

Estudo da Influência da Granulometria e da Carga Mineral em Resina Epóxi Utilizada em Fachada Ventilada

Andreza Nunes Bittencourt^{a*}, Hermes Mariot^b, Aline Ribeiro^b, Débora De Pellegrin Campos^a,
Carolina Resmini Melo Marques^a, Aline Resmini Melo^a

^a Engenharia Química, Faculdade SATC, Criciúma, SC, Brasil

^b Empresa Eliane Revestimentos Cerâmicos, Cocal do Sul, SC, Brasil

*e-mail: deza_bitty@hotmail.com

Resumo

A indústria cerâmica vem evoluindo com o passar dos anos desenvolvendo novos produtos, novas técnicas de produção e aplicações de revestimentos. As fachadas ventiladas são um exemplo de aplicação de revestimentos cerâmicos que tem um papel de extrema importância nos edifícios, além da estética também garantem conforto térmico ao interior da edificação. As resinas são utilizadas em fachadas ventiladas com o propósito de evitar o destacamento das placas em caso de ruptura da peça, para que as mesmas não caiam da fachada. As cargas minerais estão sendo cada vez mais utilizadas em compósitos a fim de agregar propriedades físico-químicas e reduzir custos de produção. No artigo em questão foram testadas duas cargas minerais sendo essas quartzo e dolomita, nas malhas #80, #200 e #325 para quartzo e #100, #200 e #325 para dolomita, em três quantidades de carga minerais diferentes. Os ensaios realizados em laboratório foram: adesividade conforme a norma D4541, viscosidade e sedimentação. Industrialmente avaliou-se a aplicabilidade, resistência ao impacto pela norma NBR 15575 antes e depois da deterioração da resina a alta temperatura e pressão. Os ensaios laboratoriais determinaram o quartzo #200 em maior proporção como sendo a melhor composição, logo realizando os testes industriais os resultados foram comprovados. A fórmula obtida resultou em uma redução de R\$ 615,60 para cada 1000 m² de fachada ventilada produzida.

Palavras-chave: resina, carga mineral, adesividade, fachada ventilada.

1. Introdução

O uso de revestimentos cerâmicos para sistema de fachada ventilada vem ganhando notoriedade nos últimos anos devido ao seu acabamento final, cores, texturas, qualidade, por possuírem excelente resistência a intempéries, fácil limpeza, economia de energia e conforto térmico.

As resinas epóxi são comumente utilizadas em fachadas ventiladas com o propósito de colagem de uma tela de fibra de vidro no substrato cerâmico para conferir ao sistema segurança, prevenindo eventuais desprendimentos de fragmentos em caso de fratura da peça.

A principal característica da resina se tratando de fachadas ventiladas é a sua capacidade de fixar a tela de fibra de vidro a um substrato cerâmico. Na atualidade existem muitos estudos que comprovam a otimização da adição de cargas minerais em polímeros com a finalidade de reduzir custos e principalmente por agregar propriedades físicas e químicas em resinas. Porém não existem muitos estudos referentes a granulometria dessas cargas minerais, ou até que ponto a granulometria da carga mineral pode influenciar nas características adquiridas e na aplicação. A utilização de cargas minerais vem de encontro com a

situação do mercado atual, em obter melhores características nos produtos e em contrapartida reduzir custos.

Devido a isso, este trabalho teve por objetivo avaliar a influência do tipo de carga mineral (dolomita e quartzo), granulometria e a quantidade ideal que apresente melhores resultados perante as características físicas de adesividade, sedimentação e viscosidade. Realizou-se também provas em escala industrial para validar os resultados obtidos em laboratório.

2. Revisão Bibliográfica

Neste capítulo são descritas as inovações a respeito de fachadas ventiladas e sua aceitação no mercado. Está descrito também o substrato que foi utilizado no estudo e algumas características das resinas quando combinadas com cargas minerais. É abordado também as cargas minerais que foram utilizadas (dolomita e quartzo) e o comportamento de suas propriedades físicas e químicas quando combinadas com resina epóxi. Além da importância da granulometria da carga mineral que é o objetivo principal de estudo.

2.1. Fachadas ventiladas

Nos mais diversos ramos da engenharia civil, houve uma grande evolução tecnológica dos sistemas construtivos devido a necessidade de aperfeiçoamentos, segurança, agilidade e modernização da construção [1].

A indústria cerâmica tem evoluído constantemente no desenvolvimento de novos produtos, tornando-se necessário buscar técnicas alternativas de aplicação. Essas técnicas de aplicação, associadas ao revestimento cerâmico, podem resultar em melhoras significativas no desempenho dos sistemas e oferecer novas oportunidades, que resultam em qualidade nas construções [2].

Segundo a norma NBR 13755 [3], o revestimento externo de forma geral tem como função proteger a edificação da ação de chuva, umidade, agentes atmosféricos, desgaste mecânico oriundo da ação conjunta do vento e partículas sólidas, bem como dar acabamento estético.

As fachadas são um elemento fundamental para a valorização de uma edificação. Algumas de suas funções são: conservação das condições ambientais internas como a apresentação do imóvel (estética), maior agilidade no prazo de execução da obra, maior segurança referente ao destacamento das placas,

melhor desempenho do conforto térmico, redução dos problemas de infiltrações de água, quando comparado com o sistema tradicional [1,2,4].

Segundo Caus [1] e Oliveira [5], as fachadas ventiladas, em termos práticos, reduzem o fluxo de calor do ambiente interno da edificação para o ambiente externo, e vice e versa, podem reduzir a quantidade de calor que os edifícios absorvem em condições de tempo quentes, devido à reflexão parcial da radiação solar e a abertura de ar pela ventilação, já o isolamento térmico em vedações externas é composto por sistemas de multicamadas com ventilação entre as camadas conforme Figura 1 (A).

