

Avaliação da Resistência Mecânica e Módulo de Weibull de Produtos Tipo Grês Porcelanato e Granito

**A.P.M. Menegazzo¹, J.O.A. Paschoal¹, A.M. Andrade¹,
J.C. Carvalho² e D.Gouvêa³**

¹ Centro Cerâmico do Brasil - CCB / Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN

² Alcoa Alumínio S.A. - Divisão de Químicos

³ Escola Politécnica - USP - Departamento de Metalurgia e Materiais

¹ e-mail: anapaulamenegazzo@ccb.org.br

Resumo: A indústria brasileira de revestimentos cerâmicos ocupa uma posição de destaque no cenário nacional e internacional, sendo a quarta maior produtora e exportadora mundial. Dentre os diversos tipos de revestimentos cerâmicos produzidos internacionalmente, o grês porcelanato tem se destacado devido às suas ótimas características técnicas (resistência mecânica, química, ao gelo e à abrasão) e ao aspecto muito semelhante às pedras naturais¹. Estes produtos são, geralmente, indicados para usos em ambientes com alto tráfego sujeitos a desgaste e solicitações mecânicas, como pisos de centros comerciais, supermercados, entre outros. Sendo assim, é imprescindível que estes produtos apresentem elevadas propriedades mecânicas como a resistência a flexão, tenacidade a fratura, resistência ao desgaste abrasivo e resistência ao risco. O principal objetivo deste trabalho foi estudar a correlação entre as propriedades mecânicas de produtos do tipo grês porcelanato não esmaltado, natural e polido, com a microestrutura final. No trabalho foram estudados produtos comerciais brasileiros e importados. As tipologias avaliadas foram: produtos “sal e pimenta” e “tinta única”. Para efeito de comparação também foi estudado o comportamento mecânico de alguns granitos. Na avaliação da resistência a flexão foi utilizada a Estatística de Weibull como ferramenta matemática, que possibilitou a obtenção do módulo de reprodutibilidade dos produtos em estudo.

Palavras-chaves: *placas para revestimento, grês porcelanato, propriedades mecânicas, módulo de Weibull*

Introdução

Os materiais cerâmicos apresentam uma série de defeitos que podem atuar como elementos concentradores de tensões e que determinam os pontos onde se inicia a fratura do produto. A resistência mecânica de um produto depende de sua microestrutura e, principalmente, da distribuição e tamanho dos defeitos presentes. Como esta distribuição é quase sempre aleatória, a resistência avaliada experimentalmente apresenta uma dispersão. Para obter a resistência mecânica experimentalmente não é suficiente apresentar somente o valor médio, mas é essencial levar em consideração a dispersão dos resultados. Quantitativamente esta dispersão dos valores de resistência mecânica

pode ser obtida através da distribuição de Weibull. O módulo de Weibull “m” fornece um indicativo da reprodutibilidade da resistência mecânica do produto. Quanto maior é o módulo de Weibull, menor é a dispersão dos valores de resistência mecânica².

Weibull fez uma analogia entre uma estrutura frágil tracionada e uma corrente que se rompe quando a resistência de seu elo mais fraco é excedida. O crescimento de uma microtrinca isolada em um corpo elástico, quando carregada na direção normal a seu plano, é similar a ruptura de uma corrente².

A equação de Weibull que relaciona a probabilidade de sobrevivência de uma peça (P_s), com o esforço a que está submetida (σ_R) é:

$$P_f(\sigma_R) = \exp \left[- \left(\frac{\sigma_R}{\sigma_o} \right)^m V_E \right]$$

onde: P_f = probabilidade de sobrevivência (probabilidade de que uma peça submetida a uma tensão máxima σ_R não se rompa).
 σ_o = constante de normalização (MPa)
 V_e = volume equivalente (m^3)
 m = constante adimensional (módulo de Weibull)

V_E depende do volume da peça e da forma de aplicação da carga (flexão em 3 pontos, 4 pontos, etc). A constante “m” caracteriza a dispersão da medida da resistência mecânica. À medida que “m” aumenta, a dispersão é menor. Se construir a curva de $\ln \ln (1 - P_f)^{-1}$ em função de $\ln \sigma$ (figura 1), se obtém uma linha reta, cuja tangente é “m”. O módulo de Weibull pode ser obtido facilmente através da equação³:

$$\ln \ln (1 - P_f)^{-1} = \ln V_E - m \ln \sigma_o + m \ln \sigma$$

Procedimento Experimental

Materiais utilizados

As amostras de porcelanatos selecionadas para a realização deste estudo, conjuntamente com suas codificações e características técnicas, estão apresentadas na tabela 1.

A escolha dos tipos de granitos estudados foi feita utilizando-se o critério de facilidade de se encontrar no mercado, custo acessível, composição química, cor, tamanho de cristais e grau de fissuração. Os granitos em estudo estão apresentados na tabela 2.

