

# PLANEJAMENTO DO PROCESSO DE OBTENÇÃO DE PEDRA COMPOSTA POR MEIO DE RESISTÊNCIA MECÂNICA<sup>1</sup>

*Glaucia Danielle Leirose<sup>2</sup>  
Fernando Soares Lameiras<sup>3</sup>*

## **Resumo**

A pedra composta é um produto similar ao granito ou ao mármore naturais, obtida a partir de granulados silícicos ou calcáreos com diferentes granulometrias. A produção deste material com resíduos da exploração de itabirito é uma promissora alternativa para a sua destinação (atualmente pratica-se a estocagem em barragem). Este trabalho analisa a influência de vários parâmetros na produção de pedra composta sobre a resistência a flexão. Por meio de um planejamento de experimentos constatou-se que o tipo de resina, presença de promotor de adesão e programa de cura são os fatores que exercem influência significativa nos valores de resistência. A estatística de Weibull foi utilizada para a determinação da resistência média a ruptura. Os valores encontrados se mostraram compatíveis com materiais semelhantes.

**Palavras-chave:** Pedra composta; Reciclagem; Quartzo; Planejamento experimental.

## **STUDY OF COMPOSITE STONE PRODUCTION CONTROLLED BY THE MECHANICAL STRENGTH**

### **Abstract**

Composite stone is a product similar to natural granite or marble, produced with particles of these materials. The fabrication of artificial stones using residues of banded iron formations is a promising alternative to its actual destination (storage in dam). This research analyzes the influence of some parameters in the production of composite stones controlled by the flexural strength. The results indicated that the resin and the use of an adhesion promoter are the factors that influence the flexural strength. The mean rupture strength was calculated by the Weibull statistics. Results are similar to commercial composite stones.

**Key words:** Compound stone; Recycling, Quartz; Experimental design.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 67º Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.*

<sup>2</sup> *Mestranda em Engenharia de Materiais – Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).*

<sup>3</sup> *Doutor em Engenharia Metalúrgica e de Minas. Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN).*

## 1 INTRODUÇÃO

O itabirito é um minério de ferro amplamente explorado na região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. O minério extraído é transportado por correias até a área de beneficiamento, onde ele é britado e moído em duas plantas industriais.<sup>(1)</sup> Para aumentar o teor de ferro e minimizar os teores de sílica ( $\text{SiO}_2$ ) e alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) no minério é necessário utilizar processos de concentração.<sup>(2)</sup>

A flotação é um processo de separação baseado nas diferenças de superfícies dos minerais. Nesse método, as partículas minerais sólidas heterogêneas são imersas num meio fluido, usualmente a água, pelo qual se faz passar um fluxo gasoso, usualmente o ar.<sup>(2)</sup> Neste caso realiza-se o processo de flotação catiônica reversa, no qual o constituinte de menor interesse no produto final é retirado do processo produtivo utilizando um coletor catiônico (eteraminas ou eterdiaminas) e um depressor (amido). O depressor e o coletor são compostos orgânicos que possuem uma cadeia polar e hidrofílica, respectivamente, apresentando afinidade com a água e outra que não possui nenhuma afinidade com este solvente. Assim, o coletor adsorve o quartzo e essas partículas hidrofílicas são carregadas pelo ar promovendo a sua separação do minério de interesse, hematita, que é sofre decantação.<sup>(1)</sup>

Uma parte desses resíduos é utilizada para preenchimento de cavas de mineração e a outra parte é estocada em barragens. Estudo feito com a lama residual<sup>(3)</sup> mostrou que a quantidade de amina diminui mais de 90% em 20 dias de monitoramento. Isto porque a amina se degrada após seu lançamento nos cursos d'água, transformando-se em nitrito e depois em nitrato.<sup>(4)</sup> Devido a este baixo tempo de decomposição tem-se grande teor de quartzo nos resíduos estocados. Ao lado da redução do impacto ambiental, é também importante encontrar maneiras de agregar valor aos resíduos, porque isso será imprescindível para a atividade econômica das regiões onde as minas se encontram, após a sua exaustão.

