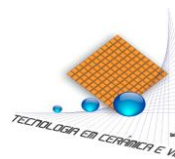




UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE

Curso de Tecnologia em Cerâmica e Vidro

Trabalho de Conclusão de Estágio



USO de cinza de casca de arroz e de eucalipto na composição de um vidro cru

Walmor Barbosa Viel

Adriano Michael Bernardin¹

Resumo: As atividades industriais contribuem significativamente para o desequilíbrio ambiental. Para isso, a busca incansável por fontes alternativas de energia e a necessidade em reduzir a emissão de resíduos poluentes na natureza, trouxe uma preocupação a mais para as empresas que usam a biomassa como fonte de energia, em especial as que usam a casca de arroz e o eucalipto como fonte alternativa. O uso da biomassa como fonte energética gera um subproduto com teor de sílica considerável, agregado a si características que a tornam matéria-prima de potencial interesse para aplicação em vários ramos da indústria cerâmica. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi a utilização das cinzas de casca de arroz e de eucalipto para obtenção de um vidro cru. Foi empregado planejamento experimental de misturas e os fatores foram os percentuais de cinza de eucalipto e de casca de arroz, adicionados a outros componentes, como carbonato de cálcio, óxido de zinco, bórax anidro alumina e nitrato de potássio. As variáveis de saída foram as propriedades medidas, a tonalidade dos vidrados e seu percentual de espalhamento durante a queima. Como resultado, apesar da necessidade de uso de outros componentes na formulação, o que gera um custo, é viável pois as matérias primas principais ficariam com a cinza, com percentuais acima de 80%.

Palavras-chave: *Reciclagem; cinza da casca de arroz; cinza de eucalipto; vidro cru*

1.Introdução

A busca incessante por fontes alternativas ao petróleo e a exigência cada vez maior ao combate à poluição ambiental tem evidenciado a necessidade de fontes renováveis de energia, sendo um exemplo o uso da biomassa. A biomassa vem sendo estudada e já utilizada por algumas empresas como fonte de energia. Atividades industriais produzem determinadas quantidades de resíduo que não podem ser separados da própria produção em si. Na redução da geração de resíduo, que deveria ser a forma preferida, mas que é tecnicamente limitada, o caminho a seguir ainda é o da reciclagem. Além de problemas econômicos e

¹ Professor orientador

políticos enfrentados ao se explorar um destino correto ou ao se beneficiar destes resíduos há uma ausência de técnicas de processamento e beneficiamento que combinem com os interesses na solução deste problema. Neste contexto, a sociedade demanda um bom desempenho dos produtos industrializados do ponto de vista técnico e funcional, além de maior conhecimento sobre as interações com o meio ambiente, com mínimo consumo energético e menor impacto ecológico possível. Empregada como fonte de energia, a casca de arroz é queimada em diversas empresas; algumas, devido a sua natureza, conseguem incorporar a cinza ao produto, mas para a maioria o destino das cinzas é o aterro, criando um problema ambiental e poluindo o solo, o ar, os rios, córregos e lagos.

A casca do arroz é um dos mais abundantes resíduos gerados pelas indústrias e por ser um material fibroso é de difícil degradação, permanecendo inalteradas por longo tempo e causando grandes danos ao meio ambiente. Para cada tonelada de arroz produzido, 23% é casca e deste, 4% é cinza (DELLA, 2005). Este resíduo é bastante leve, com baixa densidade, e quando depositado exige grandes áreas de depósito e neste mesmo local pode ocorrer sua queima, resultando assim na dispersão das cinzas por toda a região. A busca por fontes renováveis de energia é uma tendência global que tem se fortalecido nos últimos anos. A União Européia se destaca neste cenário por estabelecer metas agressivas e incentivos para a substituição de combustíveis fósseis por fontes renováveis na sua matriz energética. Estima-se que até 2020, 20% de sua matriz energética virá de fontes renováveis, e o uso do eucalipto ganha força. Após a queima da matéria orgânica contida na casca de arroz sobra a cinza de difícil degradação e com pouquíssimos nutrientes para o solo, contendo sílica acima de 85% em estado amorfo (FONSECA, 1999). O processo de queima leva sempre à obtenção de sílica, cuja coloração varia de cinzenta a preta dependendo do teor de impurezas inorgânicas e carbono presentes. A cinza de eucalipto contém um percentual menor de sílica, porém contém outros óxidos também utilizados no setor cerâmico. Deste modo, o presente trabalho teve como objetivo a caracterização da cinzas obtidas a partir da casca de arroz e de eucalipto e o desenvolvimento de um vidro cru usando estes resíduos como matéria-prima principal apresentando desta forma uma alternativa de utilização para estes resíduos.

2.Revisão de Literatura

2.1. Resíduo de arroz e eucalipto

Durante a fase de crescimento do arroz existe a formação dos grãos e, conseqüentemente, em sua extremidade uma capa ou revestimento protetor dos grãos a qual é removida durante o refino. Estas cascas não têm valor comercial, pois não possuem valor nutritivo e além de reduzir a digestibilidade, a casca é dura e sua aresta pontiaguda pode causar ferimentos no estômago, não sendo assim usadas como alimentação animal ou humano. Por outro lado tem alto teor em sílica, SiO_2 . A crise energética e a busca por fontes alternativas de energia resultaram no reaproveitamento da casca do arroz como combustível vegetal. A queima da casca produz cinza em grande quantidade e nenhum outro resíduo da agricultura produz percentual tão alto de cinza quando queimado. Outra alternativa energética que vem ganhando espaço é o uso de serragens ou cavaco de eucalipto. Com a redução das reservas minerais e de petróleo, ouve a necessidade em buscar novos meios para suprir esta falta. A união europeia estima que até o ano de 2020, 20% de sua matriz energética será vinda de fontes renováveis, (KISS, 2012). Segundo o MAPA, (ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento), existem hoje 6 milhões de hectares plantados de eucalipto no Brasil e a projeção é de um aumento em 50% na plantação até 2020, com 9 milhões de hectares já visando o mercado Europeu. Mantendo esta projeção a captura na atmosfera de 10 milhões de toneladas de dióxido de carbono, seria um ganho considerável, (MAPA, 2012).