Não foram encontrados no comércio produtos espa-

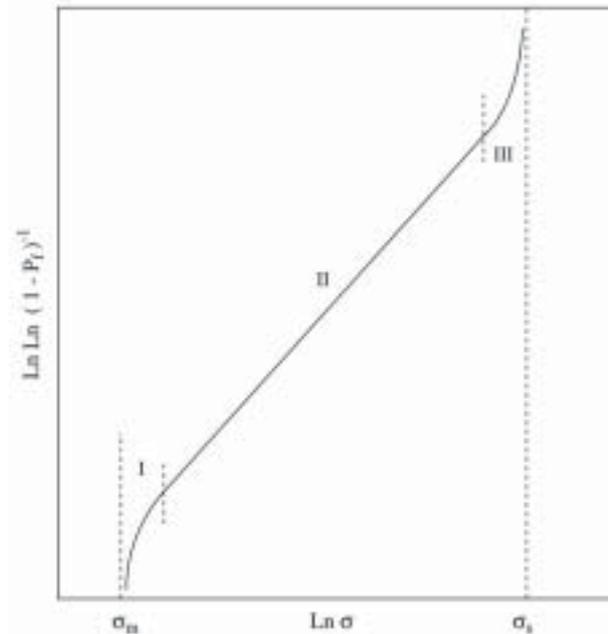


Figura 1. Diagrama de Weibull³.

nhois de dimensão nominal 30 x 30 cm, por isso optou-se em utilizar placas cerâmicas com dimensões de 40 x 40 cm.

Avaliação da resistência mecânica e módulo de Weibull

A carga de ruptura (CR) e o módulo de resistência à flexão (MRF) foram obtidos através do ensaio de resistência mecânica por flexão em três pontos utilizando-se um crômetro da Marca Gabbrielli – modelo CR4 + E1.

Tabela 1. Porcelanatos selecionados para a realização deste estudo, conjuntamente com suas codificações, tipologias e dimensões.

Origem	Tipo	Codificação	Tipologia	Dimensão Nominal (cm)	Espessura (mm)
Nacional	Porcelanato Polido Bianco	NPBRAN	Tinta única	30 x 30	> 7,5
	Porcelanato Polido Grafite	NPGRAF	“Sal e pimenta”	30 x 30	> 7,5
	Porcelanato Natural Grafite	NNGRAF	“Sal e pimenta”	30 x 30	> 7,5
	Porcelanato Polido Pérola	NPPER	Tinta única	30 x 30	> 7,5
	Porcelanato Polido Bianco	NPBIAN	“Sal e pimenta”	30 x 30	> 7,5
	Porcelanato Natural Bianco	NNBIAN	“Sal e pimenta”	30 x 30	> 7,5
	Porcelanato Esmaltado Tempio	NETEMP	Esmaltado	30 x 30	> 7,5
	Porcelanato Esmaltado Illuminato	NEILLU	Esmaltado	30 x 30	> 7,5
Italiano	Porcelanato Polido Pario	IPPAR	Tinta única	30 x 30	>7,5
	Porcelanato Polido Bardiglio	IPBAR	“Sal e pimenta”	30 x 30	>7,5
	Porcelanato Natural Bardiglio	INBAR	“Sal e pimenta”	30 x 30	>7,5
Espanhol	Porcelanato Polido Branco	EPBRAN	Tinta única	40 x 40*	>7,5
	Porcelanato Polido Tenerife	EPTEN	“Sal e pimenta”	40 x 40*	>7,5
	Porcelanato Natural Tenerife Trat	ENTRAT	“Sal e pimenta”	40 x 40*	>7,5

Não foram encontrados no comércio produtos espanhóis de dimensão nominal 30 x 30 cm, por isso optou-se em utilizar placas cerâmicas com dimensões de 40 x 40 cm.

Tabela 2. Granitos selecionados para a realização deste estudo, conjuntamente com suas codificações e dimensões.

Tipo	Codificação	Dimensão (cm)	Espessura (cm)
Granito Branco Cotton Polido	GBRAN	30 x 30	1,0
Granito Cinza Andorinha Polido	GCINZ	30 x 30	1,0
Granito Capão Bonito Polido	GCAP	30 x 30	1,0
Granito Café Labrador Polido	GCAFÉ	30 x 30	1,0
Granito Preto São Gabriel	GPRET	30 x 30	1,0

Inicialmente as placas foram secadas em estufa (110 °C) até peso constante. Após secagem, as amostras foram colocadas sobre os apoios do equipamento com a superfície de uso voltada para cima. A distância entre apoios utilizadas foi de 270 mm para peças com dimensões de 30 x 30 cm e de 370 mm para peças com tamanho nominal de 40 x 40 cm. A força foi aplicada de maneira gradativa, de modo a obter uma velocidade de aumento de carga à razão de (1 ± 0,2) MPa/s.

O número mínimo de corpos-de-prova a ensaiar conforme NBR 13818⁴, considerando-se as dimensões das placas em estudo, é de 10 peças, porém foram ensaiados 30 corpos de prova de cada tipo de porcelanato e granito, para possibilitar a aplicação da estatística de Weibull.

Para determinar a carga de ruptura da placa foi utilizada a equação abaixo:

$$CR = \frac{F \times L}{b}$$

Onde: CR = carga de ruptura (N)
F = força de ruptura (N)
L = distância entre as barras de apoio (mm)
b = largura do corpo-de-prova ao longo da ruptura após ensaio (mm)

Para determinar o módulo de resistência à flexão do material, foi utilizada a equação:

$$MRF = \frac{3F \times L}{2b \times e_{\min}^2}$$

Onde: MRF = módulo de ruptura (MPa)
 e_{\min} = mínima espessura do corpo-de-prova, medida na seção de ruptura, excluídas as bordas da seção de ruptura (mm).