As fachadas ventiladas podem ser definidas como um sistema formado por placas ou painéis como por exemplo (Porcelanato Técnico ou esmaltado, Crystalato, Laminum entre outros) conforme Figura 1 (B, C e D respectivamente), esses são fixados externamente à base suporte do edifício através de fixadores metálicos ou por uma subestrutura auxiliar metálica, constituindo-se na vedação vertical exterior de uma edificação. Essa estrutura é dimensionada de tal forma que permite a remoção do ar aquecido no interior da câmara pelo chamado efeito chaminé [1,2,5].



Figura 1. Exemplos de fachada ventilada. Fonte: [6].

Apesar da tecnologia de fachada ventilada apresentar diversas vantagens físicas e estéticas é importante ressaltar algumas considerações para aplicação no mercado brasileiro. Além dos custos superiores quando comparado com o sistema de assentamento convencional, um dos pontos mais críticos é a ausência de normas técnicas específicas para projeto e avaliação do desempenho técnico das fachadas ventiladas. Dessa forma, a otimização do processo de fabricação e instalação da tecnologia fachada ventilada é dificultada. Atualmente a norma que é utilizada para esta tecnologia refere-se ao desempenho estrutural de edificações habitacionais de forma genérica (NBR 15575) [2,7].

Se tratando de fachadas ventiladas o conjunto tela de fibra de vidro, resina e placa cerâmica (no caso do estudo porcelanato técnico) trata-se de um compósito. A fibra de vidro é aderida a parte posterior da peça através de uma resina epóxi. A finalidade é garantir a segurança do material após a instalação do substrato cerâmico para conferir ao sistema segurança, prevenindo eventuais desprendimentos de fragmentos cerâmicos da fachada do prédio em caso de fratura da peça [7].

As fibras podem ser bem definidas pelo conjunto de filamentos individuais, formados por fibrilas e unidas por espécies químicas orgânicas não cristalinas. As substâncias que compõem o estado vítreo são sílica (SiO_2) e os silicatos, óxido bórico (B_2O_3) e os boratos, pentóxido de fósforo (P_2O_5) e os fosfatos. Devido ao baixo custo, as fibras de vidro tornam-se atrativas para aplicações com finalidade estrutural, em comparação as outras fibras sintéticas (aramida, carbono, polietileno entre outras) [7,8].

As fibras de vidro, principalmente as em forma de tecido, apresentam bom comportamento quando combinadas com resina epóxi e peça cerâmica. A polaridade da resina serve para criar forças de interação entre a molécula epóxi e a superfície adjacente a ela, otimizando o seu uso como adesivo em compósitos minimizando problemas relativos à resina/reforço [8].

2.2. Porcelanato técnico

No sistema físico da fachada ventilada, podem ser empregados diferentes materiais de revestimento, tais como placas cerâmicas e placas de pedra natural, normalmente em grandes formatos [9].

Segundo Campos [2], os principais elementos que constituem a fachada ventilada são:

- O revestimento, que tem função visual, estética e de proteção da parede do edifício;
- A câmara de ar, que permite a ventilação natural da parede;
- A subestrutura auxiliar e a base suporte, onde é aplicado o revestimento, geralmente de metal. Esse sistema tem como função dar estabilidade ao conjunto. Através desta estrutura que se consegue o afastamento necessário para criar a câmara de ar;
- A capa isolante, quando existir, que é colocada na parede do edifício para garantir a estabilidade térmica.

Os materiais da fachada ventilada apresentam um maior impacto ambiental quando comparados ao de fachada convencional, devido a utilização de perfis de alumínio. O ganho em termos de eficiência energética que se obtém ao longo da vida útil do edifício, compensa amplamente esta diferença.

Se tratando de revestimentos cerâmicos utilizados em fachadas o estudo em questão abordará o porcelanato técnico. De forma geral os revestimentos cerâmicos podem ser classificados em função de seu acabamento superficial em esmaltados ou não esmaltados; pelo modo de conformação, em prensados, extrudados ou fabricados por outras técnicas; e ainda pelo grupo de absorção de água [2]. A norma NBR 15463 [10], é a norma brasileira específica para porcelanato. Destaca-se nesta norma a definição do produto porcelanato a partir do parâmetro absorção de água.

- Porcelanato técnico: placa cerâmica não esmaltada para revestimento que apresenta absorção de água menor ou igual a 0,1%;
- Porcelanato esmaltado: placa cerâmica esmaltada para revestimento que apresenta absorção de água menor ou igual a 0,5% [11].

Se tratando do porcelanato técnico a conformação é por prensagem uniaxial entre 35 a 50 MPa do pó, com um teor de umidade em torno de 6%. E a etapa de queima acontece com um ciclo entre 35 a 60 minutos, em uma temperatura máxima entre 1175 °C e 1220 °C, para alcançar a máxima densificação do material alcançando a absorção de água definida pela norma [7].

2.3. Resinas epóxi e suas características

As resinas epóxi foram introduzidas no mercado após a Segunda Guerra Mundial e podem ser consideradas como um avanço tecnológico sobre as resinas fenólicas e poliéster. São caracterizadas pela presença de pelo menos dois anéis de três membros conhecidos como epóxi, epóxido, oxirano ou etano epóxi. As resinas epóxi são convertidas em polímeros termorrígidos por um processo chamado reação de cura pela ação de endurecedores (agentes de cura). A reação de cura pode ser realizada tanto à temperatura ambiente como à altas temperaturas, dependendo dos produtos iniciais utilizados no processo ou das propriedades desejadas do produto final. As resinas epóxi mais comuns são produtos de uma reação entre epíclorohidrina e bisfenol-a com as fórmulas mostradas nas Figura 2 e Figura 3, respectivamente [12,13].

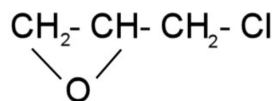


Figura 2. Fórmula química da epíclorohidrina. Fonte: [12].

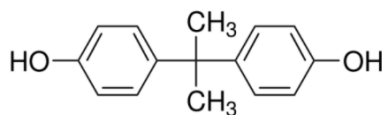


Figura 3. Fórmula química da bisfenol A. Fonte: [12].