2.2. Vidrados

Vidrados são misturas de matérias-primas naturais e produtos químicos ou compostos vítreos que aplicados à superfície do corpo cerâmico e após queima, formam uma camada vítrea, delgada e contínua. Esta tem por finalidade aprimorar a estética, tornar o produto impermeável, melhorar a resistência mecânica e propriedades elétricas entre outros fatores. As composições dos vidrados são inúmeras e sua formulação depende das características do corpo cerâmico, das características finais do esmalte e da temperatura de queima. Os vidrados são obtidos a partir de matérias-primas naturais e de produtos da indústria química e podem ser classificados em cru, de fritas ou uma mistura de ambos, (ABCERAM, 2012).

2.2.1. Vidrados de fritas

Os vidrados de fritas diferem dos crus por terem em sua constituição o material denominado de frita. Esta pode ser definida como composto vítreo, insolúvel em água, que é obtida por fusão e posterior resfriamento brusco de misturas controladas de matérias-primas. O processo de fritagem é aquele que implica na insolubilização dos componentes solúveis em água após tratamento térmico, em geral, entre 1300 °C e 1500 °C, quando ocorre a fusão das matérias-primas e a formação de um vidro. Os vidrados contendo fritas são utilizados em produtos submetidos a temperaturas inferiores a 1200°C, (ABCERAM, 2012).

2.2.2. Vidrados crus

Os vidrados crus, objeto deste trabalho, são constituídos de matérias-primas muito finas, e são aplicados na forma de uma suspensão (polpa) à superfície da cerâmica. Na operação de queima a superfície funde e adere ao corpo cerâmico adquirindo aspecto vítreo durante o resfriamento. Geralmente este tipo de esmalte é queimado em temperatura acima de 1200°C. Sua composição recebe os elementos puros que são misturados durante o processo de moagem (ABCERAM, 2012).

3. Materiais e Métodos

A cinza de casca de arroz foi cedida pela empresa Kiarroz Fumacense, localizada no município de Morro da Fumaça, SC. A casca de arroz é usada na caldeira como fonte de energia para secagem do arroz. A cinza proveniente do eucalipto foi fornecida pela empresa cerâmica Giseli, localizada em Criciúma, SC, que usa o eucalipto como fonte de energia para secagem da barbotina no processo de atomização. O primeiro passo foi preparar as cinzas, removendo as impurezas e partículas maiores usando uma peneira malha # 12 mesh. Em seguida, para reduzir o tamanho das partículas das cinzas as mesmas foram moídas usando moinhos excêntricos (Servitech CT-252), com tempo de moagem de 4 minutos para a cinza de arroz e de 7 minutos para a cinza de eucalipto. O aspecto da cinza de casca de arroz moída pode ser visto na figura 1.



Figura 1 – Cinza da casca de arroz antes e depois de moagem.

Fonte: Autor, 2012.

A segunda etapa foi caracterizar as duas matérias-primas, determinando sua análise química por espectrometria de fluorescência de raios X (Philips PW 2400, pela técnica de dispersão de comprimentos de onda, WDXRF).

A partir dos resultados de análise química para as cinzas foi preparada uma formulação inicial. Utilizando-se óxido de zinco, carbonato de cálcio, alumina e bórax anidro, sendo realizadas aplicações de botões de espalhamento variando-se o percentual das matérias-primas. A formulação foi preparada pela mistura das matérias-primas em moinho excêntrico, moinhos periquito feitos de porcelana, com elementos moedores de alumina, (DAROLT, 2010). Para este primeiro teste foi usada uma base cerâmica de monoporosa, e a formulação foi aplicada conforme técnica de botão de espalhamento, equipamento este usado como forma de medir a viscosidade de um determinado material esta relação ao padrão. Os botões foram queimados em forno a rolo de laboratório a uma temperatura de 1200°C, com ciclo de queima de 60 minutos. O valor do espalhamento em cada formulação foi determinado usando-se a seguinte equação: $\text{espalhamento} = (r_{\text{final}} - r_{\text{inicial}}) / r_{\text{inicial}}$, sendo r o raio do botão antes e após a queima.

Visualmente as amostras mostraram coloração escura devido a grande percentual de carbono na composição mesmo após a queima. Desta forma, a cinza da casca de arroz foi submetida a um ciclo de tratamento térmico (TT) com o objetivo de aumentar o percentual de óxido de silício existente através da redução do percentual de matéria orgânica (carbono). A amostra de cinza, sem nenhum tipo de tratamento prévio, foi submetida a um ciclo térmico em forno muflado de laboratório a 1200°C por um período de 5 horas, com taxa de aquecimento de 15 °C/min, e em seguida a cinza foi analisada quimicamente (FRX). O aspecto da cinza de casca de arroz

calcinada pode ser visto na figura 2. Para evitar a mesma contaminação com matéria orgânica a cinza de eucalipto também foi calcinada em forno muflado a 980°C durante três horas, mas não houve perda de massa, o que mostra que esta matéria-prima não necessita ser calcinada.