A estatística de Weibull foi aplicada utilizando-se um número mínimo de 30 amostras, e o módulo de Weibull foi obtido através da tangente da curva de $\ln \ln (1/S)$ em função de $\ln MRF$, conforme equação:

$$\ln \ln (1/S) = \ln V - m \ln \sigma_o + m \ln MRF$$

Onde: S = probabilidade de sobrevivência
V = volume

σ_o = parâmetro de ajuste da equação
MRF = módulo de ruptura

Avaliação da absorção de água

A avaliação do valor de absorção de água dos porcelanatos e granitos foi realizada conforme procedimento descrito na Norma NBR 13818 (Anexo B).

Foram utilizadas cinco placas inteiras de cada produto para a avaliação da absorção de água. As amostras foram secas em estufa a (110 ± 5) °C até atingirem massa constante e resfriadas em um dessecador com sílica gel até atingirem a temperatura ambiente. Depois foram mantidas em água fervente durante 2 horas.

Após a fervura, as amostras foram resfriadas e, com o auxílio de um pano úmido, foram levemente enxugadas.

As amostras foram pesadas e a absorção de água calculada conforme equação abaixo:

$$Aa = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100$$

Onde: Aa = absorção de água (%)
 m_1 = massa seca (g)
 m_2 = massa saturada (g)

Análise Microestrutural

Para análise microestrutural dos porcelanatos, foi feito um mapeamento das peças, onde foram retiradas amostras do centro, da lateral e da seção transversal das peças. A superfície das amostras foi limpa com álcool e colada em um porta-amostra. Foi depositado ouro sobre o conjunto (porta-amostra e amostra) para possibilitar a condução do feixe de elétrons. A avaliação microestrutural foi feita em um microscópio eletrônico de varredura da marca PHILIPS acoplado ao um EDS (espectroscopia de dispersão de energia por raios-X).

Resultados e Discussões

Avaliação da Absorção de água

A tabela 3 apresenta os valores de absorção de água de todos os porcelanatos e granitos em estudo.

Analisando-se a tabela 3, verifica-se que todos os porcelanatos apresentaram valores de absorção de água bem inferiores ao limite estabelecido pela Norma NBR

Tabela 3. Valores de absorção de água, com os respectivos desvios padrões, dos porcelanatos e granitos em estudo.

Porcelanato		Granito	
Amostra	Absorção de água (%)	Amostra	Absorção de água (%)
NPGRAF	0,06 ± 0,01	GPRET	0,15 ± 0,07
NNGRAF	0,10 ± 0,02	GBRAN	0,29 ± 0,01
NPBRAN	0,11 ± 0,02	GCAFE	0,33 ± 0,11
NPPER	0,08 ± 0,00	GCINZ	0,42 ± 0,01
NPBIAN	0,11 ± 0,01	GCAP	0,21 ± 0,01
NNBIAN	0,07 ± 0,01		
NETEMP	0,17 ± 0,01		
NEILLU	0,24 ± 0,02		
IPPAR	0,06 ± 0,04		
IPBAR	0,13 ± 0,02		
INBAR	0,08 ± 0,01		
ENTRAT	0,09 ± 0,01		
EPNEV	0,10 ± 0,01		
EPTEN	0,09 ± 0,01		

Tabela 4. Valores de carga de ruptura (CR), carga de ruptura individual mínima (CR_{min}), módulo de resistência à flexão (MRF), módulo de resistência à flexão individual mínimo (MRF_{min}) e módulo de Weibull (m) dos porcelanatos em estudo.

Amostra	CR (N)	CR _{min} (N)	MRF (MPa)	MRF _{min} (MPa)	m
NPGRAF	1934,2 ± 57,1	1807,9	51,4 ± 1,5	47,7	37,1
NNGRAF	2197,9 ± 103,5	2011,5	54,6 ± 2,5	51,3	24,3
NPBRAN	1792,7 ± 85,5	1612,5	50,2 ± 2,3	45,0	23,7
NPPER	2017,3 ± 97,3	1795,8	61,6 ± 3,4	54,55	19,9
NPBIAN	2198,5 ± 151,9	1705,1	64,8 ± 4,8	49,20	13,8
NNBIAN	2595,5 ± 120,2	2355,6	64,9 ± 3,3	56,9	22,1
NETEMP	1965,4 ± 90,6	1809,3	41,2 ± 1,8	37,6	25,2
NEILLU	1911,9 ± 123,5	1587,4	39,0 ± 2,1	34,5	20,3
IPPAR	1923,9 ± 127,9	1745,5	47,9 ± 2,9	43,5	17,5
IPBAR	1893,9 ± 93,1	1716,7	49,1 ± 2,4	45,3	22,2
INBAR	1435,4 ± 83,4	1159,9	47,9 ± 3,2	38,1	15,7
ENTRAT	2636,9 ± 122,9	2402,0	45,9 ± 2,0	42,1	24,5
EPTEN	2220,9 ± 113,9	1962,8	43,3 ± 2,6	39,2	17,9
EPNEV	2017,8 ± 155,6	1773,5	38,3 ± 3,3	32,8	12,7

13818 (abaixo de 0,5% de absorção de água). O ensaio para medir absorção de água pode resultar em pequenas oscilações dos resultados, pois é muito difícil pesar a peça a úmido sem ter resquícios de umidade superficial.