A pedra composta, comumente chamada de pedra artificial ou pedra industrializada, é fabricada com agregados naturais, que podem representar 91% a 96% da massa total. Ela é obtida a partir de particulados silícicos ou calcáreos com diferentes granulometrias (menores que 10 mm). Frações desses materiais são misturadas com resina de poliéster e aditivos para formar uma pasta, a qual é colocada em moldes e vibrocompactada a vácuo, seguido do processo de cura.<sup>(5)</sup>

O uso do quartzo proveniente do resíduo de mineração é uma possibilidade que desperta bastante interesse. Esse produto, que já é comercializado em larga escala na Europa e nos Estados Unidos, tem aparência estética similar à pedra natural, porém controlável e mais uniforme. As resistências à flexão e à tração são mais altas que aquelas da pedra natural. A dureza é semelhante e é isenta de poros. O aproveitamento das reservas de matérias-primas é bem maior, porque o processo de fabricação utiliza granulados. Essas características, vistas como vantagens pelos consumidores e órgãos ambientais, reservam à pedra composta um lugar de destaque na construção civil em seu uso como revestimento de paredes e pavimentação de pisos.

As cerâmicas apresentam baixo escoamento e pequena taxa de deformação plástica. Como resultado, estes materiais são frágeis e com baixa tenacidade a fratura. A resistência mecânica nos materiais cerâmicos é influenciada pelo detalhes do processo de fabricação e microestrutura.<sup>(6)</sup> A quantidade e tamanho de defeitos causados no processamento geram pontos concentradores de tensão, que serão os pontos iniciais da fratura do material. Como a distribuição dos defeitos nas

cerâmicas é quase sempre aleatória, a resistência avaliada experimentalmente também será, evidenciando o aspecto estatístico do espalhamento dos valores de resistência.<sup>(7)</sup>

Uma alternativa é caracterizar o comportamento de varias amostras do mesmo material obtendo um conjunto de dados que podem ser tratados estatisticamente para determinação da tensão de ruptura. Dessa forma a dispersão dos resultados é considerada.<sup>(8)</sup>

Em 1939, Weibull<sup>(9)</sup> desenvolveu uma teoria estatística que considera a ocorrência de um evento em um objeto como um todo é causada pela ocorrência do evento em qualquer parte do objeto. Comparando os materiais cerâmicos a uma corrente Weibull, associa seus elos a pequenos volumes de peças, sendo o elo mais fraco equivalente à região que contém a falha crítica.<sup>(6)</sup>

Este trabalho visa à averiguação da influência de parâmetros no processamento da pedra composta em sua resistência a flexão. No processo de fabricação utilizou-se quartzo granulado como matéria-prima, a fim de obter os melhores parâmetros para adaptação do processo aos resíduos de mineração.

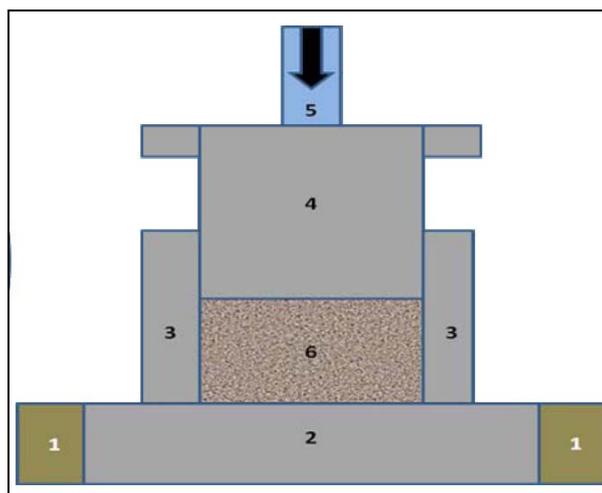
## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Materiais e Preparação das Amostras

Para a preparação das amostras utilizou-se quartzo fornecido pela empresa Ecoart em três granulometrias diferentes. As resinas utilizadas foram polimérica insaturada cristal (Fibercenter) e resina especial Polylyte fornecida pela Reichhold. Os aditivos empregados foram silano organofuncional (Dynasytan, fonte Evonik), dimetilnilina (DMA, fonte Fibercenter) e acelerador de cobalto 6%.

