ao fogo da argila (8,76%) também ficou dentro do intervalo característico para argilas cauliníticas, entre 6,0% e 15,7% (Santos, 1989). A relação SiO₂/Al₂O₃ da caulinita teórica é de 1,18 conforme proposto por Vieira e Pinheiro (2011), porém a relação encontrada na argila utilizada é de 2,23, podendo indicar grande quantidade de impurezas, como o quartzo. O teor considerável de Fe₂O₃ confere uma cor avermelhada após a queima, característica de cerâmica vermelha e a baixa concentração de CaO indica um baixo teor de carbonatos. Já os baixos teores de óxidos alcalinos K₂O e Na₂O contribuem para uma baixa formação de fase líquida.

A composição química do resíduo FGD é essencialmente formada por óxido de cálcio, CaO, proveniente da lama de cal utilizada no processo de dessulfurização, e por óxido sulfúrico, SO₃, retirado dos gases de coqueria no mesmo processo. O teor considerável de cloro é proveniente do cloreto de hidrogênio (HCl) gerado na queima do carvão, que reage com o calcário para produzir cloreto de cálcio e cloreto de magnésio (CaCl₂ e MgCl₂), os quais são sais solúveis que reagem com a lama de cal, no interior do reator Spray-Dürer. (Mohaupt, 2019). A perda ao fogo calculada para o resíduo FGD foi de 6,07%, valor menor do que o apresentado pela argila. Caillahua e Moura (2018) atribuíram a baixa perda ao fogo do resíduo FGD à baixa concentração de compostos voláteis no resíduo. A presença de outros óxidos na composição química do FGD pode indicar que o processo de dessulfurização é capaz de reter outros contaminantes dos gases além do SO₂. A composição química do resíduo FGD também é confirmada pelo Inventário Bialunar de Resíduos da empresa doadora (2016-2017), disponível para consulta no IEMA/ES, que trata o resíduo como um composto de sulfato de cálcio (CaSO₄) e sulfato de cálcio (CaSO₃).

O resíduo de lapidação de vidros sodo-cálcicos (RLVP) apresenta alta concentração de SiO₂, próximo a 70%, e elevados teores de Na₂O e CaO, composição típica de vidros sodo-cálcicos. A presença de quantidades significativas de MgO e Al₂O₃ contribuem para essa conclusão, pois estão comumente presentes em vidros sodo-cálcicos (Aleixo et al. 2016). A composição química do RLVP indica que sua adição na formulação de cerâmica vermelha pode causar uma redução da temperatura de queima por aumentar a concentração de óxidos fundentes Na₂O, MgO e CaO, que estão presentes em teores baixos na argila. Esses óxidos contribuem para sinterização e densificação na faixa de temperatura de queima da cerâmica vermelha (Manhães et al. 2009).

Parte do óxido presente na composição do RLVP é oriundo dos clarificantes Granifloc 0,1 e Granifloc AC, utilizados na etapa de tratamento de efluentes do processo de lapidação de vidros planos realizado na empresa fornecedora do resíduo. A presença de Fe₂O₃ pode ser proveniente do processamento de chapas coloridas e incolores no mesmo lote de resíduo recebido, já que esse óxido é comumente utilizado para dar coloração aos vidros ou do desgaste de rebolos e outras ferramentas utilizadas no processo de polimento. A perda ao fogo determinada foi de 3,41% e é atribuída à decomposição do floculante polimérico utilizado para favorecer a decantação do RLVP.

Quanto à análise química do RBRO, foi observado que é constituído predominantemente por sílica e alumina, 73,20% e 13,53% respectivamente, evidenciando ser um material sílico-aluminoso. A presença dos óxidos alcalinos Na₂O e K₂O pode contribuir na queima de peças cerâmicas por serem óxidos fundentes. O RBRO possui baixo valor de perda ao fogo em relação aos outros materiais, o que pode resultar em diminuição de retração linear à queima.

3.2. Plasticidade da argila e das misturas

A Tabela 3 apresenta os resultados da plasticidade da argila e das misturas.

Tabela 3 - Índices de Atterberg e índice de plasticidade das misturas (Autores 2022).