Os porcelanatos esmaltados apresentaram valor de absorção de água maior que os produtos não esmaltados devido a maior porosidade presente na base cerâmica.

Os valores de absorção de água dos granitos, excetuando-se o GPRET, são superiores aos dos porcelanatos, mas são inferiores a 0,5%. O grau e tipo (inter ou intragranular) do microfissuramento, a heterogeneidade microestrutural e o tamanho da granulação influenciaram o valor de absorção de água dos granitos.

Avaliação da resistência mecânica e módulo de Weibull

A tabela 4 apresenta os valores de carga de ruptura (CR), carga de ruptura individual mínima (CR_{min}), módulo de resistência à flexão (MRF), módulo de resistência à flexão individual mínimo (MRF_{min}) e módulo de Weibull (m) para cada porcelanato em estudo. É importante ressaltar que todos os porcelanatos apresentaram espessura superior a 7,5 mm.

De acordo com a Norma NBR 13818, o grês porcelanato deve apresentar um módulo de resistência à flexão superior a 35 MPa, com um valor individual mínimo de 32 MPa, e carga de ruptura superior a 1300N (para produtos com espessura ≥ 6,5 mm) e de 700N (para espessura ≤ 7,5mm). Observando-se a tabela 4, verifica-se que

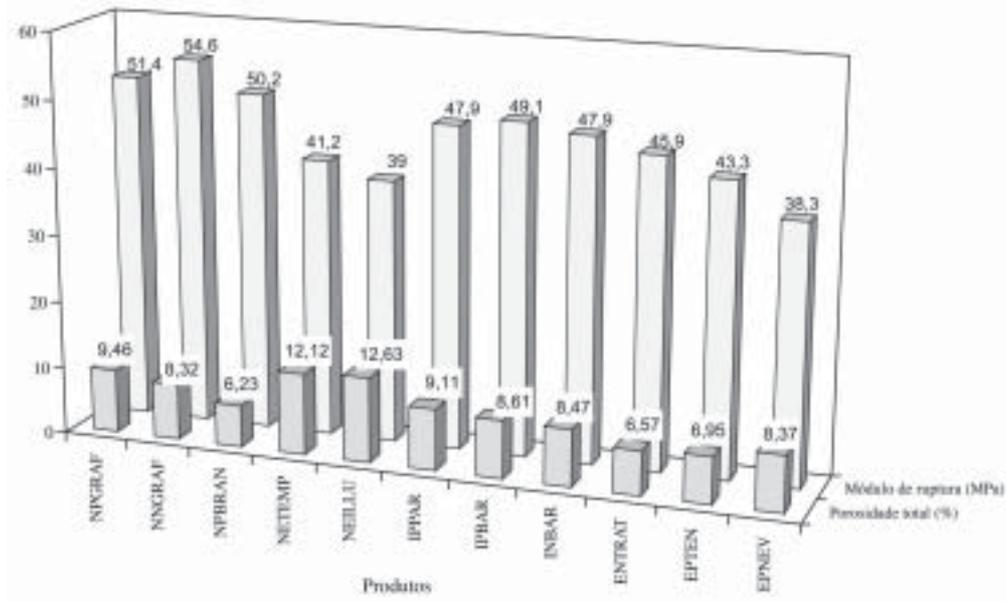


Figura 2. Correlação entre a porosidade total e o módulo de ruptura das amostras de grês porcelanato.

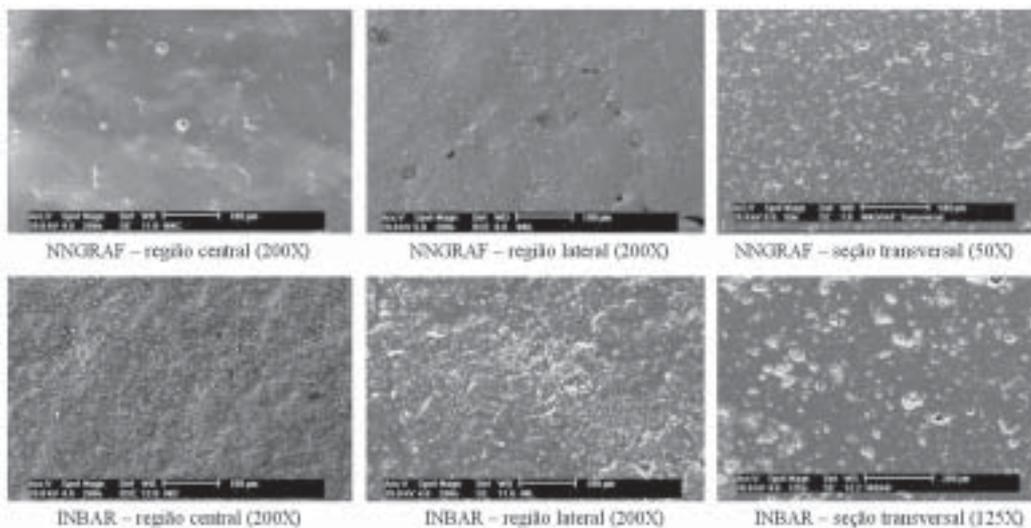


Figura 3. Micrografias da superfície (região próxima ao centro da peça e região próxima a lateral da peça) e da seção transversal dos porcelanatos naturais.

todos os produtos atenderam as exigências da referida norma, porém os produtos nacionais superaram os valores da Norma em cerca de 40% (para os porcelanatos NPBRAN, NPGRAF e NNGRAF) e em cerca de 70% (NPPER, NPBIAN, NNBIAN).