Figura 2 – Cinza de casca de arroz antes e depois da calcinação.

Fonte: Autor 2012.

Após calcinação das cinzas de casca de arroz foram feitas novas formulações, desta vez utilizando-se planejamento experimental estatístico, com o percentual das matérias-primas como fatores de entrada. A técnica de botão de espalhamento foi utilizada novamente para medir o desempenho dos vidrados. Nestas formulações não foi usado carbonato de cálcio e foram mantidos o bórax anidro e o óxido de zinco. A figura 3 mostra o aspecto das amostras obtidas pelo teste de botão de espalhamento.



Figura 3 – Aplicação em botão de espalhamento para as formulações utilizando cinza de casca de arroz calcinada.

Fonte: Autor 2012.

Como os vidrados formulados com as cinzas ainda apresentavam certo amarelecimento, uma nova série de formulações foi iniciada, adicionando-se às

matérias-primas utilizadas cinco e dez por cento de nitrato de sódio, cuja função foi reduzir o ponto de fusão do composto e eliminar o carbono ainda presente após a calcinação. A figura 4 mostra o aspecto das amostras obtidas pelo teste de botão de espalhamento. O percentual de nitrato de sódio utilizado foi sobre a massa total de cada prova, nos percentuais de 5% e 10% em massa.

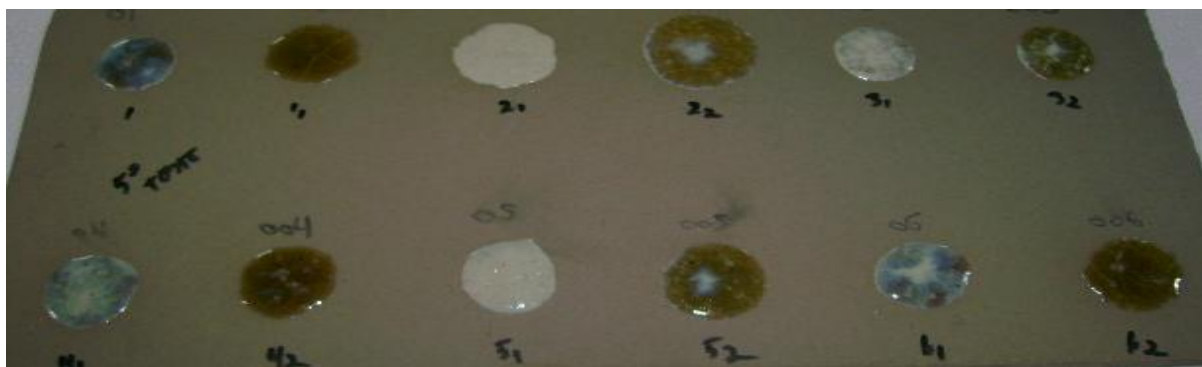


Figura 4 – Aplicação em botão de espalhamento para as formulações utilizando nitrato de sódio.

Fonte: Autor, 2012.

A partir dos melhores resultados obtidos para botão de espalhamento utilizando-se nitrato de sódio, foi decidida a utilização deste nas formulações, novamente por planejamento experimental de misturas, e a retirada do óxido de zinco, sendo efetuada uma nova série de formulações. A figura 5 mostra o aspecto das amostras obtidas pelo teste de botão de espalhamento para esta nova série de formulações.



Figura 5 – Aplicação em botão de espalhamento para as formulações utilizando nitrato de sódio e remoção de óxido de zinco.

Fonte: Autor, 2012.

Todos os testes anteriores foram queimados em forno a rolo de laboratório, com ciclos de queima de 120 minutos, com perfil de temperaturas de queima de 1140°C a 1144°C no aquecimento e 1203°C a 1208°C na zona de queima.

Finalmente, as amostras dos vidrados da última formulação foram analisadas por calorimetria quanto a sua luminosidade, dada pela coordenada L* (espectrofotômetro Byk-Grdner d8, geometria esférica, leitura de 400 a 700 nm, especular inclusa) quanto maior o valor de L*, mais clara a amostra.

4.Resultados e Discussões

O elemento mais comum presente na cinza da casca de arroz é a sílica, dentre outros elementos, tabela 1. Esta composição pode variar em função do solo que é plantado, do tipo propriamente dito de arroz plantado e dos tipos de fertilizantes utilizados. A tabela 1 apresenta também a análise química por FRX referente à amostra de cinza de casca de arroz submetida à etapa de tratamento térmico de calcinação em comparação com uma amostra sem tratamento. Pode-se verificar que o percentual de SiO₂ aumentou em relação à amostra não calcinada, chegando a 94,7%. Inversamente proporcional a este aumento está à diminuição da perda ao fogo, que passou de para 0,1%. A coloração desta cinza passou de preto para marrom claro e branco, conforme figura 2.

Tabela 1 – Composição química da cinza da casca de arroz e da cinza de eucalipto (% em massa).

<i>Elemento</i>	<i>SiO₂</i>	<i>Al₂O₃</i>	<i>Fe₂O₃</i>	<i>K₂O</i>	<i>Na₂O</i>	<i>MgO</i>	<i>CaO</i>	<i>MnO</i>	<i>TiO₂</i>	<i>P₂O₅</i>	<i>PF</i>
Casca de arroz	84,1	0,1	0,1	1,0	0,1	0,5	0,7	0,2	0,1	0,4	12,9
Casca de arroz calcinada	94,7	0,2	0,1	1,2	0,1	0,5	0,8	0,2	0,1	0,4	0,1
Eucalipto	37,4	9,5	2,6	6,3	1,4	4,5	25,1	0,9	0,4	2,5	5,3

Fonte: SENAI, 2012.