Misturas	Índices de Atterberg (%)		IP
	LL	LP	
A	45	28	17
F5R10	47	31	16
F5R30	44	29	15
V10R10	34	25	9
V10R30	33	24	9
V30R10	37	26	11

Nota: A=Argila; F=FGD; V=RLVP; R=RBRO; LL=limite de liquidez; LP=limite de plasticidade

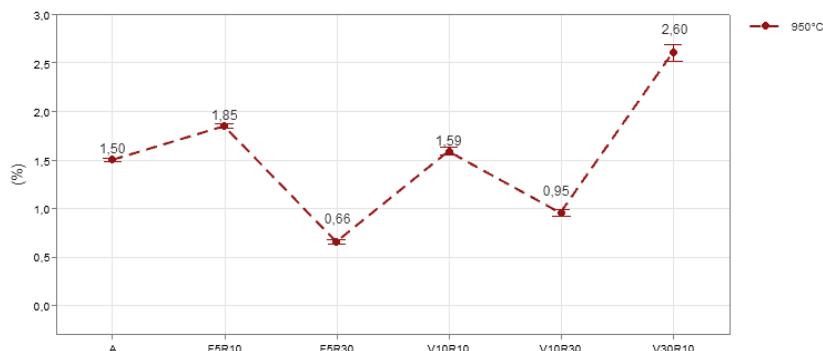
Não foi possível determinar os índices de Atterberg para o FGD, o RLVP e para o RBRO, visto que são matérias-primas não plásticas. Já a argila apresentou como índices de Atterberg: limite de liquidez (LL) igual a 45, limite de plasticidade (LP) igual a 28 e índice de plasticidade (IP) igual a 17. As argilas com IP maior que 15 são consideradas altamente plásticas e, como pode ser observado, a argila utilizada encontra-se nessa classificação. Além disso, o LP inferior a 30 faz com que a argila fique dentro da região de extrusão aceitável. De acordo com Vieira, Soares e Monteiro (2003) não é recomendado IP abaixo de 10 por tornar a etapa de conformação perigosa, em função do comportamento plástico poder ser alterado com pequena variação na quantidade de água utilizada. Além do IP, o LP é outro indicador importante para o processamento da massa argilosa. Valores muito elevados de LP indicam uma maior necessidade de água para possibilitar a extrusão das peças, resultando em um maior risco de defeitos durante o processo de secagem (Vieira et al., 2003). Uma redução no valor de LP indica menor necessidade de água e, possivelmente, uma menor geração de defeitos de secagem. Diferentes fatores podem afetar a plasticidade das argilas, entre eles estão a composição mineralógica, a distribuição de tamanho de partículas, a matéria orgânica e os aditivos (Andrade et al., 2011). A presença de matéria orgânica tende a aumentar a plasticidade, já a presença de quartzo tende a diminuí-la.

Os resultados dos índices de Atterberg para as misturas contendo os resíduos apresentaram índices de plasticidade iguais ou inferiores à referência. Para a utilização das misturas no processo de conformação das peças cerâmicas é necessário avaliar os índices obtidos. Para valores de IP entre 10 e 34% e LP entre 18 e 31% consideram-se que a mistura possibilitará uma extrusão aceitável. Já para IP entre 15 e 25% e o LP entre 18 e 25%, classifica-se a extrusão como ótima. (Vieira; Pinheiro, 2011) Com isso, pode-se verificar com os valores obtidos que nenhuma das misturas possibilitam uma extrusão ótima. Apesar disso, ao avaliar os IPs, as misturas atenderiam os critérios para a extrusão aceitável, com exceção de V10R10 e V10R30. A adição dos resíduos RLVP e RBRO causou a diminuição da plasticidade das amostras, assim como esperado, já que possuem em sua composição elevado percentual de sílica e foram classificados como resíduos não plásticos.

3.3. Retração linear de queima

A retração linear de queima (RLQ) é um dos indicativos da qualidade de sinterização, pois maior retração indica uma maior densificação do objeto cerâmico. Conhecer o comportamento de retração da mistura é importante, pois uma retração excessiva pode causar deformações das peças durante a queima (Baccour et al., 2009) ou até mesmo gerar tensões acima do limite suportado pelo material, o qual pode ocasionar formação e propagação de trincas. A Figura 2 apresenta os resultados de RLQ encontrados para as misturas com os resíduos.

Figura 2 - Retração linear de queima (Autores 2022)



A mistura que apresentou maior variação na retração com a temperatura de queima foi V30R10. Estima-se que estas amostras tenham apresentado maior retração devido ao elevado teor de sílica na composição em relação às outras amostras. Os resíduos RLVP e RBRO apresentam, aproximadamente, 70% das composições constituídos por SiO₂. A sílica é formadora de fase líquida acelerando o processo de sinterização o qual por meio da difusão atômica e fluxo viscoso promovem densificação e aproximação das partículas auxiliando no preenchimento dos poros levando à retração.