Fazendo-se uma correlação entre o módulo de ruptura e a porosidade total dos porcelanatos em estudo (figura 2), verifica-se que não há uma relação direta entre as duas propriedades, pois nem todos os produtos, com menor valor de porosidade total, apresentaram maior valor de resistência mecânica. Portanto, provavelmente, o maior defeito presente nas amostras (por exemplo o maior poro) influenciou o comportamento mecânico dos produtos e não

a quantidade de poros. Para comprovar este fato, foram analisadas as microestruturas dos diversos produtos em um microscópio eletrônico de varredura (figuras 3 a 5).

Analisando-se a figura 3, que apresenta as microestruturas dos porcelanatos naturais, se observa que a superfície do produto INBAR é muito rugosa, o que provavelmente colaborou para sua menor resistência mecânica, comparada a do porcelanato NNGRAF. Também se verifica uma porosidade distribuída por toda a seção transversal de todos os produtos. Mesmo estando as fotos com aumentos diferentes, se observa que a amostra NNGRAF tem uma quantidade maior de poros com tamanhos e formatos semelhantes distribuídos mais regularmente pela seção

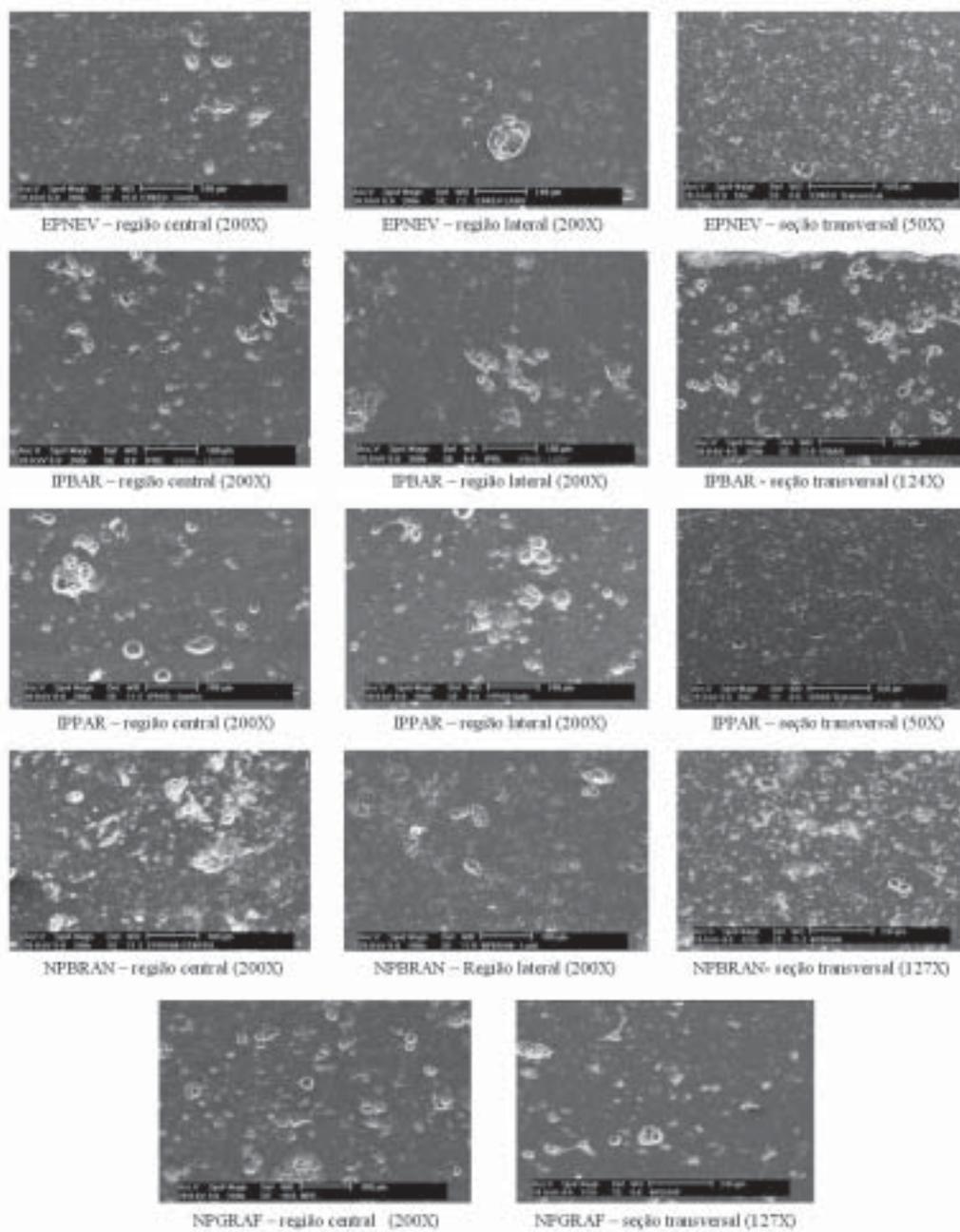


Figura 4. Micrografias da superfície (região próxima ao centro da peça e região próxima a lateral da peça) e da seção transversal dos porcelanatos polidos.