A macromolécula de epóxi contém anéis oxirânicos na sua extremidade, sendo no mínimo um polímero bifuncional. Além disso, contém estruturas aromáticas e hidróxidos alifáticos que conferem uma alta polaridade à resina, e com a presença de grupos éter servem para criar ligações polares entre a resina e a superfície a ser aderida [14].

A resina epóxi líquida possui baixa viscosidade e rapidamente se converte à fase termo fixa pela mistura de agentes de cura apropriados. Estas resinas possuem uma combinação das seguintes propriedades: baixa viscosidade da resina e de seu endurecedor (fácil manuseio); podem ser curadas rapidamente na faixa entre 5 a 150 °C, dependendo do agente utilizado; baixa contração durante a cura (aproximadamente 3%), as resinas epóxi curadas, dependendo do agente de cura, possuem boa resistência a ácidos e reagentes cáusticos e versatilidade [8].

Cerca de 90% da resina epóxi comercial é preparada a partir da reação do bisfenol – A (2, 2 – di (4' – hidroxifenil) propano) e epícloridrina (1-cloro-2,3-epóxi propano). Essa reação produz a resina diglicidil éter de bisfenol – A (DGEBA) conforme Figura 4 [12].

Estas resinas têm uma série de vantagens quando utilizadas como matrizes de compósitos se comparadas a outras matrizes poliméricas, pode-se citar as excelentes propriedades mecânicas associadas com as fibras de reforço, a boa impregnação destes materiais, estabilidade dimensional, excelente aderência a uma vasta quantidade de substratos, a baixa contração na cura, ao bom comportamento térmico, a resistência à abrasão, além de apresentarem excelente resistência química a bases e solventes orgânicos (com exceção das cetonas) [13].

Devido a estas características as resinas epóxi têm um vasto campo de aplicabilidade, tais como: adesivos; soldas e material para vedação de barcos de metal, plásticos e automóveis; tintas anticorrosivas, pintura em pó também usam epóxi como base; material de fundição para moldes e protótipos; em equipamentos elétricos e eletrônicos onde seja necessária a impregnação com resinas; argamassa quimicamente resistente em aplicações dentária, cirúrgica e protética [15].

As resinas epóxi transformam-se em um sólido termorrígido tendo como ponto de partida o estado líquido, logo a viscosidade é um parâmetro de particular importância em resinas líquidas, pois sendo função da temperatura, determina os parâmetros de processo. No estudo será abordado algumas propriedades da resina como viscosidade, sedimentação e comportamento perante a temperatura (aplicabilidade) [12].

Os polímeros (resinas), quando puros, apresentam propriedades que muitas vezes não atendem às especificações técnicas que as peças finais fabricadas a partir deles

devem ter, por isso surge a necessidade da utilização de cargas minerais.

2.3.1. Utilização de cargas minerais

Segundo Lima [16] em compósitos com polímeros, as cargas minerais são usadas devido a várias razões: redução de custo, melhorar o processamento, controle de densidade, efeitos óticos, controle da expansão térmica, retardamento de chama, modificações no que se refere às propriedades de condutividade térmica, resistência elétrica e, além de melhora de propriedades mecânicas, tais como a dureza e a resistência ao rasgo.

Porém vale salientar que não é qualquer carga mineral que, misturada com determinado polímero, fará com que o compósito apresente as características físicas e químicas desejadas. As interações entre as cargas minerais e os polímeros são dificultadas pelo fato de que as cargas minerais apresentam superfícies polares aliadas a elevados valores de áreas de superfície específica, ao passo que os polímeros geralmente apresentam superfícies apolares. A composição química e especialmente a pureza da carga têm um efeito direto e indireto nas possibilidades de aplicação e de desempenho da carga [16,17].

Os principais tipos de cargas minerais são os carbonatos, silicatos, sulfatos e óxidos. A maioria desses minerais, ou rochas, são encontrados na natureza, tais como o calcário (calcita, dolomita), o filito, a mica (muscovita, flogopita, biotita), sílica (quartzo, zeólita), talco, pirofilita (agalmatolito), gesso, barita, wolastonita, esmectita (bentonita, montmorilonita, hectorita, saponita) e ilita. São obtidas através da moagem de rochas ou por precipitação química e, após processadas, são refinadas e separadas por granulometria [16,18].

Apesar de qualquer material finamente dividido ou fibroso e estável nas condições de processamento dos polímeros possa ser utilizado como carga, são poucos os tipos empregados comercialmente. Várias propriedades dos minerais são relevantes para utilização como cargas minerais; dentre elas destacam-se: composição química do mineral, tamanho das partículas, assim como sua distribuição granulométrica, estrutura cristalina, clivagem e a dureza do mineral, densidade dos minerais, brilho e cor da carga mineral [16,19].

As propriedades de uma interface entre duas fases colocadas em contato serão afetadas pelas características físicas e químicas de cada uma das fases envolvidas. As propriedades físico-químicas de superfície, neste caso, dizem respeito a como a composição química, estrutura cristalina/molecular, ligações químicas e tensão superficial de cada fase (carga mineral e polímero) afetam o tipo

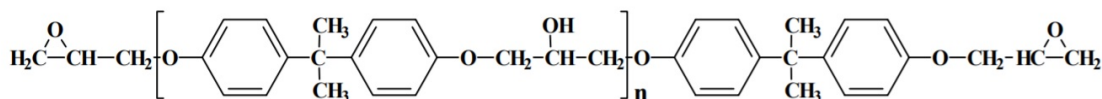


Figura 4. Resina epóxi a base de bisfenol A. Fonte: [12].

de interação superficial que podem se estabelecer entre estas (ligação química covalente, iônica, por pontes de hidrogênio, por forças de van der Waals, etc.) [16].

O carbonato de cálcio representa a mais importante e abundante de todas as rochas sedimentares utilizadas comercialmente como carga mineral. Sua ampla disponibilidade, a combinação de vários depósitos naturais desse material, a facilidade de processamento para tamanhos específicos de partículas, a compatibilidade com uma ampla gama de tipos de polímeros e sua adequação para uma ampla gama de aplicações contribuem para sua utilização. O carbonato de cálcio (CaCO_3) quando combinado com carbonato de magnésio (MgCO_3) forma a dolomita que juntamente com a resina epóxi agrega propriedades físicas e químicas ao produto final, como por exemplo, reduzindo os custos, melhorando a resistência térmica e ao impacto [19].