A preparação padrão da pasta inicia-se com a mistura das frações das partículas de quartzo com a resina, de forma a se obter um filme uniforme de resina nas superfícies das partículas. A uniformização da mistura é feita manualmente com o auxílio de uma espátula em um recipiente de vidro. Em seguida, é feita a adição do DMA e acelerador de cobalto.

A prensagem do material foi feita em uma prensa hidráulica manual de 15 toneladas para a compactação do material. O desenho esquemático desta matriz está mostrado na Figura 1.



**Figura 1.** Desenho esquemático da matriz de prensagem em corte transversal, constituída de uma base (2) e seu suporte (1), tubo cilíndrico (3) e um punção cilíndrico (4). A punção da prensa (5) aciona o punção (4). Massa de material e resina sob prensagem (6).

Um vibrador do tipo pneumático foi colocado sob a plataforma da matriz para promover melhor acomodação das partículas, aumentando a densidade do material. Esse vibrador, da marca Brunialti modelo NTP 25B, produz movimentos de vibração verticais na matriz. Ele é operado a 2 bar (2600 vibrações por minuto, força de 190 N).

O vácuo é feito por uma bomba de vácuo que retira o ar da matriz através de um orifício na parede da matriz. Em seguida, é realizada a etapa de cura, cujo objetivo é promover a polimerização da resina e a sua adesão às partículas minerais, de tal forma a se obter uma peça monolítica de alta resistência mecânica e dureza. A cura deve ser feita em duas etapas: ao ar a 80°C ou 90°C, durante 30 minutos e ao ar a 110° ou 120° durante 2 horas. As peças produzidas foram de 70x25x8 mm.

## 2.2 Planejamento Experimental

No planejamento de experimentos realizado avaliou-se a influência de alguns fatores sobre a resistência a flexão do material. Os fatores qualitativos analisados foram a resina (tipo cristal ou especial), promotor de adesão (presença ou ausência) e vácuo (presença ou ausência). As variáveis quantitativas foram pressão (3 ou 6 toneladas), tempo de vibrocompactação (2 ou 4 minutos) e programa de temperatura 30/120 minutos (80°C/120°C ou 90°C/110°C).

O planejamento de experimentos utilizado foi do tipo (2<sup>6</sup>) fracionário. Realizou-se dezesseis experimentos diferentes, para cada uma dessas combinações cinco amostras foram obtidas, conforme Tabela 1.<sup>(10)</sup>

**Tabela 1.** Planejamento Experimental (2<sup>6</sup>)

	Resina	Promotor de Adesão	Pressão	Vibrocompactação	Vácuo	Programa de cura
1	Cristal	Sem	3 ton.	2 minutos	Sem	80°C (30 min.) + 120°C (120 min.)
2	Especial	Sem	3 ton.	2 minutos	Com	80°C (30 min.) + 120°C (120 min.)
3	Cristal	Com	3 ton.	2 minutos	Com	90°C (30 min.) + 110°C (120 min.)
4	Especial	Com	3 ton.	2 minutos	Sem	90°C (30 min.) + 110°C (120 min.)
5	Cristal	Sem	6 ton.	2 minutos	Com	90°C (30 min.) + 110°C (120 min.)
6	Especial	Sem	6 ton.	2 minutos	Sem	90°C (30 min.) + 110°C (120 min.)
7	Cristal	Com	6 ton.	2 minutos	Sem	80°C (30 min.) + 120°C (120 min.)
8	Especial	Com	6 ton.	2 minutos	Com	80°C (30 min.) + 120°C (120 min.)
9	Cristal	Sem	3 ton.	4 minutos	Sem	90°C (30 min.) + 110°C (120 min.)
10	Especial	Sem	3 ton.	4 minutos	Com	90°C (30 min.) + 110°C (120 min.)
11	Cristal	Com	3 ton.	4 minutos	Com	80°C (30 min.) + 120°C (120 min.)
12	Especial	Com	3 ton.	4 minutos	Sem	80°C (30 min.) + 120°C (120 min.)
13	Cristal	Sem	6 ton.	4 minutos	Com	80°C (30 min.) + 120°C (120 min.)
14	Especial	Sem	6 ton.	4 minutos	Sem	80°C (30 min.) + 120°C (120 min.)
15	Cristal	Com	6 ton.	4 minutos	Sem	90°C (30 min.) + 110°C (120 min.)
16	Especial	Com	6 ton.	4 minutos	Com	90°C (30 min.) + 110°C (120 min.)