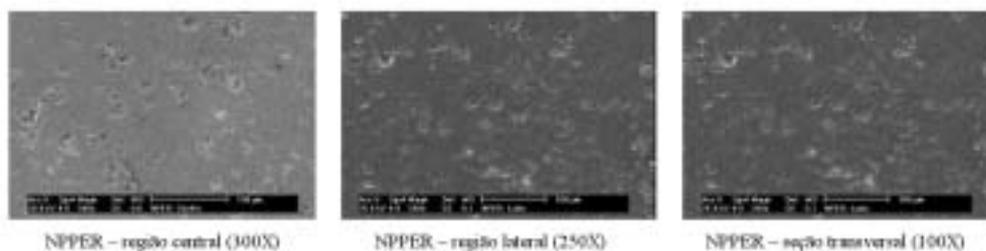


Figura 5. Micrografias da superfície (região próxima ao centro da peça e região próxima a lateral da peça) e da seção transversal do porcelanato NPPER.

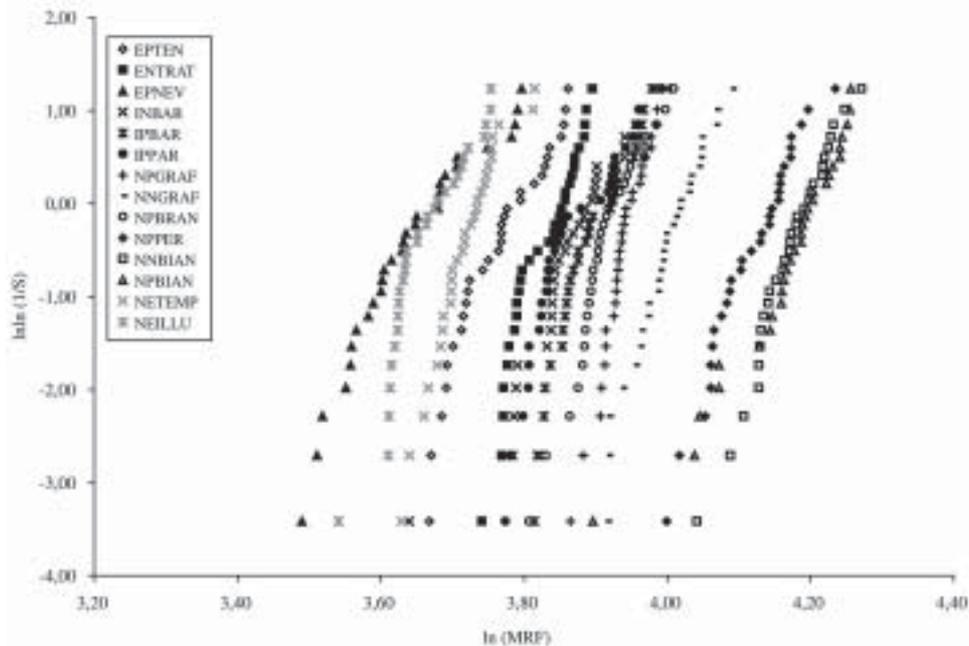


Figura 6. Diagrama de Weibull dos porcelanatos em estudo.

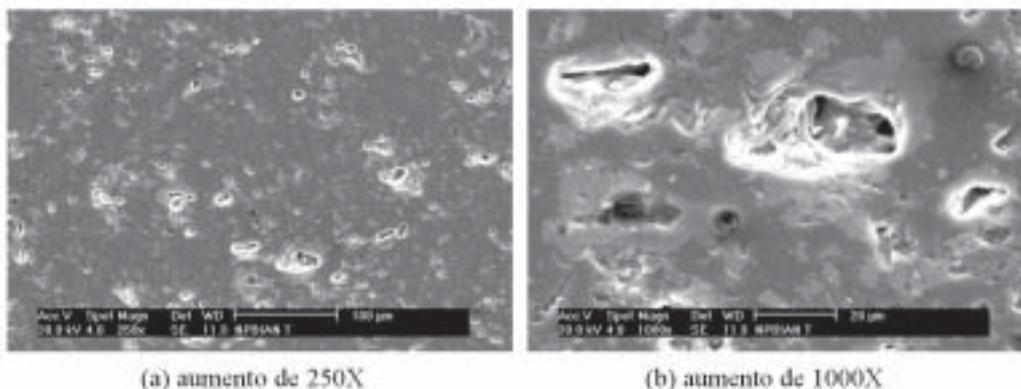


Figura 7. Micrografias da seção transversal da amostra NPBIAN.

transversal. Já a amostra INBAR apresenta famílias de poros com tamanhos diferentes, o que também contribuiu para sua menor resistência mecânica.

