

## Fundentes: Como Escolher e Como Usar

**Fabiana Perez\***

Gruppo Minerali do Brasil  
\*e-mail: perez@gruppominerali.com

**Resumo:** O presente trabalho comparou o desempenho de alguns fundentes de mercado com diferentes composições químicas e mineralógicas. O desempenho dos feldspatos foram avaliados de duas maneiras: 1) isoladamente; e 2) em composições de porcelanato. Os resultados laboratoriais indicam que o desempenho isolado do fundente não é o mesmo que seu desempenho em uma composição de porcelanato. Os resultados sugerem que a correta avaliação de um feldspato deve ser feita através da avaliação do seu desempenho em uma composição.

**Palavras-chave:** fundentes, nefelina, feldspato, porcelanato.

### 1. introdução

A produção de porcelanatos exige que os produtos tenham absorção de água próxima à zero. Na etapa de prensagem, mesmo com uma pressão maior do que a utilizada na fabricação de monoporosas, a mesma não é suficiente para eliminar os vazios entre as partículas. O preenchimento destes espaços ou poros precisa ser feito com um componente que esteja no estado líquido durante o processo de queima, que possua baixa viscosidade para que penetre nos capilares e que possa dissolver os grãos refratários maiores que não reagiram.

O preenchimento dos poros depende do volume da fase líquida formada e da sua viscosidade. O volume de fase líquida depende da composição química, mineralógica e da temperatura. Já a viscosidade da fase líquida depende da composição química e da temperatura.

Os elementos da tabela periódica localizados nas famílias dos alcalinos e alcalinos terrosos auxiliam na diminuição da temperatura de fusão, induzindo à formação de uma fase líquida a menores temperaturas. Possuem ainda a capacidade de dissolução de grãos refratários como o quartzo.

A lógica pode induzir à conclusão de que quanto maior o teor de álcalis nas matérias-primas (fundente) maior seria o volume de fase líquida formada com baixa viscosidade e, portanto, maior seria o preenchimento dos vazios levando à absorção de água próxima de zero em baixas temperaturas. Entretanto, na prática observa-se que o excesso de fase líquida e/ou baixa viscosidade leva à deformação piropilástica do suporte. Este comportamento é acentuado para grandes formatos.

Desta maneira é conveniente que haja um equilíbrio entre o “poder de fusão” do fundente e a deformação que ele pode causar.

#### 1.1. Tipos de fundentes

Os feldspatos são os fundentes mais comumente empregados. Em função de sua origem geológica, podem ter diversas composições químicas e mineralógicas, como mostra a Tabela 1. Na classe dos feldspatóides, dentre os mais utilizados estão o fonolito e a nefelina.

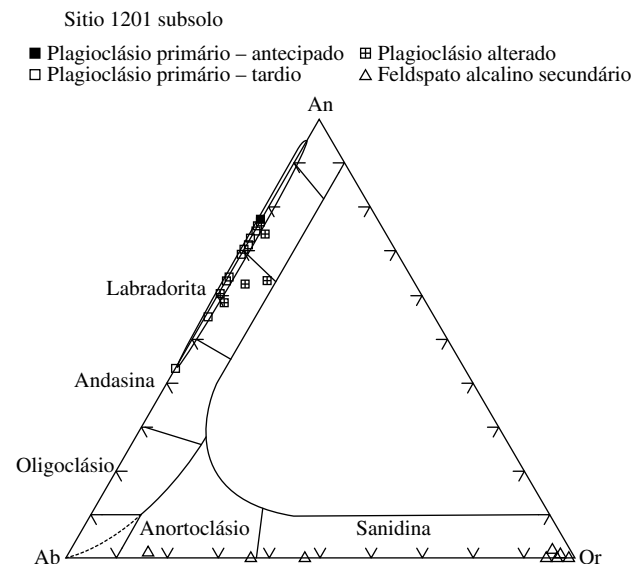
O diagrama de Barker<sup>1</sup> (Figura 1) mostra as diferentes composições mineralógicas de feldspatos em função do enriquecimento das fases Anortita (An), Albita (Ab) ou Ortoclásio.