### 2.3 Ensaio de Resistência a Flexão por Estatística de Weibull

Weibull apresenta uma expressão empírica para a função de distribuição de probabilidade de fratura acumulada, onde  $P$  é a probabilidade de fratura em uma tensão igual ou menor que  $\sigma$  (Equação 1).

$$P = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{\sigma}{\sigma_0} \right)^m \right] \quad (1)$$

$\sigma_0$  é a constante de normalização correspondente a tensão cuja probabilidade de falha é 63,2% e  $m$  é o módulo de Weibull.<sup>(6)</sup>

O módulo de Weibull,  $m$ , é adimensional e representa a dispersão na resistência a fratura. Altos valores de  $m$  conduzem a estreitas funções de distribuições. Assim a probabilidade de falha se aproxima da unidade, o que confere maior confiabilidade ao material.<sup>(7)</sup>

Existem vários métodos disponíveis na literatura para determinação dos parâmetros da distribuição de Weibull. Um método amplamente utilizado é a análise por regressão linear devido à sua simplicidade. Nele as medidas de tensão de

ruptura são dispostas em ordem crescente e então a probabilidade de falha  $P_j$  é atribuída a cada tensão  $\sigma_j$ . Como o valor de  $P_j$  é desconhecido faz-se necessário o uso de um estimador.<sup>(7,8)</sup> Segue-se aqui (Equação 2) o mesmo estimador utilizado por Barsoum.<sup>(11)</sup>

$$P_j = 1 - \left( \frac{j - 0,3}{N + 0,4} \right) \quad (2)$$

onde  $P_j$  é a probabilidade de falha para a localização da j-énésima tensão e  $N$  é a quantidade de amostras.

Obtendo-se o logaritmo natural dos dois lados da equação (1), tem-se,

$$\ln \left[ \ln \left( \frac{1}{1 - P_j} \right) \right] = m \cdot \ln \sigma_j - m \cdot \ln \sigma_0 \quad (3)$$

Plotando-se o gráfico  $\ln \left[ \ln \left( \frac{1}{1 - P_j} \right) \right]$  versus  $\ln \sigma_j$  o módulo de Weibull e a constante de normalização podem ser obtidos por um método de regressão, como dos mínimos quadrados.<sup>(6)</sup>

Para a determinação da resistência da amostra utiliza-se a tensão média de resistência,  $\sigma_{50}$ , tensão na qual a probabilidade de fratura é de 50%. Dada pela equação (4) e seguido do seu desvio-padrão (Equação 5),

$$\sigma_{50} = \sigma_0 \cdot \left( -\ln \frac{1}{2} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (4)$$

$$\Delta \sigma_{50} = \sigma_0 \cdot \left[ \Gamma(1 + 2 \cdot m^{-1}) - \Gamma^2(1 + m^{-1}) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

onde  $\Gamma$  é o símbolo representativo da função gama.<sup>(7)</sup>

O ensaio de tensão de ruptura a flexão foi realizado em uma máquina universal de ensaios Instron, modelo 5882, EUA, utilizando célula de carga de 5kN e fazendo o ensaio em três apoios.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Determinação de Fatores Significativos por Planejamento Experimental

O resultado do ensaio de resistência a flexão está disposto na Tabela 2.