Na análise química da cinza de eucalipto, tabela 1, os resultados foram obtidos com dois lotes distintos, mas apenas um lote foi usado neste trabalho. Na cinza de eucalipto os elementos mais comuns são os óxidos de cálcio, potássio, alumínio, ferro, magnésio, além de percentual elevado de sílica, que pode variar dependendo do lote adquirido. Devido a sua composição conter materiais com ponto de fusão baixo, não foi possível calcinar a cinza de eucalipto, pois acima de 1000°C, a cinza sinteriza. A cinza de eucalipto quanto a cinza da casca de arroz foram passadas em malha # 325 mesh, (45 µm) e nenhuma partícula ficaram retidas nesta malha.

A partir da caracterização e preparação das cinzas, foram efetuados os primeiros testes utilizando planejamento experimental por misturas, tabela 2. Os percentuais das matérias-primas foram selecionados de forma a abranger os percentuais normalmente utilizados para formulação de vidrados crus. A tabela 2 mostra também os valores de espalhamento (em mm) para estas formulações. Nesta primeira etapa foram selecionados, além das cinzas, bórax anidro e óxido de zinco, o primeiro para reduzir a temperatura de fusão dos vidrados, pois o objetivo é a obtenção de vidrados crus para produtos rústicos, e o segundo para se obter vidrados mate, ampliando assim a gama de possibilidades. O carbonato de cálcio utilizado em testes iniciais foi eliminado por ser fonte de porosidade nas amostras.

Tabela 2 – Composições iniciais dos vidrados crus obtidas por planejamento experimental de misturas e resultados para botão de espalhamento.

Vidrado	CE (%)	CA (%)	BA (%)	OZ (%)	Espalham. (mm)
1A	40,0	30,0	10,0	20,0	8,46
2A	40,0	30,0	20,0	10,0	11,53
3A	40,0	40,0	10,0	10,0	8,46
4A	50,0	30,0	10,0	10,0	9,23
5A	40,0	30,0	15,0	15,0	10,77
6A	40,0	35,0	10,0	15,0	9,23
7A	40,0	35,0	15,0	10,0	5,38
8A	45,0	30,0	10,0	15,0	8,46
9A	45,0	30,0	15,0	10,0	9,23
10A	45,0	35,0	10,0	10,0	7,69
11A	40,0	33,3	13,3	13,3	10,0
12A	43,3	30,0	13,3	13,3	9,23
13A	43,3	33,3	10,0	13,3	9,23
14A	43,3	33,3	13,3	10,0	9,23

Onde: CA= cinza de casca de arroz; CE= cinza de eucalipto; BA= bórax anidro; OZ= óxido de zinco.

Fonte: Autor, 2012.

A partir dos resultados apresentados na tabela 2, foi calculada a análise de variância para o espalhamento dos vidrados crus, tabela 3. Para a análise do modelo mais

adequado (linear, quadrático ou cúbico), inicialmente deve-se verificar o fator F (de Fisher), que indica qual a maior fonte de variabilidade, ou seja, qual modelo é o mais significativo para todos os ensaios realizados nesse trabalho. O $F_{\text{experimental}}$ deve ser maior que o F_{tabelado} para que a hipótese (H_0) da variabilidade do modelo seja verdadeira, ou seja, maior será a significância para o modelo testado.

A análise de variância mostra significância estatística parcial para o espalhamento dos vidrados, dada pelo teste F, pois a confiabilidade dos resultados, dada pelo teste p, é baixa, apenas 64% para o modelo linear, tabela 3. A partir dos dados da análise de variância, os resultados para o espalhamento dos vidrados foram representados graficamente em função da composição das formulações dos vidrados crus, figura 6. A confiabilidade é obtida a partir do fator p, onde $\text{Conf.}=(1-p)\times 100$.

Tabela 3 – Análise de variância para o espalhamento (mm) das amostras após queima.

Fator	SQ	gL	MQ	F	P
Modelo linear	20,62271	9	2,291412	1,547575	0,356556
Erro	5,92259	4	1,480647		
Total ajustado	26,54529	13	2,041946		

Onde: SQ são as somas quadráticas; gL os graus de liberdade (diferença entre o número total de experimentos e o número de experimentos independentes); MQ as médias quadráticas; F e p são os testes de confiabilidade.

Fonte: Autor, 2012.