Os minerais classificados como feldspatos ou feldspatóides possuem sensíveis diferenças químicas e mineralógicas. Sendo

essas diferenças capazes de alterar seu comportamento fundente, fica a pergunta: Como escolher o fundente adequado a um processo específico?

**Tabela 1.** Composição mineralógica.

Nome	%NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> (%Ab)	%CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> (%An)
Albita	100-90	0-10
Oligoclase	90-70	10-30
Andesina	70-50	30-50
Labradorita	50-30	50-70
Bytownita	30-10	70-90
Anortita	10-0	90-100



**Figura 1.** Diagrama de Barker<sup>1</sup>.

## 2. Procedimento Experimental

Para a realização deste estudo, o mesmo foi dividido em três etapas. Sendo a primeira a caracterização isolada de cada fundente, a segunda a caracterização de misturas (*blends*) e a terceira a avaliação do comportamento do fundente em uma composição típica de porcelanato.

Foram selecionados 4 tipos de fundentes disponíveis no mercado nacional, utilizados na produção de porcelanatos brasileiros.

Para a primeira e segunda etapas, as amostras foram previamente moídas a seco até alcançarem a mesma distribuição granulométrica. A seguir, as mesmas foram caracterizadas quimicamente por fluorescência de raios X, e avaliadas quanto à sua fusibilidade através de cones de fusão e curva de gresificação. Para a terceira etapa, além da curva de gresificação, as amostras foram caracterizadas por análise colorimétrica.

## 3. Resultados

### 3.1. 1ª Etapa – Caracterização individual

A Tabela 2 mostra a análise química de cada uma das amostras estudadas.

É importante ressaltar os teores variáveis de sódio e potássio. Sendo os feldspatos Na:K I e Na:K II, com teores praticamente iguais de sódio e potássio. Já o feldspato K, tem elevado teor de potássio e menor teor de sódio. Os feldspatos Li I e Li II, possuem lítio. Para a nefelina, chama atenção o alto teor de alumina e sódio/potássio. O teor de ferro varia de 0,1 a 0,6%.

A Figura 2 mostra a distribuição granulométrica das amostras estudadas. Observa-se que a distribuição é muito próxima para todas as amostras, colocando-as nas mesmas condições iniciais.

As Figuras 3 e 4 mostram, respectivamente, a absorção de água e a retração linear de queima das amostras. As temperaturas estudadas variaram de 1180 a 1230 °C.

O comportamento das amostras pode ser dividido em dois grupos:

- um grupo mais fundente com o feldspato Li I, Li II e nefelina; e
- outro grupo menos fundente com o feldspato Na:K I, Na:K II e K

Os cones de fusão (Figura 5) estão de acordo com as curvas de gresificação, mostrando a divisão em dois grupos e sendo a nefelina menos fundente que os feldspatos Li I e Li II.

Outro resultado interessante desta etapa preliminar é a cor de queima. O feldspato que possui o menor teor de ferro (K) não é o mais branco, em contraste com a nefelina que possui quase 0,3% de ferro e é branca.

### 3.2. 2ª Etapa – Formação de blends

Partindo do pressuposto de que a composição química está diretamente ligada à quantidade e viscosidade da fase líquida formada, o estudo foi para sua segunda etapa onde o feldspato com comportamento menos fundente foi mesclado com nefelina e dolomita, buscando uma “potencialização” de sua capacidade fundente.

O feldspato utilizado nesta etapa foi o Na:K I.

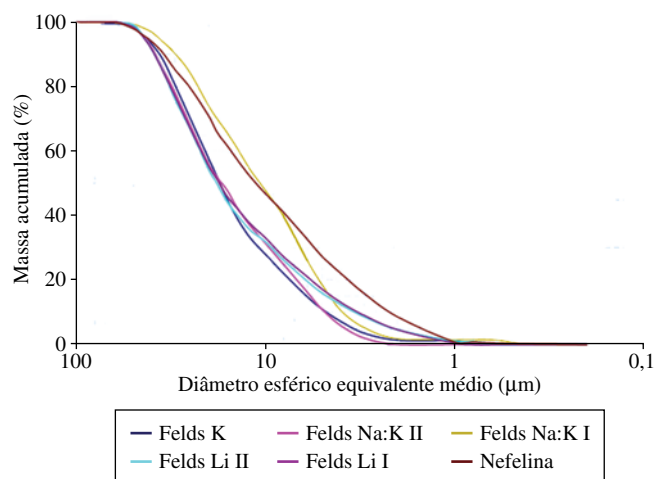


Figura 2. Distribuição granulométrica das amostras.