**Tabela 2.** Resultados das tensões de ruptura a flexão

Ensaio	Tensão (Kgf/mm <sup>2</sup> )				
	1	10,15	12,22	10,14	10,96
2	3,94	5,67	4,94	3,79	4,53
3	14,68	13,2	11,11	14,7	11,76
4	3,75	4,14	4,16	12,32	3,86
5	12,23	10,7	9,81	4,41	8,48
6	4,01	4,48	3,52	5,45	6,69
7	14,16	13,51	15,45	10,45	12,89
8	5,99	5,31	9,17	7,91	4,72
9	11,71	3,31	12,38	2,01	11,71
10	3,58	3,68	2,69	9,67	2,98
11	13,43	15,17	15,52	10,62	13,14
12	5,31	4,83	8,98	12,81	5,44
13	11,57	15,05	12,32	11,57	9,95
14	4,8	2,81	2,86	4,44	1,09
15	15,46	17,52	15,51	12,75	12,38
16	4,37	4,69	5,14	1,04	5,27

Para verificar quais são fatores tem influencia significativa sobre a tensão de ruptura foi feita uma triagem de acordo com o efeito de cada fator e possíveis associações entre eles. Na Tabela 3 encontram-se os efeitos dos fatores analisados.

**Tabela 3.** Valores dos efeitos na tensão de ruptura de acordo com os fatores, planejamento 2<sup>6</sup>

Fatores	Efeito	Desvio-Padrão	Incerteza
Resina	-6,717	0,2781	0,2438
Promotor de Adesão	2,672	0,2781	0,2438
Pressão	0,038	0,2781	0,2438
Vibrocompactação	0,020	0,2781	0,2438
Vácuo	-0,034	0,2781	0,2438
Programa de Cura	-0,893	0,2781	0,2438
Resina + Promotor de Adesão	-0,993	0,2781	0,2438
Resina + Pressão	-0,904	0,2781	0,2438
Resina + Vibrocompactação	-0,613	0,2781	0,2438
Resina + Vácuo	-0,300	0,2781	0,2438
Resina + Programa de Cura	0,200	0,2781	0,2438
Promotor de Adesão + Vibrocompactação	0,287	0,2781	0,2438
Promotor de Adesão + Programa de Cura	0,0043	0,2781	0,2438
Resina + Promotor de Adesão + Vibrocompactação	-0,039	0,2781	0,2438
Resina + Promotor de Adesão + Programa de Cura	-1,524	0,2781	0,2438

Valores significativos de efeitos são encontrados para a resina, promotor de adesão e para a junção resina, promotor de adesão e programa de cura. Estes fatores apresentaram valores de efeitos significativos e p-valor abaixo de  $\alpha = 0,05$ ,

ou seja, apresentam mais de 95% de confiança. Isso é evidenciado no gráfico da Figura 1, onde nota-se a distinção entre os fatores significantes e os demais.