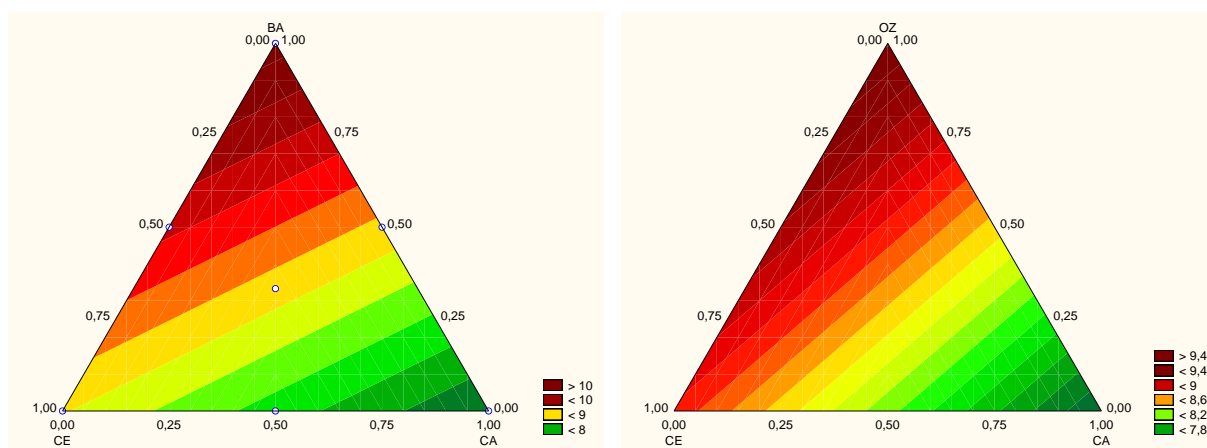


Figura 6 – Contornos para as superfícies de resposta para o espalhamento dos vidrados. CE= cinza de eucalipto; CA= cinza de casca de arroz; BA= bórax anidro; OZ= óxido de zinco.

Fonte: Autor, 2012.

Pelos gráficos de contorno das superfícies de resposta para o espalhamento dos vidrados crus, figura 6, pode-se perceber que a matéria-prima mais fundente, em função do maior espalhamento, é o bórax anidro, seguido da cinza de eucalipto. O bórax é formador de vidro e reduz a temperatura de fusão dos sistemas vítreos, dependendo da composição destes vidros. A composição química da cinza de eucalipto mostra a presença de 25% de CaO em sua composição, o que justifica este efeito. Em contrapartida, tanto a cinza de casca de arroz quanto o óxido de zinco diminuem o espalhamento, por serem materiais refratários. Porém, a composição de aproximadamente 50% de cada um destes, mais aproximadamente 10% de bórax resulta em um vidrado parcialmente fundente, com valores de espalhamento maiores, porém inferiores ao bórax, figura 6. O ajuste dos resultados observados é regular ($R^2=0,77$).

Como a cor dos vidrados desenvolvidos apresentou uma tonalidade muito amarelada e uma aparente cristalização em algumas amostras, novas formulações foram desenvolvidas, desta vez utilizando-se nitrato de sódio a 5%, tabela 4, e a 10%, tabela 6, sobre o intervalo de formulação padrão. O nitrato foi utilizado para reduzir a viscosidade do sistema e para reduzir a tonalidade amarelada. Nestas duas séries somente foram utilizados os vértices das matrizes experimentais, com objetivo de reduzir o número de experimentos.

Tabela 4 – Composições iniciais dos vidrados crus obtidas por planejamento experimental de misturas e resultados para botão de espalhamento.

Vidrado	CE (%)	CA (%)	BA (%)	OZ (%)	NS (%)	Espalham. (mm)
1B	40,0	30,0	10,0	20,0	5,0	9,23
2B	40,0	30,0	20,0	10,0	5,0	13,07
3B	40,0	40,0	10,0	10,0	5,0	7,69
4B	50,0	30,0	10,0	10,0	5,0	9,23
5B	40,0	35,0	15,0	10,0	5,0	10,00
6B	43,4	30,0	13,3	13,3	5,0	10,77

Onde: CA= cinza de casca de arroz; CE= cinza de eucalipto; BA= bórax anidro; OZ= óxido de zinco; NS= nitrato de sódio.

Fonte: Autor, 2012.

A análise de variância mostra grande significância estatística para o espalhamento dos vidrados, com confiabilidade dos resultados de 98% para o modelo linear, tabela 5. A partir dos dados da análise de variância, os resultados para o espalhamento dos vidrados foram representados graficamente em função da composição das formulações dos vidrados crus, figura 7.

Tabela 5 – Análise de variância para o espalhamento (mm) das amostras após queima.

Fator	SQ	gL	MQ	F	p
Modelo linear	16,36817	3	5,456055	63,62112	0,015515
Erro	0,17152	2	0,085759		
Total ajustado	16,53968	5	3,307937		

Fonte: Autor, 2012.

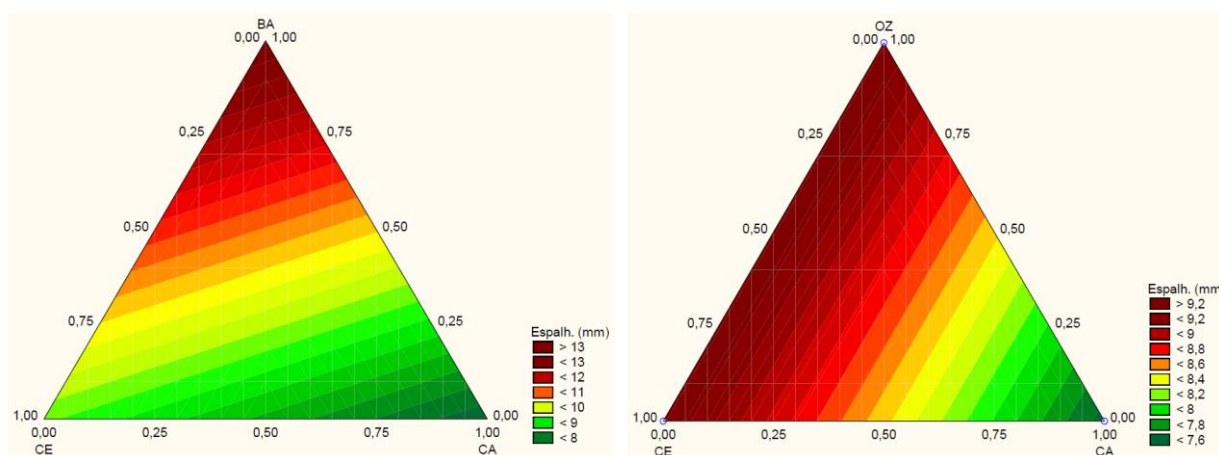


Figura 7 – Contornos para as superfícies de resposta para o espalhamento dos vidrados. CE= cinza de eucalipto; CA= cinza de casca de arroz; BA= bórax anidro; OZ= óxido de zinco.