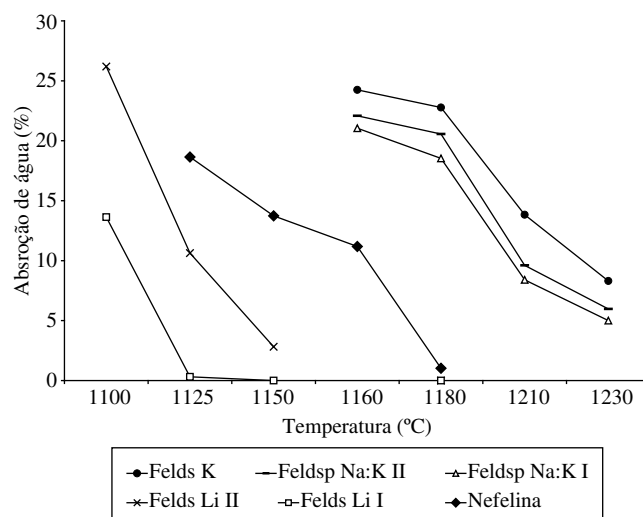


Figura 3. Absorção de água dos fundentes (isolados).

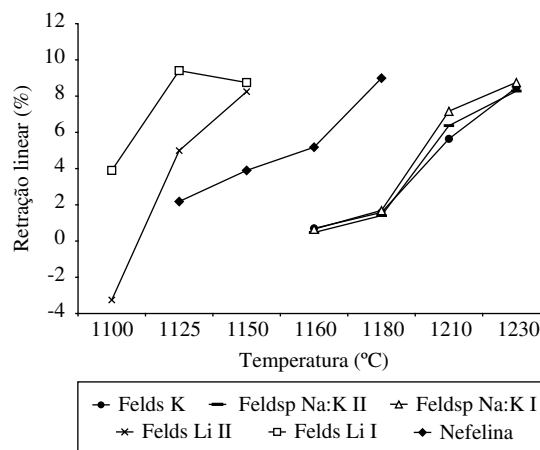


Figura 4. Retração linear dos fundentes (isolados).

Tabela 2. Análise química dos fundentes estudados.

Amostra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Li <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO
Feldspato Na:K I	78,12%	12,70%	0,209%	4,06%	4,37%		0,01%	0,38%	
Feldspato Na:K II	78,27%	12,51%	0,207%	4,11%	4,39%		0,01%	0,39%	
Feldspato K	66,43%	17,19%	0,113%	2,94%	10,13%			0,14%	
Feldspato Li I	76,25%	15,58%	0,640%	3,97%	2,16%	0,97%	<0,001	0,52%	0,06%
Feldspato Li II	77,62%	15,94%	0,200%	2,85%	1,99%	1,72%	<0,001	0,12%	<0,001
Nefelina	63,22%	19,85%	0,260%	7,10%	7,89%		0,14%	0,46%	0,02%

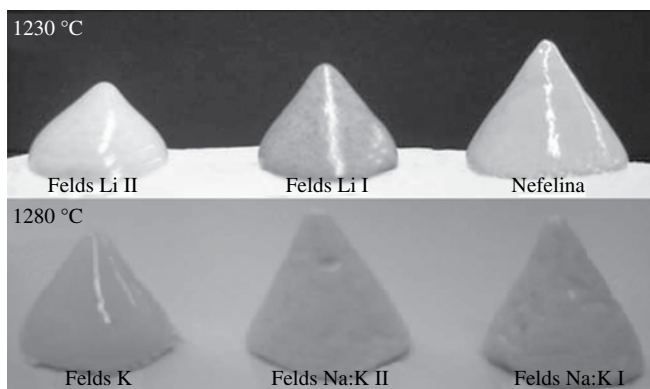


Figura 5. Cones de fusão dos fundentes (isolados).