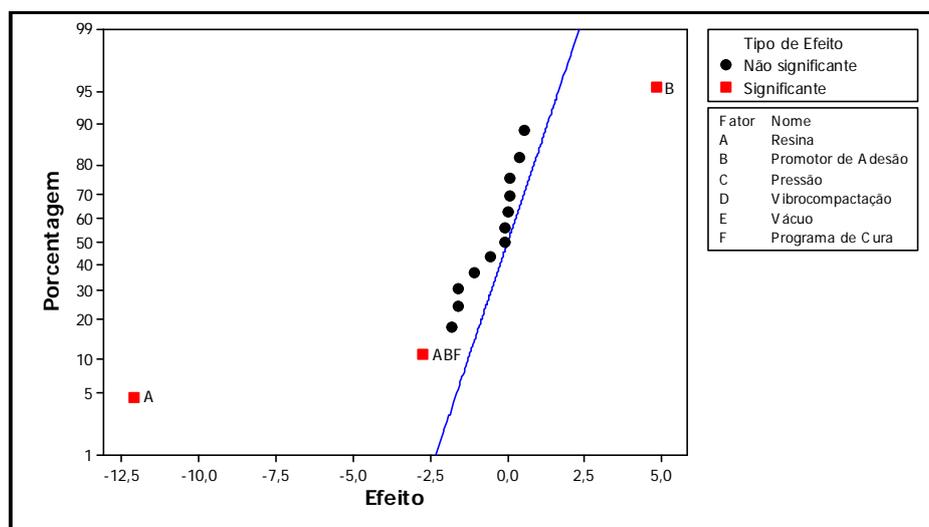


Figura 2. Gráfico dos efeitos em resposta a tensão de ruptura, planejamento  $2^6$ , alfa 0,05.

Visto que dos seis fatores analisados somente três apresentam valores de efeitos significativos, pode-se considerar os demais fatores como inertes. Assim, o planejamento sofre uma triagem e aprofunda-se o estudo na influência da resina, promotor de adesão e programa de cura. De um planejamento fatorial fracionário ( $2^6$ ) os dados foram rearranjados para um planejamento fatorial completo ( $2^3$ ) com dez repetições de cada ensaio. Os ensaios estão dispostos na Tabela 4 a seguir.

Tabela 4. Planejamento Experimental ( $2^3$ )

	Resina	Promotor de Adesão	Pressão
A	Cristal	Sem	3 ton.
B	Especial	Sem	3 ton.
C	Cristal	Com	3 ton.
D	Especial	Com	3 ton.
E	Cristal	Sem	6 ton.
F	Especial	Sem	6 ton.
G	Cristal	Com	6 ton.
H	Especial	Com	6 ton.

Refazendo os valores de efeito e dos fatores deste novo planejamento tem-se os resultados expostos na Tabela 5 e Figura 3.

Tabela 5. Valores dos efeitos na tensão de ruptura de acordo com os fatores, planejamento  $2^3$

Fatores	Efeito	Desvio-Padrão	Incerteza
Resina	-6,717	0,2852	0,1768
Promotor de Adesão	2,672	0,2852	0,1768
Programa de Cura	0,038	0,2852	0,1768
Resina + Promotor de Adesão	-0,993	0,2852	0,1768
Resina + Programa de Cura	-0,903	0,2852	0,1768
Promotor de Adesão + Programa de Cura	-0,300	0,2852	0,1768
Resina + Promotor de Adesão + Programa de Cura	-0,034	0,2852	0,1768