3.4. Absorção de água e porosidade aparente

Os resultados encontrados para a absorção de água e para a porosidade aparente (Figuras 3 e 4) podem ser relacionados aos analisados para a RLQ, pois quando ocorre maior retração é um indicativo de maior fechamento dos poros presentes no material cerâmico, consequentemente, os valores de absorção de água (AA) e porosidade aparente (PA) tendem a diminuir. Pode-se observar que nessa temperatura de queima de 950°C não tiveram grandes variações, se mantendo entre 14,6 e 18,08% de absorção para todas as misturas. Os valores indicados para AA máxima após a queima estão dentro da norma NBR 15310 (ABNT, 2009) que determina como 20% o limite máximo admissível de absorção de água para telhas cerâmicas e de 25% para blocos cerâmicos furados de vedação (Santos, 1989). Portanto, todas as misturas realizadas obedeceram aos valores indicados para aplicação na fabricação de blocos e telhas.

Figura 3 - Absorção de água (Autores 2022).

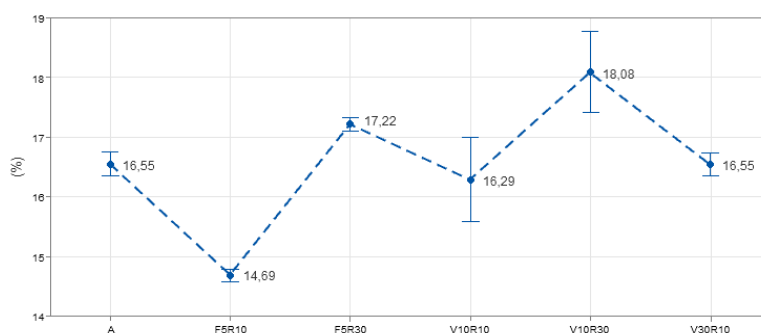
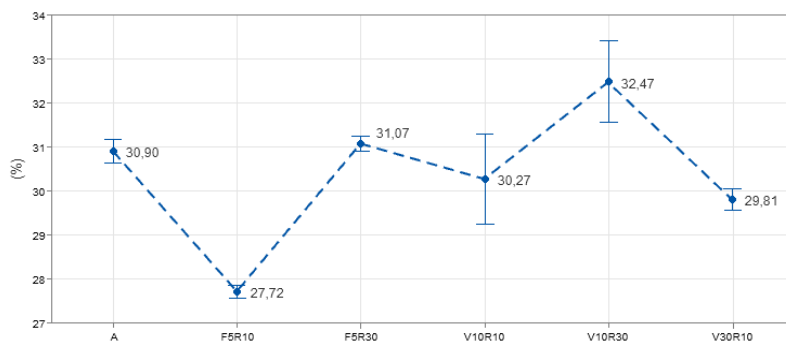


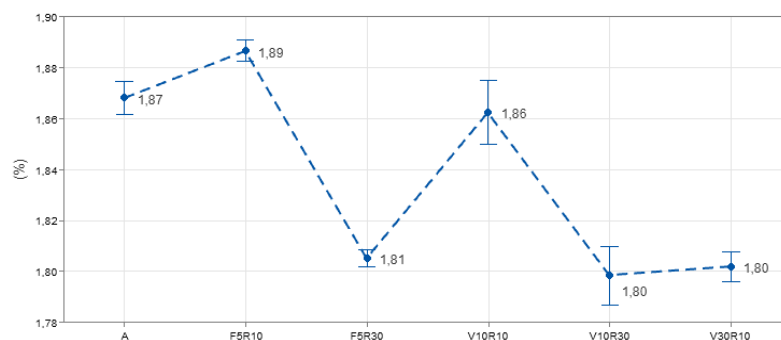
Figura 4 - Porosidade aparente (Autores 2022).



3.5. Massa específica aparente (MEA)

Os resultado é coerente com os valores obtidos no ensaio de absorção de água e porosidade aparente e é explicado pela decomposição do CaSO_4 em CaO , que ocorre acima de 900°C gerando uma maior quantidade de óxidos fundentes, que têm a tendência de aumentar a densificação e consequentemente a MEA, mas também ocasiona a saída de gases que podem deixar pequenos capilares abertos, aumentando a porosidade e reduzindo a MEA (Figura 5).