### 3.2.1. Blend de feldspato e nefelina

A Figura 6 mostra o comportamento do feldspato Na:K quando misturado com nefelina nas proporções de 10, 20, 33, 50 e 100%. Observa-se que conforme o teor de nefelina aumenta, diminui a temperatura na qual a absorção chega a zero.

Uma observação importante é a estabilidade dimensional que o feldspato Na:K, misturado com diversos teores de nefelina, apresenta nas diversas temperaturas.

### 3.2.2. Blend de feldspato e dolomita

Foi adicionada dolomita ao feldspato Na:K I, nas proporções de 3, 6, 9 e 12%. As amostras foram queimadas à 1180 e a 1210 °C para avaliação da absorção de água e retração linear.

Na Figura 7 observa-se que ao se aumentar a quantidade de dolomita no feldspato, a absorção de água tende a zero, mantendo a temperatura em 1180 °C.

Ao se aumentar a temperatura para 1210 °C (Figura 8), o teor de dolomita praticamente não altera o teor de absorção de água e retração linear.

Os cones de fusão (Figura 9) mostram, comparativamente, o desempenho da dolomita e nefelina na aditivagem do feldspato Na:K.

Pelos cones de fusão observa-se que o efeito da dolomita sobre o feldspato é mais pronunciado do que a nefelina.

Os resultados sugerem que para obter valores de absorção de água próximos a zero, ou se trabalha com pequenas adições de dolomita (até 3%) a elevadas temperaturas (1210 °C) ou com teores maiores de dolomita (9%) em menores temperaturas (1180 °C).

Comparando o comportamento isolado do feldspato Na:K (Figuras 10 e 11) e feldspato K com as aditivagens de dolomita (F/D) e nefelina (F/N) sobre o feldspato Na:K, fica claro o aumento do poder de fundência dos mesmos, observando-se a redução da absorção de água para as temperaturas de 1180 e 1210 °C. Os resultados dos feldspatos Li I e Li II não estão no gráfico porque a absorção já está próxima a zero a 1150 °C.

Esta segunda etapa do trabalho mostrou que aumentado o teor de álcalis (alcalinos e alcalinos terrosos) há um favorecimento na fundência do feldspato Na:K. Por outro lado, a mistura de um feldspato menos fundente (Na:K) com um feldspatóide mais fundente (nefelina) torna-se interessante pelo fato da elevada fundência aliada à estabilidade dimensional, indicando uma baixa deformação pirolástica.

### 3.3. 3ª Etapa – Testes em formulação de porcelanato

A terceira etapa do trabalho teve como objetivo avaliar se o comportamento dos fundentes caracterizados isoladamente seria mantido em uma formulação típica de porcelanato técnico

A massa foi compactada com umidade de 7,5% e a pressão de 450 kgf/cm<sup>2</sup>.

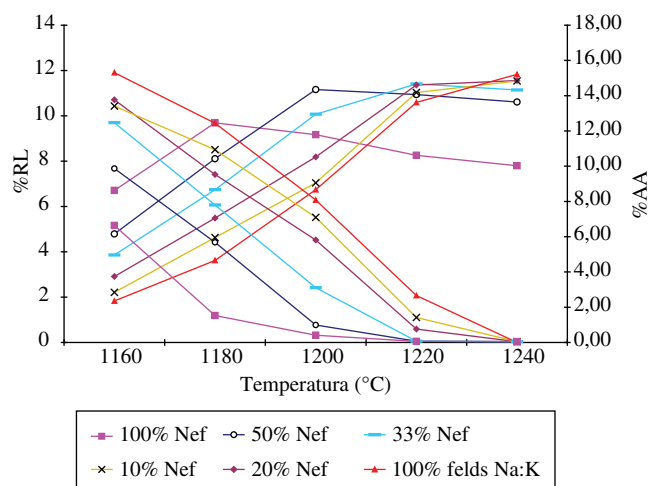


Figura 6. Curva de gresificação de feldspato Na:K com nefelina em diversas porcentagens.