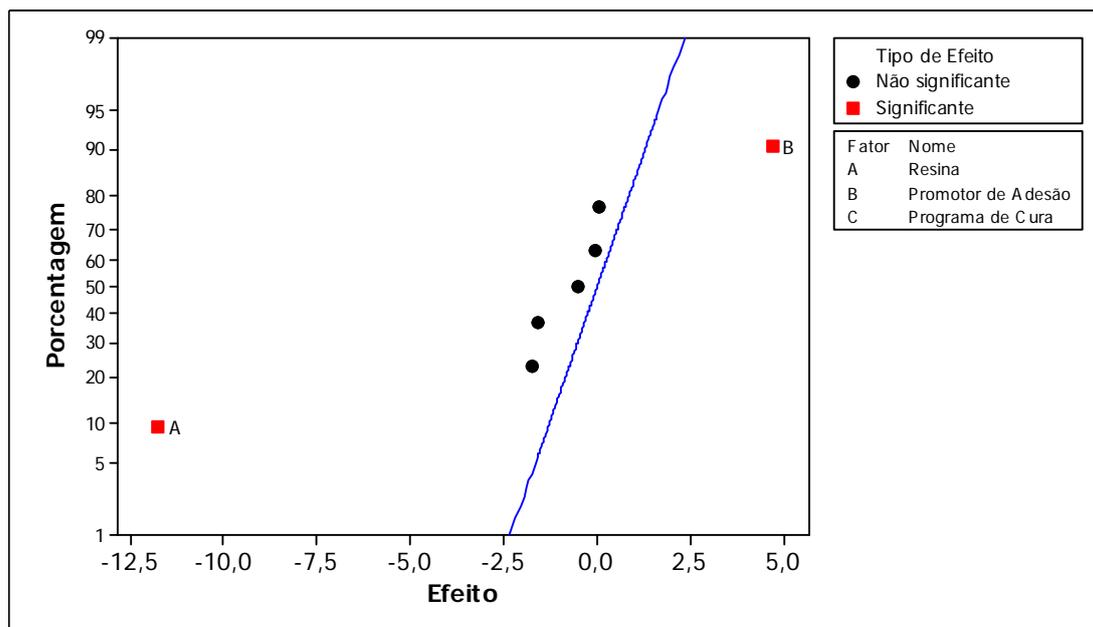


Figura 4. Gráfico dos efeitos em resposta a tensão de ruptura, planejamento  $2^3$ , alfa 0,05

Logo, tem-se que apenas a resina e o promotor de adesão promovem efeitos significativos na tensão de ruptura a flexão.

### 3.2 Determinação da tensão de ruptura a flexão por Estatística de Weibull

Considerando os ensaios de acordo com a Tabela 4 e nível de confiança de 95% calculou-se a resistência média de ruptura das amostras de pedra composta. Os valores de  $m$  (módulo de Weibull),  $\sigma_0$  (constante de normalização correspondente a tensão cuja probabilidade de falha é de 63.2%),  $\sigma_{50}$  (resistência média a ruptura,  $\Delta\sigma_{50}$  (desvio-padrão) e  $R$ -quadrado dos ensaios estão dispostos na Tabela 6.

Tabela 6. Resultados da análise estatística de Weibull.

Ensaio	Módulo de Weibull, $m$	Tensão cuja probabilidade de ruptura é 63.2%, $\sigma_0$ (kgf/mm <sup>2</sup> / MPa)	Resistência média a ruptura, $\sigma_{50}$ (kgf/mm <sup>2</sup> / MPa)	Desvio-padrão, $\Delta\sigma_{50}$ (kgf/mm <sup>2</sup> / MPa)	$R^2$
A	1,56	11,53 / 113,07	9,12 / 89,46	6,78 / 66,45	0,8837
B	2,75	5,15 / 50,50	4,50 / 44,15	1,80 / 17,66	0,8022
C	8,21	14,09 / 138,27	13,48 / 132,23	1,93 / 18,88	0,9578
D	2,03	7,60 / 74,55	6,35 / 62,26	3,47 / 34,01	0,7431
E	3,13	12,02 / 117,90	10,69 / 104,87	3,76 / 36,92	0,8691
F	2,12	4,68 / 45,91	3,94 / 38,63	2,06 / 20,15	0,9181
G	7,38	14,89 / 146,03	14,17 / 128,96	2,23 / 21,90	0,9602
H	1,69	6,52 / 63,98	5,25 / 51,48	3,55 / 34,82	0,7861

O coeficiente de Weibull é um importante parâmetro nesta análise. Quanto maior o valor de  $m$ , menor a dispersão nos valores de resistência, ou seja, os defeitos na amostra estão distribuídos de forma mais homogênea. Segundo Zanotto,<sup>(12)</sup> para materiais cerâmicos, os valores de  $m$  variam entre 3 e 15. Assim, os ensaios C e G, que apresentam maiores valores  $m$ , estão de acordo com a literatura e apresentam maior homogeneidade e menor susceptibilidade a falhas.

A resistência média a ruptura ( $\sigma_{50}$ ) dos ensaios C e G confirmam o melhor desempenho destes corpos de prova devido ao seu elevado valor comparado aos demais ensaios. Estes ensaios foram também os que melhor se adaptaram a distribuição de Weibull, como verificado pelo seu baixo desvio-padrão e maior proximidade a unidade de seu R-quadrado.