Segundo Seerig [18], o quartzo é uma forma cristalina da sílica natural, a qual possui a fórmula química SiO_2 . É um composto quimicamente inerte, extraído de jazidas e beneficiado em diversas faixas granulométricas de acordo com a aplicação desejada. Apresenta-se na forma cristalina hexagonal. Em sua aplicação tem a finalidade de aumentar a resistência à abrasão, aumentar o coeficiente de atrito e dar textura, dessa forma, pode ser utilizado na fabricação de tintas, polímeros e cerâmica. Existem outras formas de sílica, fabricadas artificialmente sob o nome de sílica-gel. O uso de esferas de vidro em compósitos melhora a estabilidade dimensional.

2.4. Granulometria da carga mineral

Geralmente a granulometria das cargas minerais utilizadas em compósitos com polímeros está entre $0,01\ \mu\text{m}$ e $45\ \mu\text{m}$, e podem ser encontradas em diversas formas, incluindo esféricas, aciculares, lamelares e cúbicas. Sendo que à medida que a granulometria se torna mais fina, a área de superfície específica da carga mineral aumenta exponencialmente. A caracterização da distribuição granulométrica é importante para se avaliar as relações percentuais de tamanhos de partículas [16,18].

O conhecimento da distribuição granulométrica das partículas é de extrema importância, pois partículas maiores aumentam a resistência a abrasão, mas por outro lado tem efeitos adversos na deformabilidade e falha do material. De um modo geral a resistência mecânica e, em

alguns casos, o módulo de elasticidade aumentam, sendo que a deformabilidade e a tenacidade diminuem com a redução do tamanho de partícula. A concentração de tensões no compósito aumenta com o aumento do tamanho da carga. A fração fina da distribuição granulométrica é igualmente importante, já que a tendência à aglomeração da carga aumenta com a redução do tamanho de partícula. Esta possível aglomeração, que se tornam sítios de iniciação de trincas, pode reduzir a rigidez e, principalmente, a tenacidade [17].

3. Procedimentos Experimentais

Com o propósito de definir qual carga mineral apresenta melhor comportamento quando misturada com a resina epóxi foram coletadas amostras das duas matérias-primas determinadas para o estudo (dolomita e quartzo) nas granulometrias definidas e pesou-se as formulações conforme citadas na Tabela 1 para quartzo e Tabela 2 para dolomita.

Com as amostras devidamente agitadas, as mesmas foram submetidas aos ensaios de caracterização física: viscosidade com o equipamento BrookField, sedimentação por proveta e adesividade.

O ensaio de adesividade pela norma ASTM D4541 consiste em fixar em uma peça de ensaio (porcelanato técnico) a dolly e o pino (conforme Figura 5) sobre a superfície do revestimento com um adesivo (resina) e a tela (fibra de vidro). Após a cura de 72 horas, o dispositivo de tração do aparelho foi conectado a peça de ensaio e alinhado



Figura 5. Dolly e pino sobre a placa cerâmica.

Tabela 1. Formulações com a carga mineral quartzo.

Testes	Granulometria (#)	Resina (g)	Quartzo (g)	Endurecedor (g)
A	80	42,30	42,30	15,40
B		42,30	48,65	15,40
C		42,30	54,99	15,40
D	200	42,30	42,30	15,40
E		42,30	48,65	15,40
F		42,30	54,99	15,40
G	325	42,30	42,30	15,40
H		42,30	48,65	15,40
I		42,30	54,99	15,40

Tabela 2. Formulações com a carga mineral dolomita.

Testes	Granulometria (#)	Resina (g)	Dolomita (g)	Endurecedor (g)
J	100	42,30	42,30	15,40
K		42,30	48,65	15,40
L		42,30	54,99	15,40
M	200	42,30	42,30	15,40
N		42,30	48,65	15,40
O		42,30	54,99	15,40
P	325	42,30	42,30	15,40
Q		42,30	48,65	15,40
R		42,30	54,99	15,40

para aplicar tensão perpendicularmente à superfície sob ensaio. A força aplicada foi gradativamente aumentada e monitorada até que uma placa de material se desprenda. A resistência ao arrancamento foi calculada com base na carga máxima indicada pelo dispositivo.

Posteriormente ao finalizar os testes de adesividade foi realizada a análise visual das peças, a fim de verificar as falhas de arrancamento: falha de interface na Dolly, falha coesiva de adesividade, falha interfacial de substrato e falha de substrato considerada a ideal.

A viscosidade foi realizada nas mesmas condições ambientes para o quartzo e a dolomita, com uma temperatura de 25°C, e rotação de 4 rpm. Pesou-se aproximadamente 200 g de cada prova de (A à R) em copos de acrílico, agitou-se manualmente até obter uma mistura uniforme, e posteriormente foi realizado o ensaio de viscosidade no equipamento BrookField utilizando a hélice (spin 4).

Após a viscosidade, as amostras foram colocadas em provetas de 100 ml, durante aproximadamente 15 dias, a fim de observar a decantação da resina epóxi, ou seja, a separação das fases da mistura.

Os testes de adesividade e viscosidade foram comparados com a resina padrão, ou seja, isenta de cargas minerais em sua composição.

Finalizando os testes em laboratório e definindo as melhores formulações iniciou-se os ensaios em escala industrial.

A resina foi aplicada por rolo sobre a peça cerâmica 60x120 cm e posteriormente colocou-se a tela sobre a resina e a peça.

Após a cura total da resina de aproximadamente 72 horas, as peças passaram por um processo de furação onde foram feitos furos nas laterais para posterior fixação no painel de realização do ensaio de resistência ao impacto de corpo duro (pela norma NBR 15575).