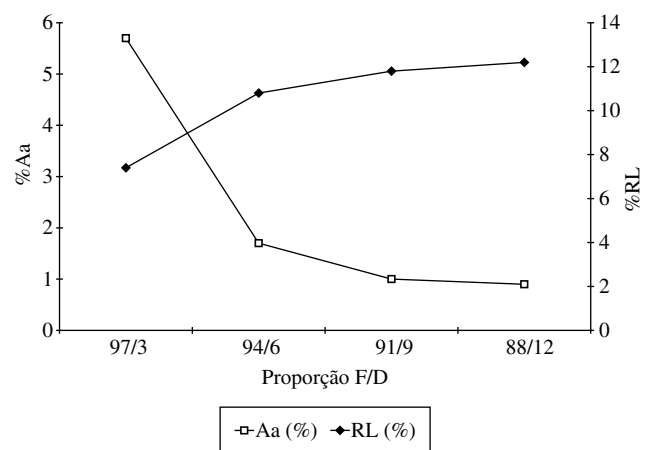


Figura 7. Absorção de água e retração linear para diversos teores de dolomita no feldspato Na:K a 1180 °C.

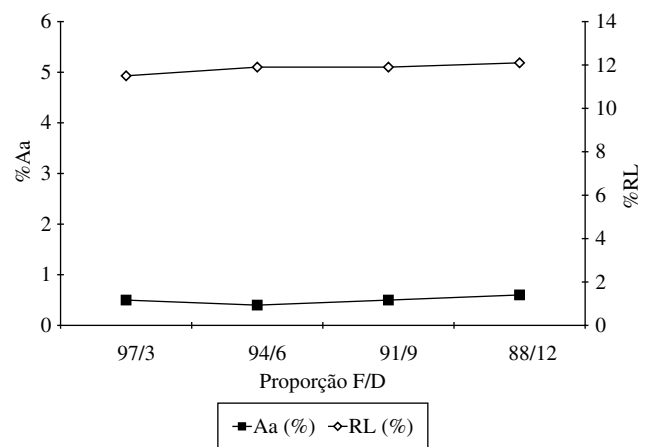


Figura 8. Absorção de água e retração linear para diversos teores de dolomita no feldspato Na:K a 1210 °C.

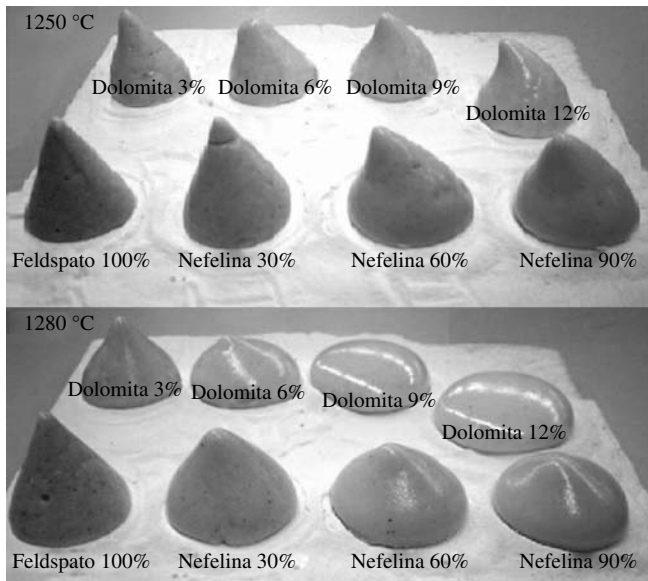


Figura 9. Cones de fusão de feldspato Na:K com dolomita e nefelina.

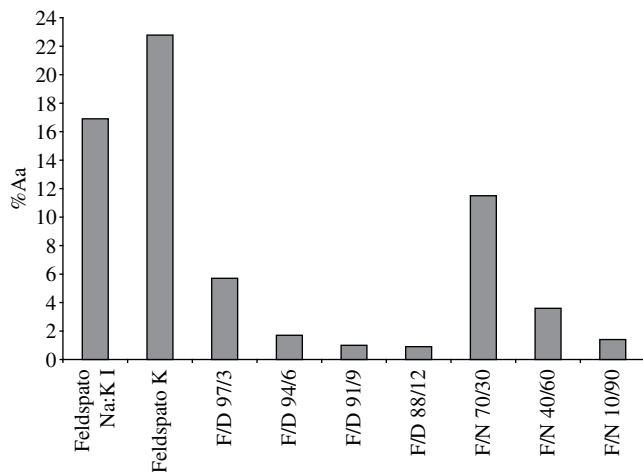


Figura 10. Comparação do feldspato com e sem aditivção a 1180 °C.