Na literatura,<sup>(13)</sup> encontra-se processamento de pedra composta semelhante ao feito neste trabalho utilizando resíduos de vidros e fragmentos de rochas, a resistência a ruptura média encontrada é de 43 MPa. Os valores mais altos encontrados neste trabalho se justificam pelo tamanho das peças produzidas, peças menores são menos suscetíveis a falhas na fabricação. Portanto as amostra obtidas são compatíveis com outros materiais semelhantes.

Em suma, certifica-se que as de pedra composta processadas com resina cristal e com presenças de promotor de adesão geram amostras mais homogêneas e com melhor resistência de ruptura a flexão.

## 5 CONCLUSÃO

Por meio do planejamento de experimentos averiguaram-se os principais parâmetros no processamento de pedra composta. As propriedades obtidas confirmam a adequação do método, já que se obtiveram materiais homogêneos, resistentes a flexão e comparáveis a outras pedras compostas. A técnica de processamento utilizada neste trabalho mostra um avanço significativo no desenvolvimento de pedra composta. Como continuidade do trabalho tem-se a análise de outros parâmetros e produção de peças com maiores dimensões.

## Agradecimentos

À Capes, Fapemig e CNPQ pelo suporte financeiro.

## REFERÊNCIAS

- 1 PIRES, J. M. M.; LENA, J. C.; MACHADO, C. C.; PEREIRA, R. S. Potencial poluidor de resíduo sólido da Samarco Mineração: estudo de caso da Barragem de Germano. Revista *Árvore*, Viçosa, v. 27, f. 3, p. 393-397, 2003.
- 2 BATISTELI, G. M. B. Amina residual na flotação catiônica reversa de minério de ferro. 2007. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
- 3 CHAVES, L. C. Estudo de resíduos sólidos gerados na flotação de minério de ferro: quantificação e decomposição de aminas no meio ambiente. 90f. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2001.
- 4 TEODORO, A. L.; LEÃO, V. A. Recuperação de aminas, utilizadas na flotação do minério de ferro, utilizando zeólitas naturais. Revista *Escola de Minas*, Ouro Preto, v. 57, f. 3, p. 197-201, jul-set, 2004.
- 5 Tassone, P. et. al. Procedure for Fast Curing at High Temperature of Polyester Resins Used as Binding in the Production of Polymer Concrete Slabs, Research & Development Dept., Breton SpA, Italy, Abstract, pp. 351-356, Jul. 1995
- 6 GONÇALVES, D. P. Análise e investigação de impactos em blindagem composta cerâmica/metal. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica-Aeronáutica) – Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos, 2000.

- 7 BEREZOWSKI, L. R.; MELO F, C. L. DE. Avaliação da resistência mecânica de cerâmicas à base de carbetto de silício. Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA, 8<sup>o</sup>, 2002, São José dos Campos, Brasil. 8-10 de out. 2002, p. 31-36.
- 8 SOARES, R. M. Cerâmicas de mulita obtida do topázio, fabricado por sinterização, caracterização microestrutural, elétrica e mecânica. 158 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) – UFOP, Universidade Federal de Minas Gerais, Ouro Preto, 2007.
- 9 WEIBULL, W. A Statistical Theory of Strenght of Materials. Inglaterra. Vertenskaps Akad. Hand., n 151. 1939.
- 10 BARROS NETO, B.; SCARMINO, I. S.; BRUNS, R. E. Como fazer experimentos. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2010. 414 p.
- 11 BARSOUM, M. W. Fundamentals of Ceramics. The McGraw-Hill Companies, Inc, 1997.
- 12 ZANOTTO, E. D.; MIGLIORES JUNIOR. Propriedades Mecânicas de Materiais Cerâmicos: Uma Introdução. Cerâmica, 37, 247, 1991, 7.
- 13 LEE, M. Y; KO, C. H.; CHANG, F. C.; LO, S. L.; LIN, J. D.; SHAN, M. Y.; LEE, J. C. Artificial stone slab production using waste glass, stone fragments and vacuum vibratory compaction. Cement & Concrete Composites, v. 30, p. 583-587, 2008.