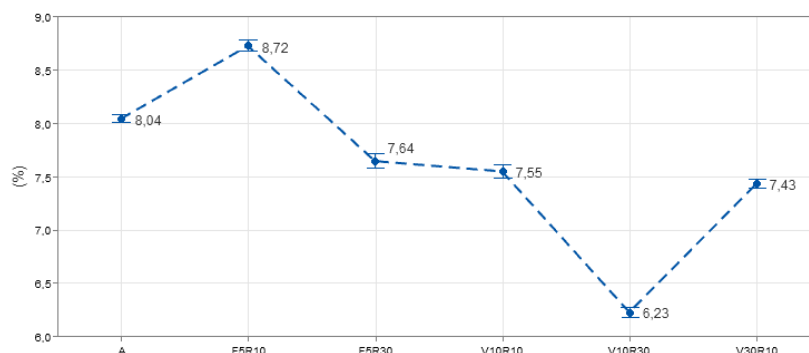
Figura 5 - Massa específica aparente (Autores 2022)



3.6. Perda ao fogo

A desidroxilação dos argilominerais e a decomposição dos carbonatos e matéria orgânica são os principais fatores relacionados à perda ao fogo observada nas massas argilosas (Figura 6). Observa-se que o aumento no teor dos resíduos adicionados reduz a perda ao fogo da mistura, estando coerente com os valores de perda de massa das matérias-primas observadas na análise química. Tal comportamento pode ser devido à diminuição dos teores de argilominerais e de matéria orgânica presentes na argila e principalmente ao alto teor de RBRO e RLVP incorporados na mistura.

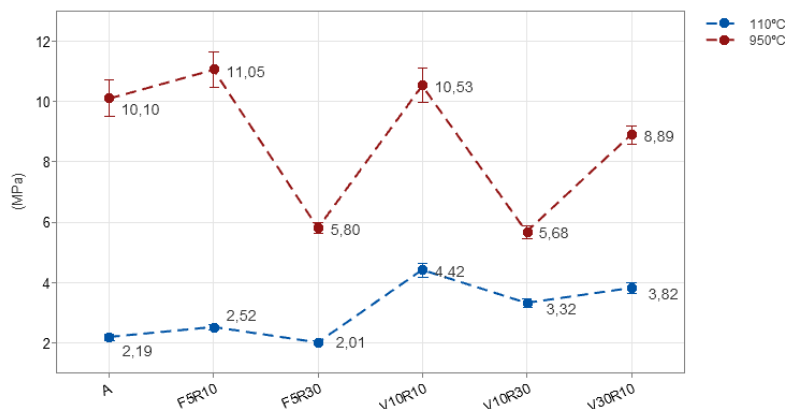
Figura 6 - Perda ao Fogo (Autores 2022).



3.7. Tensão de ruptura à flexão

A tensão de ruptura à flexão é uma das propriedades mecânicas utilizadas na especificação de produtos de cerâmica vermelha, também é um importante parâmetro indicativo da resistência mecânica global apresentada pela peça cerâmica após a queima. Os resultados obtidos para a tensão de ruptura à flexão realizada por meio do ensaio de flexão a três pontos são apresentados na Figura 7.

Figura 7 – Tensão de ruptura à flexão (Autores 2022).



Segundo Santos (1989) a resistência à flexão mínima da massa seca a 110°C deve ser de: 1,5 MPa para tijolos de alvenaria; 2,5 MPa para tijolos furados e 3,0 MPa para telhas. Consta-se, pela Figura 7, que todas as misturas apresentaram tensão superior para tijolos de alvenaria, para fabricação de tijolos furados apenas a mistura F5R30 não atingiu o limite estabelecido e para telhas todas as misturas sem FGD estão acima do especificado. Já para corpos cerâmicos após a queima os limites mínimos de tensão de ruptura à flexão estipulados por Santos (1989) são de 2,0 MPa para tijolos de alvenaria, 5,4 MPa para tijolos furados e 6,4 MPa para a fabricação de telhas. Logo, somente as misturas F5R30 e F10R30 não atenderiam a fabricação de telhas, para as demais misturas são todas aplicáveis.

4. CONCLUSÕES

Pode-se observar que o teor de 10% de RBRO nas misturas com FGD (F5R10) e com RLVP (V10R10) apresentaram melhoria nas propriedades analisadas, e que essas misturas agiram principalmente na densificação da peça o que promoveu os maiores valores de tensão de ruptura à flexão. Entretanto, entre as duas, apenas a mistura F5R10 apresentou extrusão aceitável. Pode-se então verificar a viabilidade de utilização dos resíduos simultaneamente em massas argilosas para cerâmica vermelha na mistura testada F5R10. O estudo mostrou ainda a possibilidade de valorização de um resíduo como matéria-prima alternativa na fabricação de produtos de cerâmica vermelha. Essa substituição é positiva do ponto de vista ambiental, pois reduz a exploração de matéria-prima argilosa, bem como a disposição dos resíduos em aterros.