Fonte: Autor, 2012.

Pelos gráficos de contorno das superfícies de resposta para o espalhamento dos vidrados crus, figura 7, novamente a matéria-prima mais fundente, em função do maior espalhamento, é o bórax anidro, seguido da cinza de eucalipto e do óxido de zinco. A cinza de casca de arroz diminui o espalhamento, por ser refratária. Em relação aos resultados anteriores, o óxido de zinco apresenta um pouco mais de espalhamento, talvez efeito do nitrato de sódio. O ajuste dos resultados observados é excelente ($R^2=0,99$).

A tabela 6 apresenta o planejamento experimental por misturas e os resultados de espalhamento para as formulações contendo 10% de nitrato de sódio sobre o intervalo de formulação padrão.

Tabela 6 – Composições iniciais dos vidrados crus obtidas por planejamento experimental estatístico e resultados para botão de espalhamento.

Vidrado	CE (%)	CA (%)	BA (%)	OZ (%)	NS	Espalham. (mm)
1C	40,0	30,0	10,0	20,0	10,0	11,53
2C	40,0	30,0	20,0	10,0	10,0	16,92
3C	40,0	40,0	10,0	10,0	10,0	8,46
4C	50,0	30,0	10,0	10,0	10,0	10,00
5C	40,0	35,0	15,0	10,0	10,0	10,00
6C	43,4	30,0	13,3	13,3	10,0	10,77

Onde: CA= cinza de casca de arroz; CE= cinza de eucalipto; BA= bórax anidro; OZ= óxido de zinco; NS= nitrato de sódio.

Fonte: Autor, 2012.

A análise de variância mostra menor significância estatística para o espalhamento dos vidrados, com confiabilidade dos resultados de 77% para o modelo linear, tabela 7. A partir dos dados da análise de variância, os resultados para o espalhamento dos vidrados foram representados graficamente em função da composição das formulações dos vidrados crus, figura 8.

Tabela 7 – Análise de variância para o espalhamento (mm) das amostras após queima.

Fator	SQ	gL	MQ	F	p
Modelo linear	36,28122	3	12,09374	3,416225	0,234636
Erro	7,08018	2	3,54009		
Total ajustado	43,36140	5	8,67228		

Fonte: Autor, 2012.

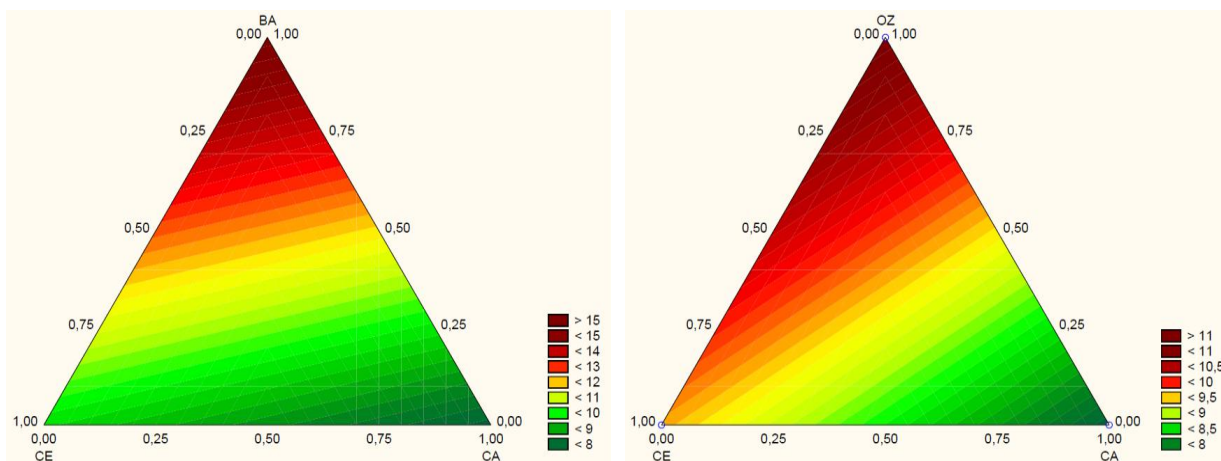


Figura 8 – Contornos para as superfícies de resposta para o espalhamento dos vidrados. CE= cinza de eucalipto; CA= cinza de casca de arroz; BA= bórax anidro; OZ= óxido de zinco.

Fonte: Autor, 2012.

Os gráficos de contorno das superfícies de resposta para o espalhamento dos vidrados crus, figura 8, mostram claramente o efeito do nitrato de sódio na fusibilidade dos vidrados crus. Ocorre o mesmo efeito observado para os vidrados crus compostos com 5% de nitrato de sódio, porém os 10% utilizados mostram maior efeito, dado pelo maior espalhamento obtido. O ajuste dos resultados observados é bom ($R^2=0,84$).