Diante das microestruturas apresentadas na figura 4, se observa que:

- as amostras EPNEV, IPPAR, IPBAR apresentam microestrutura heterogênea com presença de poros de grande tamanho, distribuídos aleatoriamente na superfície da peça. Estes poros de grande dimensão podem se constituir em pontos concentradores de tensão e afetar negativamente a resistência mecânica destes produtos, além de afetar a reprodutibilidade desta propriedade;
- as amostras NPBRAN e NPGRAF apresentam poros de grande tamanho distribuídos mais regularmente pela superfície dos produtos; este fato favoreceu a melhor reprodutibilidade da resistência mecânica des-

tes produtos. Estes poros de grande tamanho são menores que os das amostras espanholas e italianas;

A figura 5 apresenta as micrografias da amostra NPPER, produto que apresentou um dos mais altos valores de resistência mecânica comparado com os produtos em estudo. Esta amostra apresentou baixa porosidade com poros de pequeno tamanho, preenchidos com material semelhante à matriz, distribuídos regularmente.

Os diagramas de Weibull de todos os produtos em estudo estão apresentados na figura 6.

A heterogeneidade microestrutural das amostras EPNEV, EPTEN, INBAR e IPPAR justificam a menor reprodutibilidade da resistência mecânica (módulo de Weibull) destes produtos. Já a amostra NPBIAN, apesar de apresentar superficialmente poros de pequeno tamanho distribuídos homogênea, possui heterogeneidade microestrutural ao longo da seção transversal da peça (fi-

Tabela 5. Valores de carga de ruptura (CR), carga de ruptura individual mínima (CR_{\min}), módulo de resistência à flexão (MRF), módulo de resistência à flexão individual mínimo (MRF_{\min}) e módulo de Weibull (m) dos granitos em estudo. Amostra CR (N) CR_{\min} (N) MRF (MPa) MRF_{\min} (MPa) m

Amostra	CR (N)	CR_{\min} (N)	MRF (MPa)	MRF_{\min} (MPa)	m
GCAFE	771,5 ± 237,0	465,5	11,4 ± 2,3	7,5	5,4
GPRET	1546,2 ± 253,8	1156,8	22,8 ± 4,1	16,2	5,9
GBRAN	1434,1 ± 104,2	995,9	21,6 ± 1,5	14,9	11,9
GCINZ	1347,8 ± 380,4	502,7	16,1 ± 2,6	11,8	6,74
GCAP	637,3 ± 137,9	378,2	11,3 ± 2,2	7,4	5,4

Tabela 6. Características dos granitos em estudo.

		GCAP	GCINZ	GBRAN	GCAFE	GPRET
Quartzo		30,0	30,0	28,0	-	1,0
Granulação (mm)	Varição	3 a 20	0,5 a 5	-	0,5 a 10	0,5 a 5,5
	Predomin.	10	1 a 2	-	7	2
Porfírica (mm)	Matriz			0,5 a 2		
	Fenocristal			5 a 10		
Estrutura		Maciça	Maciça	Maciça	Laminada	Maciça
Textura		Inequigranular média a grossa	Equigranular Média a média/fina	Porfírica	Inequigranular Média/grossa	Inequigranular média/fina
Nº Microfissuras/ mm ²		0,47 (moderado)	1,25 (moderado)	0,1 (baixo)	2,8 (elevado)	3,6 (elevado)

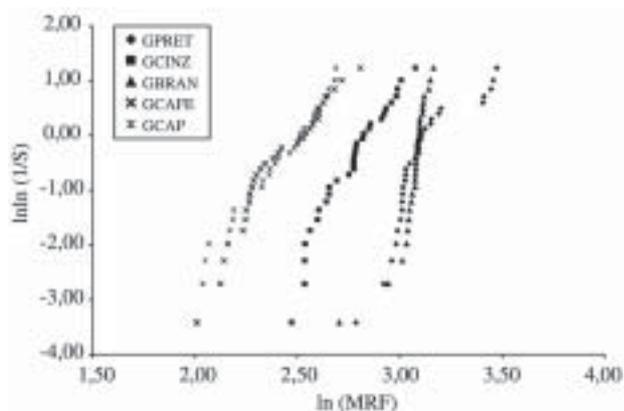


Figura 8. Diagrama de Weibull dos granitos em estudo.

gura 7), o que comprometeu a reprodutibilidade da resistência mecânica.

De maneira geral todos os porcelanatos apresentaram ótima característica de reprodutibilidade.

A tabela 5 apresenta os valores de carga de ruptura (CR), carga de ruptura individual mínima (CR_{\min}), módulo de resistência à flexão (MRF), módulo de resistência à flexão individual mínimo (MRF_{\min}) e módulo de Weibull (m) dos granitos em estudo. É importante ressaltar que todos os granitos possuíam espessura superior a 7,5 mm.

Avaliando-se a tabela 5, observa-se que a resistência mecânica destas rochas naturais são relativamente baixas quando comparadas ao produto sintético grês porcelanato, ou seja não atendem nem o valor individual mínimo de 32 MPa exigido por Norma para os porcelanatos. Porém todos os produtos em estudo atenderam o limite de 10,34 MPa estabelecido por Norma (ASTM C615) para os granitos. Os granitos também apresentaram módulo de Weibull inferior aos porcelanatos, o que já era esperado, pois são rochas naturais com grande heterogeneidade microestrutural, que faz com que a reprodutibilidade da resistência mecânica seja comprometida.

A figura 9 apresenta as amostras de granitos estudadas neste trabalho, onde se observa a diferença entre os tamanhos de cristais e fissuras presentes. Os tamanhos dos cristais e grau de microfissura estão apresentados na tabela 6.