5. AGRADECIMENTOS

A FAPES pelo apoio financeiro, aos professores e servidores do Ifes - Campus Vitória envolvidos nesse projeto e às empresas que doaram as matérias-primas usadas nesse experimento.

6. REFERÊNCIAS

- Aleixo, F. C; Ballmann, T. J. S; Folgueras, M. V; Junkes, J. A; Della, V. P. Preparação de vidros sodo-cálcicos utilizando resíduo de lâ de rocha. *Cerâmica*, [s.l.], v. 62, n. 364, p.358-364, dez. 2016.
- American Society for Testing and Materials. C67 - 03a: Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile. West Conshohocken, 2003. 12 p.
- Andrade, F.A.; Al-Qureshi, H.A.; Hotza, D. Measuring the plasticity of clays: A review. *Applied clay science*, [s.l.], v. 51, n. 1-2, p.1-7, jan. 2011.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6459: Solo - Determinação do limite de liquidez. São Paulo, 2016.

- _____. NBR 7180: Solo - Determinação do limite de plasticidade. São Paulo, 2016.
- Ayuso, E. A.; Querol, X.; Tomás, A.. Implications of moisture content determination in the environmental characterisation of FGD gypsum for its disposal in landfills. *Journal Of Hazardous Materials*, S.l., p.544-550, 2008.
- Baccour, H. et al. Influence of firing temperature on the ceramic properties of Triassic clays from Tunisia. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 209, p. 2812–2817, 2009.
- Caillahua, M. C.; Moura, F.J.. Technical feasibility for use of FGD gypsum as an additive setting time retarder for Portland cement. *Journal Of Materials Research And Technology*, [s.l.], v. 7, n. 2, p.190-197, abr. 2018.
- Filogônio, P. H. C. Valorização do Resíduo de Lapidação de Vidros Planos para Obtenção de Cerâmica Vermelha. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) - Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 88 p., 2016.
- Iema - Instituto Estadual de Meio Ambiente do Estado do Espírito Santo. Inventário de Resíduos SOL Coqueria Tubarão S/A. Cond. Nº. 09, LO nº 276/2013. Biênio 2014/2015. [2015].
- Lougon, M. C. M. Avaliação da Incorporação do Resíduo Proveniente da Lama do Beneficiamento de Rochas Ornamentais nas Propriedades Físicas de Massas Cerâmicas. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Sustentáveis) - Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 98 p., 2018.
- Manhães, J. P. V. T.; Moreira, J. M. S.; Holanda, J. N. F.. Variação microestrutural de cerâmica vermelha incorporada com resíduo de rocha ornamental. *Cerâmica* (55), S.l., p.371-378, 2009.
- Menezes, R. R.; Neves, G. A.; Ferreira, Heber C.. O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 6, n. 2, p.303-313, 2012.
- Mohaupt, A. F. Influência do Resíduo da Dessulfuração de Gases da Coqueria em Tijolos de Solo-cimento Utilizados na Construção Civil. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) - Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 83 p., 2019.
- Mohaupt, A. F.; Sagrillo, V. P.; Reis, A. S.. Potencialidades do resíduo do sistema FGD utilizado na dessulfuração de gases de uma coqueria. In: Congresso anual da ABM, 73., 2019, São Paulo. Anais.... São Paulo: Blucher, 2018. p. 786 - 791.
- Moreira, L. P. Análise das Propriedades Físicas de Massa Cerâmica com Adição de Resíduos dos Processos de Dessulfuração de Gases e Lapidação de Vidro. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) - Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 113 p., 2019.
- Pinheiro, B.C.A.; Holanda, J.N.F. Processing of red ceramics incorporated with encapsulated petroleum waste. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 209, p. 5606-5610, 2009.
- Reis, A.S.; Sagrillo, V.P.; Diaz, F.R.V.. Estudo da viabilidade técnica de incorporação de lama de alto forno em massa argilosa. In: Congresso anual da ABM - Internacional, 69., 2014, São Paulo. Anais.... São Paulo: Blucher, 2014. v. 1, p. 8291 - 8300.
- Reis, A. S. Produção de Telha Cerâmica com Incorporação Simultânea de Resíduo de Beneficiamento de Granito, Lama de Alto Forno e Resíduo de Massa Cerâmica Crua. 2015. 124 p. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.
- Rodrigues, L. R. Valorização de Resíduos do Processo Kraft e de Lapidação de Vidros Sodo-cálcicos para Obtenção de Cerâmica Vermelha. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) - Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 113 p., 2017.
- Santos, P.S.. Ciência e tecnologia de argilas. 2ª. ed. São Paulo: Edgar Blucher, v. 1, 1989.
- Scardua, S.S.S.; Reis, A. S.; Sagrillo, V. P. D.; Teixeira, G. M. Caracterização do resíduo de lapidação de vidros planos para a produção de tijolos de solo-cimento. In: Congresso anual da ABM, 73., 2018, São Paulo. Anais.... São Paulo: Blucher, 2018. p. 786 - 791. Disponível em: <<https://abmproceedings.com.br/en/article/caracterizao-do-resduo-de-lapidado-de-vidros-planos-para-a-produo-de-tijolos-de-solo-cimento>>. Acesso em: 03 fev. 2020.
- Silva, R.A.; Teixeira, S. R.; Souza, A. E.; Santos, D. I.; Romero, M.; Rincon, J. M. Nucleation kinetics of crystalline phases from a kaolinitic body used in the processing of red ceramics. *Applied Clay Science*, [s.l.], v. 52, n. 1-2, p.165-170, abr. 2011.
- Vieira, C.M.F.; Pinheiro, R.M.. Avaliação de argilas caulínicas de Campos dos Goytacazes utilizadas para fabricação de cerâmica vermelha. *Cerâmica*, [s.l.], v. 57, n. 343, p.319-323, set. 2011.
- Vieira, C.M.F.; Soares, T.M.; Monteiro, S.N.. Massas cerâmicas para telhas: características e comportamento de queima. *Cerâmica*, [s.l.], v. 49, n. 312, p.245-250, dez. 2003.
- Vieira, C. M. F.; Dias, C.A.C.M.; Mothé, A.V.; Sánchez, R.; Monteiro, S. N. Incorporation of blast furnace sludge into red ceramic. *Revista Cerâmica*, São Paulo, n.53, p. 381-387, 2007.
- Wolff, E.; Schwabe, W. K.; Conceição, S. V. Utilization of water treatment plant sludge in structural ceramics, *Journal of Cleaner Production*, v. 96, p. 282-289, 2015.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