A partir dos resultados obtidos com o uso de nitrato de sódio, optou-se pela eliminação do óxido de zinco e uma nova série de formulações foi iniciada, utilizando-se o nitrato de sódio entre 5% e 10% nas composições, tabela 8. A tabela 8 mostra as composições formuladas utilizando-se planejamento de misturas e os resultados de espalhamento e de colorimetria. Para esta última série, além dos vértices, foram incluídos pontos centrais na matriz experimental.

Tabela 8 – Composições iniciais dos vidrados crus obtidas por planejamento experimental estatístico e resultados para botão de espalhamento.

Vidrado	CE (%)	CA (%)	BA (%)	NS (%)	Espalham. (mm)	L* (Judd)
1D	50,0	30,0	10,0	10,0	10,77	47,20
2D	45,0	30,0	20,0	5,0	11,53	68,62
3D	40,0	30,0	20,0	10,0	15,38	72,32
4D	45,0	40,0	10,0	5,0	9,23	67,27

Tabela 8 – sequencia - Composições iniciais dos vidrados crus obtidas por planejamento experimental estatístico e resultados para botão de espalhamento.

Vidrado	CE (%)	CA (%)	BA (%)	NS (%)	Espalham. (mm)	L* (Judd)
5D	40,0	40,0	10,0	10,0	9,23	54,21
6D	40,0	35,0	20,0	5,0	10,77	66,99
7D	40,0	40,0	15,0	5,0	8,45	60,23
8D	50,0	30,0	15,0	5,0	10,77	67,42
9D	50,0	35,0	10,0	5,0	10,00	66,63
10D	44,5	34,4	14,4	6,7	10,77	72,83

Onde: CA= cinza de casca de arroz; CE= cinza de eucalipto; BA= bórax anidro; NS= nitrato de sódio.

Fonte: Autor, 2012.

A análise de variância, tabela 9, mostra grande significância estatística para o modelo linear em relação ao espalhamento dos vidrados, com alta confiabilidade dos resultados, 98%. Os resultados para o espalhamento dos vidrados foram representados graficamente em função da composição das formulações dos vidrados crus, figura 9.

Tabela 9 – Análise de variância para o espalhamento (mm) das amostras após queima.

Fator	SQ	gL	MQ	F	p
Modelo linear	25,58521	3	8,528402	7,41709	0,019208
Modelo quadrático	6,79498	5	1,358995	13,06517	0,206885
Erro	0,10402	1	0,104017		
Total ajustado	32,48420	9	3,609356		

Fonte: Autor, 2012.

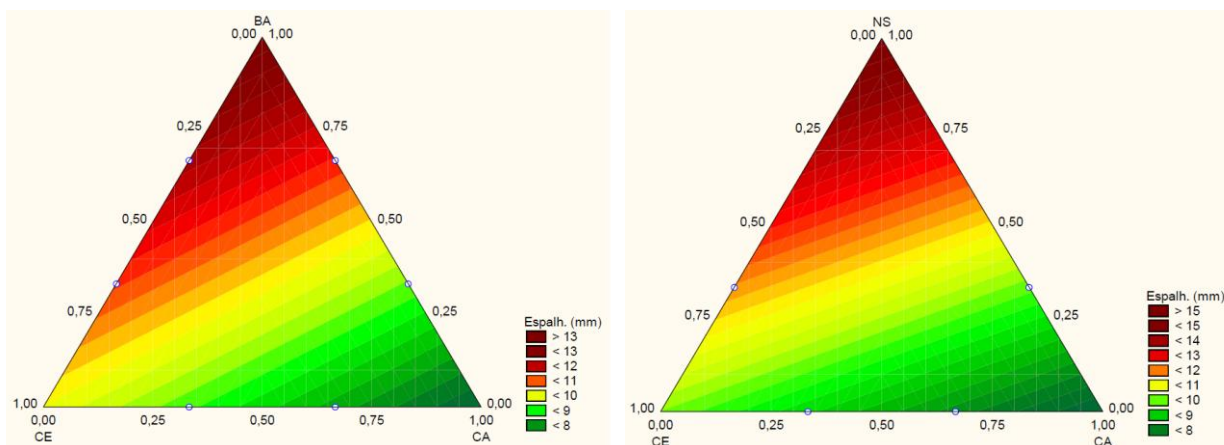


Figura 9 – Contornos para as superfícies de resposta para o espalhamento dos vidrados. CE= cinza de eucalipto; CA= cinza de casca de arroz; BA= bórax anidro; OZ= óxido de zinco.

Fonte: Autor, 2012.

Pelos gráficos de contorno das superfícies de resposta para o espalhamento dos vidrados crus, figura 9, é muito evidente o efeito do nitrato de sódio na redução da temperatura de fusão dos vidrados crus, dada pela medição do espalhamento dos vidrados. Novamente a cinza de casca de arroz mostra-se como a matéria-prima mais refratária, sendo o bórax anidro o segundo material mais fundente. O ajuste dos resultados observados é regular para o modelo linear ($R^2=0,79$).

Finalmente, a tabela 10 mostra a análise de variância para a luminosidade das amostras, medida pela luminosidade L^* dos vidrados crus. A luminosidade mostra significância estatística parcial tanto para o modelo linear como para o modelo quadrático, com confiabilidade intermediária dos resultados, em torno de 75%, tabela 10. Os resultados para a luminosidade dos vidrados são representados graficamente em função da composição das formulações dos vidrados crus, figura 10.

Tabela 10 – Análise de variância para a luminosidade (Judd) das amostras após queima.

Fator	SQ	gL	MQ	F	p
Modelo linear	275,6999	3	91,89995	1,712447	0,263076
Modelo quadrático	315,5886	5	63,11771	9,851878	0,237089
Erro	6,4067	1	6,40667		
Total ajustado	597,6951	9	66,41057		

Fonte: Autor, 2012.