As amostras também foram submetidas à autoclave onde simulou-se as intemperes de forma acelerada com as condições de 5 atm por 2h a aproximadamente 120 °C, onde verificou-se a deterioração da resina, avaliando no ensaio de resistência ao impacto o desempenho da resina após ser exposta as condições extremas.

4. Resultados e Discussões

Realizando os ensaios em escala laboratorial obteve-se os resultados de adesividade, viscosidade e sedimentação.

Em relação ao teste de adesividade realizado com o quartzo e a dolomita tem-se os resultados apresentados na Figura 6.

Conforme a Figura 6 nota-se que a adição de cargas minerais vem a agregar propriedades quando se tratando de adesividade elevando sua resistência ao arrancamento da dolly. Comparando com a resina pura as duas cargas minerais apresentam resultados satisfatórios de forma geral em quase todas as malhas.

Verificando as duas matérias-primas observa-se que o quartzo obteve valores mais elevados na maioria das malhas. Na malha 200 o quartzo apresentou excelentes resultados, todos acima da dolomita nessa mesma malha e também superiores ao valor padrão de 3,37 Mpa. Na malha 325 ambas as cargas apresentam valores elevados conforme a teoria confirmando que quanto menor a granulometria maior a área de contato entre as partículas carga e resina.

A malha 325 nas provas G (quartzo) considerada em proporção meio a meio obteve o valor mais alto de adesividade sendo esse de 4,64, após os valores de adesividade decaem, com o aumento do percentual, demonstrando que nessa malha, não é o ideal aplicar uma proporção elevada de carga, pois a mesma passa a perder seu desempenho. No ensaio de adesividade outro fator importante a se considerar para avaliação é análise visual, ou seja, como o conjunto “substrato, tela e resina” se comportaram durante o arrancamento. Essa análise é feita conforme os parâmetros da Figura 7.

Com esses critérios obteve-se a avaliação em percentual considerada nas Figura 8 e 9.

Com a análise visual verifica-se que o quartzo de forma geral apresentou melhores resultados, pois quando a dolly foi arrancada da peça, essa ocasionou a fratura no substrato gerando falha de substrato ideal, na dolomita obteve-se poucas falhas ideais e a falha mais predominante foi a falha de interface na dolly onde não ocorre fratura da peça e a resina com a tela ficam fixas nas peças. A análise visual do quartzo vem a comprovar os valores obtidos pela adesividade principalmente na malha 200 onde os três percentuais apresentaram falha de substrato considerada ideal.

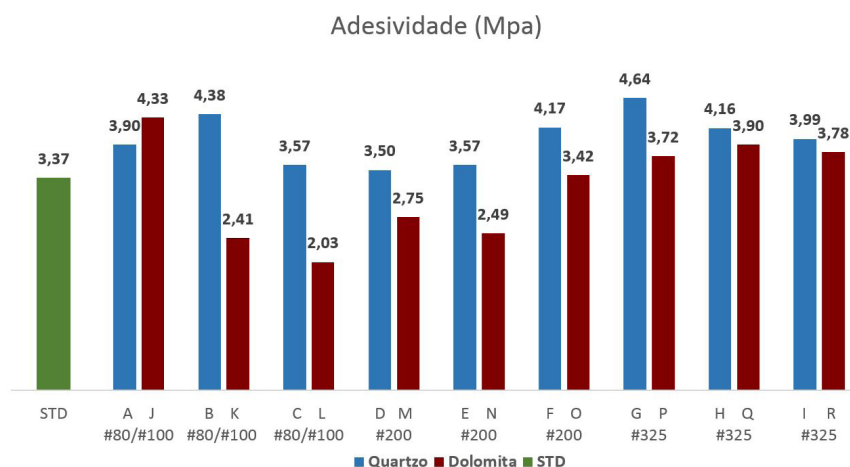


Figura 6. Resultados da adesividade para quartzo e dolomita.

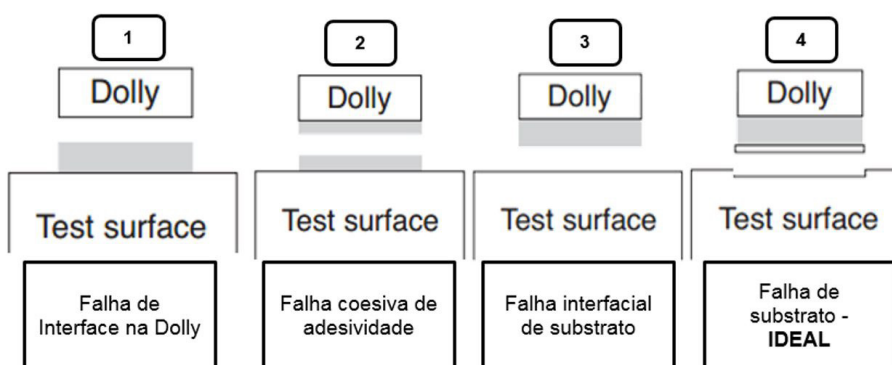


Figura 7. Parâmetros para análise visual.