DEVELOPMENT OF CLAY MASS FOR RED CERAMICS WITH INCORPORATION OF RESIDUE

Lucinéa Bayer Poton Moscon¹

Marcelo Santos Neves²

Valéria Pontes de Jesus Rocha³

Larissa Barreiro Birro⁴

Viviana Possamai Della Sagrillo⁵

Alessandra Savazzini-Reis⁶

^{1,2,3,4,5,6} Instituto Federal do Espírito Santo - IFES

¹ lpoton@hotmail.com

² marcelosneves@outlook.com

³ valeriapontes@live.com

⁴ lbirro@gmail.com

⁵ viviana@ifes.edu.br

⁶ alessandrar@ifes.edu.br

Abstract. The raw materials used in industries have become scarcer and the residue generated has become serious problems for the environment with complex management. Considering that industries in their production process generate residue and disposal cost in landfills, in addition to the environmental impacts, is an inconvenience, it becomes increasingly necessary to develop viable techniques for their reuse. Therefore, the objective of this research is to evaluate the technical potential of the use of three types of industrial residue generated in the state of Espírito Santo: residue from the coke oven gas desulfurization process (FGD), residue from the soda-lime glass lapping process and residue from ornamental stone processing (RBRO) as co-products in obtaining ceramic mass for red ceramic to replace part of natural raw material. Prismatic shaped sample were produced with the clay and the residues in binary compositions for testing ceramic properties and plasticity analysis. The results showed that the mixture V10R10 with contents of 10% of residue from the soda-lime glass lapping process and 10% of residue from ornamental stone processing and F5R10 with contents of 5% of FGD and 10% of RBRO showed improvement in the densification of the sample, promoting an increase in the mechanical resistance. However only the F5R10 mixture showed acceptable extrusion, which makes it possible to use the two residues FGD e RBRO at levels of 5% and 10% simultaneously in ceramic mass for red ceramics.

Keywords: residue; ceramic mass; glass lapping residue; FGD, ornamental stone processing residue.

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.