O granito GPRET apresentou o maior valor de resistência mecânica entre todos os granitos. Mesmo tendo um alto grau de microfissuramento, sua granulação é pequena e o ancoramento entre os cristais é muito bom. O granito GBRAN apresenta uma granulação porfírica, onde se tem uma faixa de grânulos de tamanhos similares e alguns cristais com tamanho grande. Mesmo possuindo minerais de grande tamanho, seu grau de microfissuramento é baixo, o que contribuiu para a sua boa resistência mecânica.

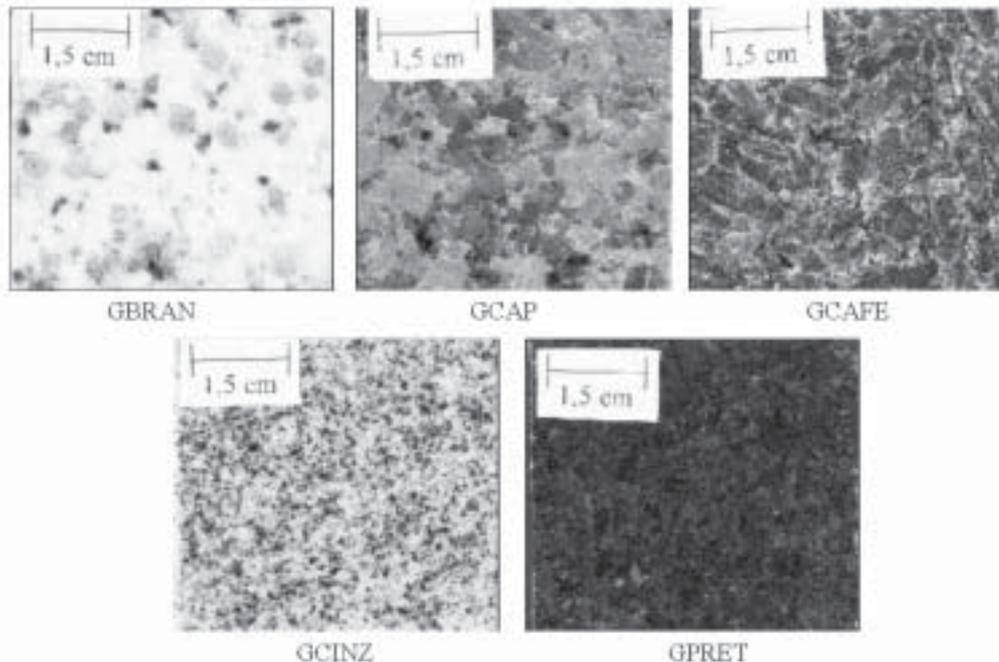


Figura 9. Amostras de granitos em estudo.

O granito GCINZ apresentou granulação média e grau de microfissuras moderado, resultando em um valor de resistência mecânica intermediário entre os granitos GBRAN e GCAP/GCAFE.

Conclusões

Os resultados de resistência mecânica demonstraram que os porcelanatos apresentaram altos valores de módulo de resistência à flexão, e em especial os produtos nacionais superaram em 40-70% o limite estabelecido pela NBR 13818. Os módulos de Weibull obtidos para todos os produtos foram bastante elevados, o que demonstra a grande reprodutibilidade da resistência mecânica dos porcelanatos. Os resultados indicaram que o tamanho dos poros pode estar sendo o defeito crítico que determina a resistência mecânica dos porcelanatos. Seria muito interessante a realização de um estudo para averiguar a tenacidade a fratura dos porcelanatos e assim, possibilitar o cálculo do tamanho do defeito crítico e comprovar se realmente é o poro.

Os porcelanatos apresentaram valor de resistência mecânica superior aos granitos em estudo. A resistência mecânica dos granitos depende principalmente do tamanho dos cristais e do grau de microfissuramento presentes. Como já era esperado, os granitos apresentaram módulos de reprodutibilidade inferiores aos porcelanatos, o que pode

ser atribuído a sua microestrutura heterogênea formada pela natureza.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESP e ao CNPq pelo apoio financeiro para o desenvolvimento do trabalho, aos professores Dr. Antonio Carlos Artur e Dr. Eleno de Paula Rodrigues pelo apoio técnico nas discussões do trabalho e aos técnicos Rene Ramos de Oliveira e Nildemar A. M. Ferreira do laboratório de Microestrutura Eletrônica de Varredura do IPEN pelo auxílio na realização da análise microestrutural.

Referência Bibliográfica

1. Biffi, G. – *Gres Porcellanato: tecnologia, produzione, mercato* – Faenza Editrice, 1994
2. Amoros, J.L.; Sanchez, E.; Cantavella, V.; Monzó, M.; Timellini, G.; Brindley, C. – *Propiedades mecánicas de los soportes cerámicos crudos* – QUALICER'2000.
3. Zanotto, E.D.; Migliore, A. R – *Propriedades Mecânicas de Materiais Cerâmicos: Uma Introdução* – Cerâmica, Volume 37, Nº 247, p. 7-16, Janeiro/Fevereiro, 1991.
4. Norma NBR 13818 – *Placas Cerâmicas para Revestimento* – *Métodos de Ensaio*, 1997.