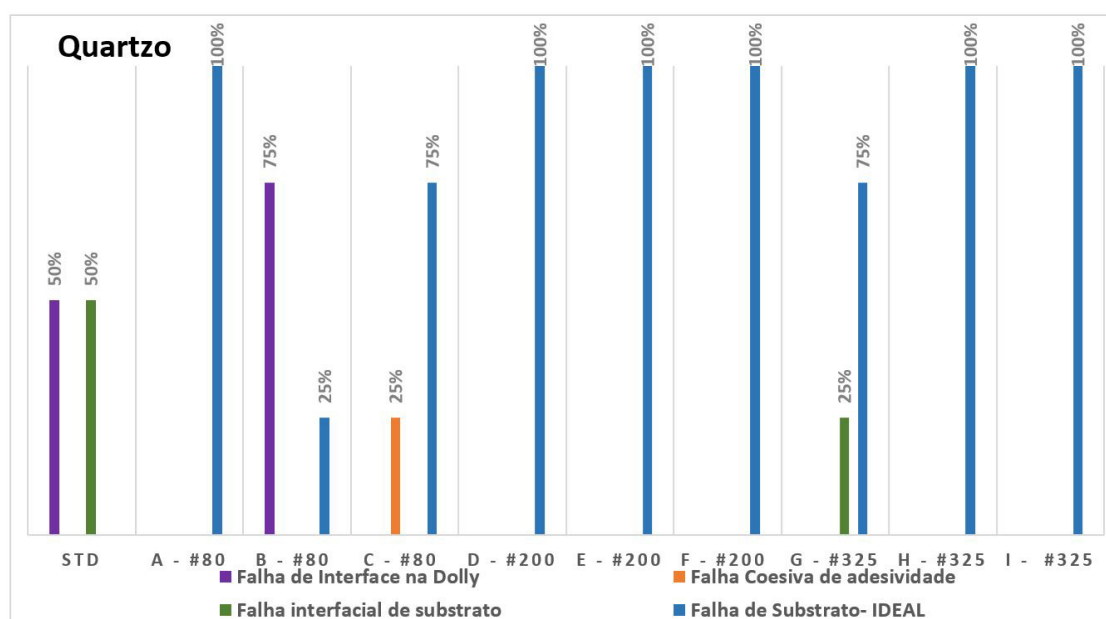


Figura 8. Resultados da análise visual para o quartzo.

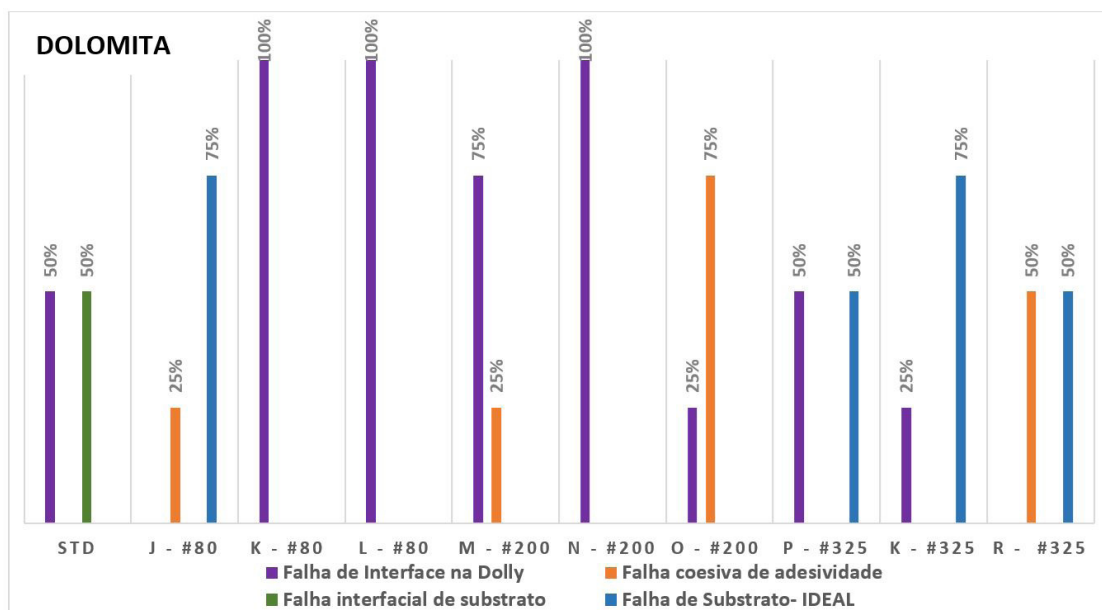


Figura 9. Resultados da análise visual para a dolomita.

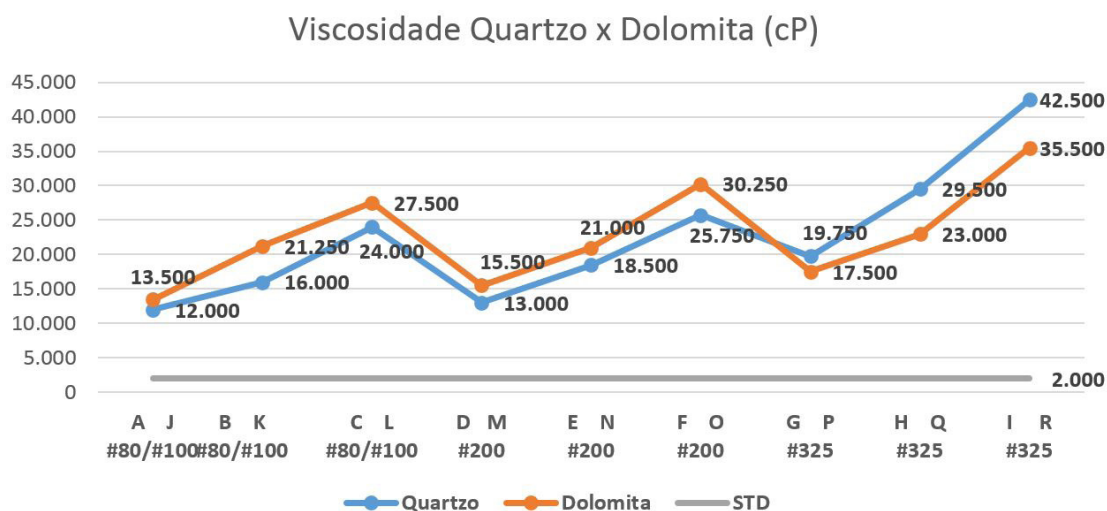


Figura 10. Resultados de viscosidade para quartzo e dolomita.

Após a adesividade foi realizado o ensaio de viscosidade para as duas cargas obtendo os dados apresentados na Figura 10.

Em relação aos ensaios de viscosidade observa-se na Figura 10 todas as formulações apresentaram valores elevados comparando com a resina padrão, isso se deve ao fato de a resina padrão ser pura e não conter carga mineral logo quando se adiciona a carga mineral na mesma essa tende a aumentar a viscosidade da mistura.