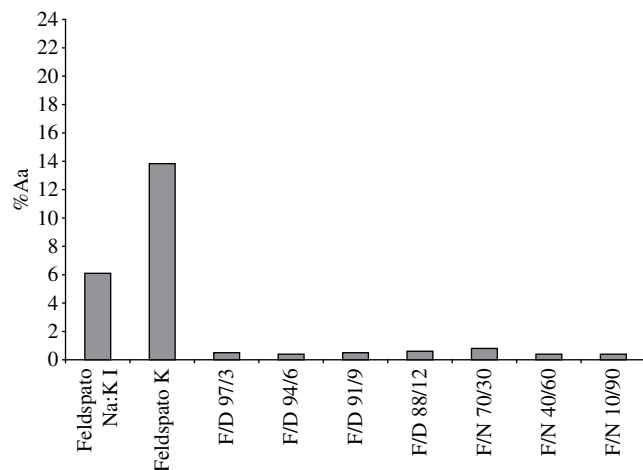


Figura 11. Comparação do feldspato com e sem aditivção a 1210 °C.

A Tabela 3 mostra as composições estudadas.

As composições foram, basicamente, uma mistura de argilas, caulins e fundentes. Manteve-se fixo a quantidade de argilas e caulins, variando-se a quantidade e o tipo de fundente, sendo duas formulações com feldspato Li I e Li II, outra com feldspato sódico-potássico (Na:K) puro ou misturado com diferentes teores de dolomita (F/D e F/D II) e diferentes teores de nefelina (F/N, F/N II e N).

Os resultados da curva de gresificação (Figura 12) são surpreendentes para a nefelina e contrários aos comportamentos isolados dos fundentes.

A composição com comportamento menos fundente é a com feldspato Na:K. Adicionando-se um pouco de dolomita (3%) ou um pouco de nefelina (30%) ao feldspato Na:K, há um sensível deslocamento para baixo da curva de absorção de água chegando, aproximadamente, aos mesmos valores obtidos da formulação com o feldspato Li II. No comportamento isolado, o feldspato Li I e II apresentava uma fundência superior às obtidas com adição de nefelina e dolomita, já na massa, suas fundências podem ser consideradas equivalentes.

Ao se adicionar mais dolomita (10%) ao feldspato Na:K, a fundência da composição aumenta chegando, aproximadamente, aos mesmos valores que a composição com o feldspato Li I. Novamente, o comportamento na composição foi diferente do comportamento isolado.

A grande surpresa está no comportamento da nefelina. Quando presente na composição na proporção de 90% com 10% de feldspato Na:K (F/D II) ou 100% nefelina (N), a fundência da composição aumenta significativamente. Sendo o comportamento na composição contrário ao comportamento isolado. Outro fato interessante é

Tabela 3. Composições de grês porcelanato.

Matérias-primas	Li I	Li II	Na:K	F/N	F/N II	F/D	F/D II	N
argila A	15	15	15	15	15	15	15	15
argila B	15	15	15	15	15	15	15	15
argila C	18	18	18	18	18	18	18	18
Caulim	10	10	10	10	10	10	10	10
<b>Feldspato Li II</b>	<b>42</b>							
<b>Feldspato Li I</b>		<b>42</b>						
<b>Feldspato Na:K II</b>			<b>42</b>	<b>29,4</b>	<b>4,2</b>	<b>40,7</b>	<b>37,8</b>	
<b>Nefelina</b>				<b>12,6</b>	<b>37,8</b>			<b>42</b>
<b>Dolomita</b>						<b>1,3</b>	<b>4,2</b>	