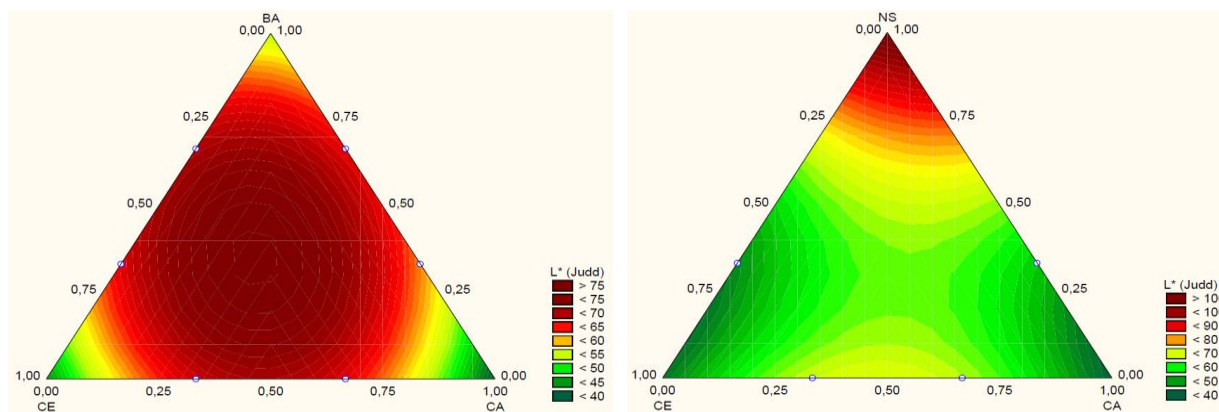


Figura 10 – Contornos para as superfícies de resposta para a luminosidade dos vidrados. CE= cinza de eucalipto; CA= cinza de casca de arroz; BA= bórax anidro; OZ= óxido de zinco.

Fonte: Autor, 2012.

Pelos gráficos de contorno das superfícies de resposta para a luminosidade dos vidrados crus, figura 10, é muito evidente o efeito do nitrato de sódio no aumento da luminosidade dos vidrados crus, dada pela medição da coordenada L^* . Ambas as cinzas tendem a diminuir a luminosidade, devido à contaminação das mesmas. O ajuste dos resultados observados é excelente para o modelo quadrático ($R^2=0,99$).

O uso de outros componentes nas formulações, dos vidrados, o que aumenta o custo a este produto, o valor final é viável, pois as matérias-primas majoritárias para formulação deste composto seriam as cinza de eucalipto e arroz, com percentual que varia de 80 a 90% de massa total, restando apenas entre 10 a 20% em massa para os demais componentes. Analisando-se que o custo médio dos demais componentes acessórios – bórax anidro e nitrato de sódio – esta em torno de R\$3,50 o kg, pode-se concluir que para cada 1000kg de composto o custo aproximado seria de R\$350,00 e R\$700,00, na formulação inicial.

5. Considerações Finais

A partir dos resultados apresentados neste trabalho, pode-se concluir que é possível obter a partir da cinza da casca de arroz e eucalipto um composto de vidro cru, utilizando um procedimento experimental que envolve etapas de moagem, tratamento térmico, formulação e queima. Além das cinzas serem um recurso renovável, o uso destes resíduos industriais nocivos normalmente é desprezado. Os resíduos industriais hoje produzidos não podem mais ser definidos como lixo, são

substâncias residuais suscetíveis de serem utilizadas como matéria-prima ou como fonte de energia. Deve-se ter a consciência crítica de que não há resíduo que não possa ser reciclado se houver incentivo suficiente. Com relação aos primeiros testes deste trabalho pode-se afirmar que a cinza da casca de arroz é o componente mais refratário do sistema, e a de eucalipto apresenta característica fundente, porém, é necessário o uso de componentes fundentes como bórax anidro e nitrato de sódio para obter os vidrados crus. Finalmente o nitrato de sódio gera os vidrados crus mais claros.

Referências Bibliográficas

ABCERAM, Informação técnica Processos de Fabricação; disponível em: <http://www.abceram.org.br/site/?area=4&submenu=50>. acesso:18 jun 2012.

DAROLT.D. R.; FENILI C.; NASCIMENTO C. G.; MONDARDO C. J. Estudo do Efeito do Tempo no Rendimento da Moagem Via Seca. Engenharia de materiais, Universidade do extremo Sul Catarinense. Cerâmica industrial, 31-33, maio/junho 2010.

DELLA, V.P.; KÜHN, I.; HOTZA, D. Reciclagem de Resíduos Agro-Industriais: Cinza de Casca de Arroz como Fonte Alternativa de Sílica. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. Cerâmica industrial, 22- 25; março/abril 2005.

FONSECA, M. R. G. Isolantes térmicos a partir de cinza de casca de arroz: obtenção, caracterização de propriedades e sua relação com a microestrutura. 1999. 112 f.. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

KISS, J. Eucalipto ganha força como fonte de geração de energia. Disponível em: <https://conteudoclipingmp.planejamento.gov.br/cadastros/noticias>. Acesso em: 07 jun. 2012.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portal do Reflorestamento; Disponível em: <http://www.portaldoreflorestamento.com.br>. Acesso em: 07 jun. 2012

SENAI SC - centro de tecnologia em materiais. Laboratório de Desenvolvimento e caracterização de Materiais, LCDM. Criciúma, jun. 2012.