Lembrando que o fato das formulações apresentarem viscosidade mais elevada que o padrão não elimina a utilização das mesmas, o que valida a viscosidade é a aplicabilidade da resina, caso for muito elevada vai impedir a aplicação com rolo sobre a peça durante o processo

em ambiente fabril. Observa-se também que nas malhas mais grossas do quartzo (80 e 200) obteve-se valores menores de viscosidade enquanto na dolomita valores mais elevados. Já na malha 325 a dolomita apresenta-se menos viscosa que o quartzo. Conforme o esperado quanto maior a quantidade de carga mineral maior a viscosidade o que foi comprovado pelas duas matérias-primas em todas as malhas. De forma geral o quartzo apresentou viscosidade menor logo sua utilização é mais viável o que vem a confirmar o ensaio de adesividade.

O ensaio de sedimentação foi realizado apenas com as duas matérias-primas já que a resina padrão não contém carga mineral, ou seja, não apresentaria sedimentação visível.

Na sedimentação nos três primeiros dias, nenhuma das cargas minerais apresentou decantação visível, a separação das fases apresentou-se mais aparente após cinco dias, onde as primeiras malhas a decantarem conforme o esperado foram as malhas 80 do quartzo e malha 100 para dolomita conforme demonstra a Figura 11. Os testes com maior quantidade de carga mineral vieram a decantar mais no fundo da proveta que os testes com menor percentual isso em ambas as cargas.

Após sete dias observou-se que o quartzo se apresentou mais decantado que a dolomita principalmente na malha 80. Já em quinze dias notou-se que o quartzo manteve o mesmo volume decantado, que seria as duas fases (carga mineral e resina) bem distintas visualmente, enquanto a dolomita o volume da proveta decantado apresentou-se inferior ao quartzo.

De forma geral os resultados foram mais satisfatórios em relação ao quartzo, nos ensaios de adesividade e a viscosidade. Na sedimentação os valores para o quartzo não foram satisfatórios na malha #80, porém nas demais malhas a sedimentação não se apresentou visível. Logo, baseado na adesividade conclui-se que a melhor malha é a #200, pois na análise visual todos os percentuais apresentaram falha de substrato ideal.

As provas industriais foram realizadas com a resina padrão e a formulação do quartzo com a malha #200 em maior percentual a fim de obter uma maior redução de custos. Se tratando de aplicabilidade, conforme esperado a resina padrão apresenta melhor desempenho quanto a aplicabilidade pois é isenta de cargas, na formulação com quartzo ocorre um aumento da viscosidade devido

a presença da carga mineral, porém não é uma variação significativa que impossibilite seu uso industrial.

Posterior a aplicação em escala industrial as peças furadas foram fixadas em um painel conforme denomina a norma de resistência ao impacto duro onde um corpo de peso conhecido (1kg) foi lançado nas peças por 10 vezes à uma distância de 2 metros resultando em rupturas, fissuras e afundamentos nas peças conforme a Figura 12.

As peças antes da autoclave obtiveram resultados satisfatórios, conforme demonstra a Figura 13.

Importante destacar que as duas amostras apresentaram desempenho mínimo de segurança, conforme a norma as peças podem sofrer os impactos de ruptura, afundamento e fissura, porém não deve ocorrer a fratura da peça e o destacamento do painel, ou seja, não deve apresentar a ruína do sistema conforme a Figura 13 onde o padrão e a formulação (F) não demonstraram essa ocorrência. Logo, as amostras estão aprovadas.

Realizando o ensaio de resistência ao impacto com as peças após a autoclave nota-se uma diminuição de sua resistência ao impacto principalmente devido a resina ter ficado exposta a condições extremas ocorrendo sua deterioração, porém nada que inviabilize sua utilização em escala industrial visto que a resina padrão também diminui o desempenho conforme a Figura 14 e ambos não apresentaram a ruína do sistema obtendo assim o desempenho mínimo de segurança.

Com a comprovação da eficácia da formulação com adição de Quartzo na #200 em ambiente fabril, verificou-se a viabilidade econômica da melhor formulação. A indústria hoje já utiliza em produções uma formulação com carga sendo essa a dolomita, essa formulação varia em torno

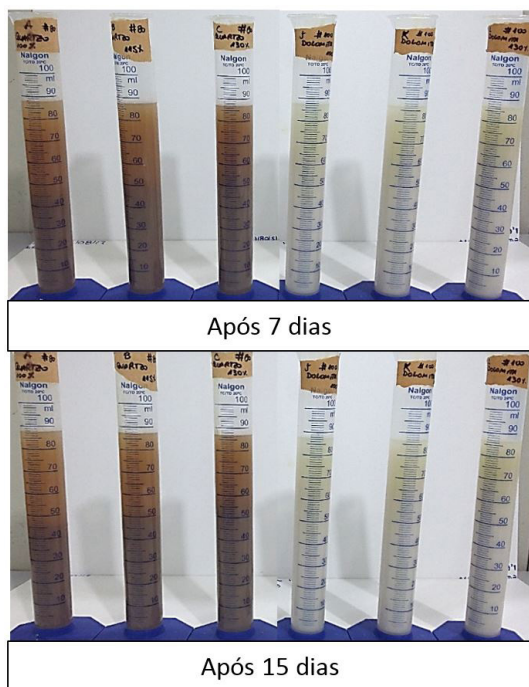


Figura 11. Resultados quartzo e dolomita para sedimentação.



Figura 12. Resultados de trincas, rupturas e afundamentos obtidos no ensaio.

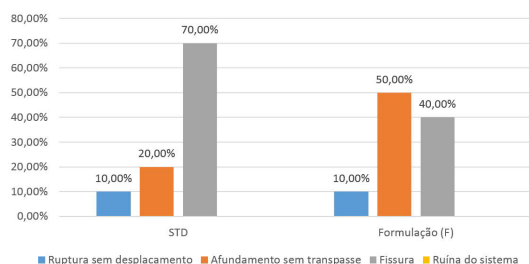


Figura 13. Resultados de resistência ao impacto de corpo duro de 10 N.