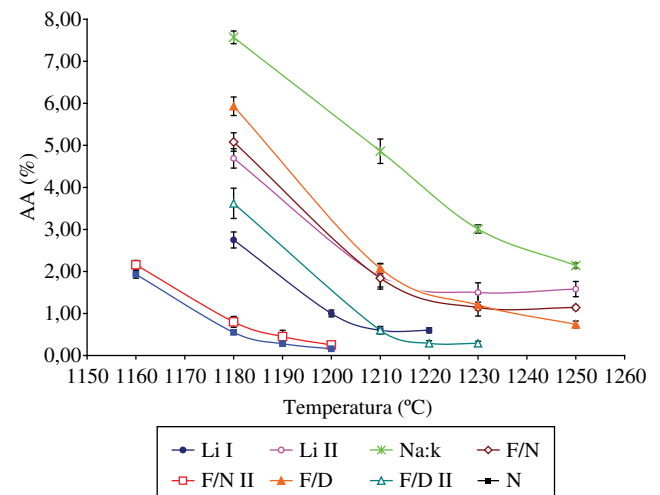


Figura 12. Curva de gresificação das composições de porcelanato – Absorção de água.

que com a mistura de 10% de feldspato Na:K (F/N II) na nefelina, o comportamento é muito próximo ao da nefelina 100% (N) como fundente na composição. Com a vantagem de ter uma estabilidade dimensional ligeiramente maior do que a nefelina 100% (N), como mostra a Figura 13. Outro resultado interessante é justamente a estabilidade dimensional apresentada pela nefelina. Neste ponto, o comportamento na composição é semelhante ao seu comportamento isolado. A Figura 6 mostra a estabilidade dimensional da nefelina nas temperaturas de 1160 até 1240 °C.

A análise colorimétrica (Tabela 4) mostra a cor de queima das composições em função dos diferentes fundentes utilizados. O valor do L não varia muito, com exceção das composições F/N II e N, onde os parâmetros do vermelho (a) e amarelo (b) estão ligeiramente alterados.

#### 4. Conclusões

A principal conclusão do estudo foi que não é possível escolher o fundente adequado para uma composição de porcelanato tendo como parâmetro seu comportamento isolado. Os resultados sugerem que se deve avaliar o comportamento em uma formulação cerâmica, pois as variações da relação Na/K podem provocar uma variação na fusibilidade da composição.

De uma maneira geral, as matérias-primas com alto poder de fusão costumam apresentar uma forte instabilidade dimensional. Neste sentido, o comportamento da nefelina é superior, pois alia alto poder fundente com estabilidade dimensional.

Além dos bons resultados que as composições de porcelanato contendo nefelina apresentaram, as composições que mesclam fundentes como nefelina/feldspatoNa:K e dolomita/ feldspatoNa:K, também apresentam valores interessantes de fundência e estabilidade dimensional.

#### Agradecimentos

Agradecemos ao LaRC e a Mineral Resources pelas análises laboratoriais.

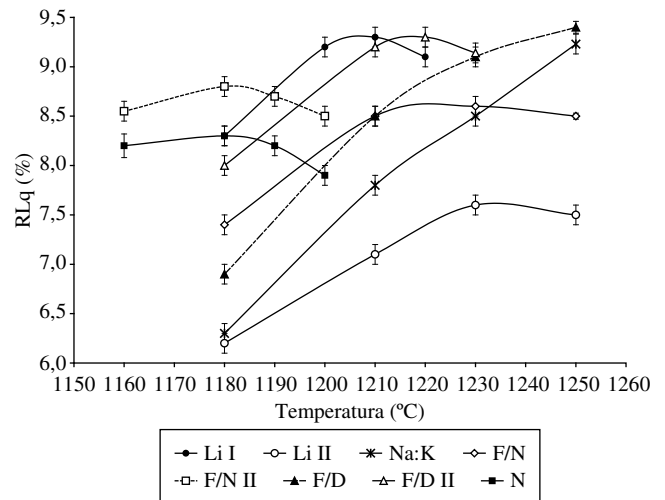


Figura 13. Curva de gresificação das composições de porcelanato – Retração linear.

Tabela 4. Colorimetria.

Formulações	L	a*	b*
Li I	70,55	1,12	8,37
Li II	68,6	1,02	8,21
Na:K	69,99	0,96	7,56
F/N	68,06	1,64	8,04
F/N II	68,7	3,62	11,09
F/D	67,33	0,71	7,17
F/D II	66,33	1,61	8,7
N	67,26	3,24	10,54