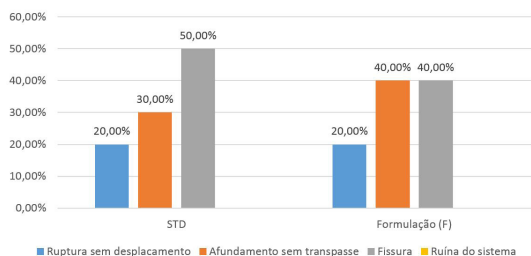


Figura 14. Resultados de resistência ao impacto de corpo duro de 10 N após autoclave.

de 15,33 R\$/kg, utilizando o quartzo em maior proporção tem-se um custo de aproximadamente 13,62 R\$/kg obtendo uma redução de 1,71 R\$/kg, aproximadamente 11% do custo utilizado atualmente. Logo a cada 1000 m² de fachada produzida tem-se R\$ 615,60 de redução de custo.

5. Conclusões

De acordo com os estudos e experimentos realizados, conclui-se que a combinação de dois tipos de cargas, o quartzo e a dolomita, com a resina epóxi utilizada em fachadas ventiladas é uma alternativa viável nos dias de hoje onde as empresas necessitam produzir mais com menor custo, vale salientar que se agrega também propriedades físico-químicas a resina e ao conjunto (substrato cerâmico, tela e resina).

Em relação as cargas minerais testadas e a granulometria concluem-se que o quartzo #200 obteve melhores resultados nos ensaios de adesividade principalmente na análise visual indicando em boa parte dos resultados falha de substrato (ideal). Na sedimentação o quartzo tem uma maior tendência a decantação comparado com a dolomita, porém nada que influencie em seu uso industrial visto que a indústria não trabalha com estoques de resinas prontas acima de três dias. A viscosidade da formulação com quartzo #200 apresentou boa aplicabilidade industrial, comprovada também pelo ensaio de resistência ao impacto duro antes e após à resistência às intempéries. A utilização de cargas minerais no estudo reduz 1,71 R\$/kg e aproximadamente R\$ 615,60 a cada 1000 m² de fachada ventilada produzida.

Dando continuidade ao trabalho sugere-se a possibilidade de adicionar mais carga mineral a fim de alcançar o seu limite máximo, em contrapartida utilizar baixos percentuais de aditivos para otimizar a viscosidade e facilitar ainda mais a aplicação industrial das resinas contendo carga mineral. Como também testar outras resinas bases a fim de reduzir os custos de produção da formulação em geral.

Referências

[1] CAUSS, L.W. **Sistema de fachada ventilada em edificações: características, métodos executivos e aplicações.** Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação de Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 107 f., 2014.

[2] CAMPOS, K. F. **Desenvolvimento de sistema de fixação de fachada ventilada com porcelanato de fina espessura.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 187 f., 2011.

[3] ABNT. **NBR 13755:** Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante- Procedimento. Rio de Janeiro, 1996. 11 p.

[4] SIQUEIRA, A.A. CAUSS, L.W. **Sistema de fachada ventilada em edificações: características, métodos executivos e aplicações.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana). Escola politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 199 f., 2003.

[5] OLIVEIRA, M.R. Desempenho Térmico de Fachada. **Revista Especialize On-line IPOG**, Goiânia, Vol. 01/ 2015, Edição nº 10, página 1 a 2, dezembro/2015.

[6] Eliane Revestimento cerâmicos. **Fachadas ventiladas.** Disponível em: <<http://www.eliane.com/engenharia/eliane-tecnica>>. Acesso em: 23 abril. 2017.

[7] RIBEIRO, A. **Substituição da fibra de vidro por fibra natural de juta em sistema físico de revestimento cerâmico em fachada ventilada.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais). Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 47 f., 2016.

[8] NASCIMENTO, D. C. **Análise das propriedades de compósitos de fibras de piaçava e matriz de resina epóxi.** Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais), Universidade Estadual do norte fluminense – UENF, Campos dos Goytacazes - RJ, 121 f., 2009.

[9] MULLER, A; ALARCON, E. Desenvolvimento de um sistema de fachada ventilada com placas cerâmicas de grês porcelanato voltado para a construção civil do Brasil. **Cerâmica**, Volume 51, p. 354 - 360, 2005.

[10] ABNT. **NBR 15463:** Placas cerâmicas para revestimento- Porcelanato. Rio de Janeiro, 2013. 11 p.

[11] DA SILVA, A. L. **Conformação de porcelanatos de baixa espessura por prensagem e tape casting.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 102 f., 2012.

[12] ALMEIDA, C. N. **Propriedades mecânicas e térmicas do sistema epóxi Dgeba/ etilenodiamina modificado com Nanoplateformas de silsesquioxano substituídas com Grupos ésteres.** Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais). Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira-São Paulo, 81 f., 2005.

[13] NUNES, L. M. **Cinética de degradação do sistema resina epóxi/fibra de carbono.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Materiais). Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 62 f., 2013.

[14] SOBROSA, M.M. **Estudo da reocinética de cura de resinas epoxidicas por meio de diferentes técnicas de análise.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais). Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo, Lorena, 108 f., 2008.

[15] RODRIGUES, M. R. **Estudo da reação de cura da resina epóxi (araldit f) com anidrido ftálico e trietilamina como iniciador.** Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Química, Rio grande do sul, 89 f., 1991.

[16] LIMA, A.B. **Aplicações de cargas minerais em Polímeros.** Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 75 f., 2007.

- [17] DALPIAZ, G. **Estudo do efeito de cargas minerais em compósitos poliméricos particulados em matriz de polipropileno**. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 236 f., 2006.
- [18] SEERIG, R. **Estudo da influência de cargas minerais utilizadas em tintas imobiliárias**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 33 f., 2013.
- [19] MELO, P. M. **Compósitos particulados de polietileno de alta densidade e concha de molusco: efeito do teor e da granulometria**. Dissertação. (Mestrado em Engenharia de materiais). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 77 f., 2013.