

APLICAÇÃO DO SOFTWARE THERMOCALC PARA SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE RESFRIAMENTO DE VIDROS OBTIDOS A PARTIR DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS ¹

Joner Oliveira Alves²

Denise Crocce Romano Espinosa³

Jorge Alberto Soares Tenório⁴

Resumo

A curva de resfriamento é um dado importante quando tratamos de materiais vítreos, uma vez que a condição de resfriamento influencia diretamente na estrutura do material formado. Neste trabalho foi utilizado o software ThermoCalc para a simulação do processo de resfriamento de vidros obtidos a partir de resíduos industriais. Como resultados deste trabalho foram apresentadas as simulações das curvas de resfriamento de vidros obtidos com as composições usuais, encontradas na literatura, e com as composições elaboradas através do emprego da escória de aciaria e do resíduo de corte do granito. Assim, foi possível realizar uma comparação entre as curvas de resfriamento e estabelecer a melhor faixa de composição dos materiais a serem empregados para a fabricação de vidros a partir destes resíduos industriais.

Palavras-chave: ThermoCalc; Resfriamento; Vidros; Resíduos.

APPLICATION OF SOFTWARE THERMOCALC FOR COOLING PROCESS SIMULATION OF GLASS OBTAINED FROM INDUSTRIAL WASTES

Abstract

The cooling curve is an important information when dealing about vitreous materials, since the condition of cooling affects directly the structure of formed material. In this work was used the ThermoCalc software for the simulation of glass cooling made from industrial wastes. As results of this work are presented simulations of the glass cooling curves obtained with usual compositions, found in the literature, and with the compositions produced by use of steelmaking slag and waste from granite cutting. Thus, it was possible to make a comparison among the cooling curves and establish the best range of materials composition to be used for the production of glass from industrial waste.

Keywords: ThermoCalc; Cooling; Glass; Wastes.

¹ *Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

² *Doutorando, Universidade de São Paulo (USP), Mestre em Eng. de Materiais.*

³ *Professora livre docente, Universidade de São Paulo (USP), Doutora em Eng. Metalúrgica.*

⁴ *Professor titular, Universidade de São Paulo (USP), Doutor em Eng. Metalúrgica.*

1 INTRODUÇÃO

O aproveitamento, total ou parcial, de rejeitos constitui uma vantagem que coloca o fabricante em uma posição fortemente competitiva no mercado, devido não apenas à questão econômica, como também à oportunidade de veiculação deste princípio como marketing ecológico.⁽¹⁾

Neste trabalho procurou-se estudar o comportamento, em altas temperaturas, do resíduo do corte de granito e da escória de aciaria com o intuito de estabelecer certos fatores para o emprego destes resíduos industriais na produção de materiais vítreos, mais especificamente da lâ de rocha.

A produção mundial de aço bruto em 2007, alcançou a cifra de 1,3 bilhões de toneladas registrando um novo recorde de produção.⁽¹⁾ Considerando que para cada tonelada de aço produzido são geradas cerca de 150 kg de escória de aciaria, ou seja, 15% do total produzido, somente no ano de 2007 foram produzidos aproximadamente 200 milhões de toneladas deste resíduo.⁽²⁾

Outro setor industrial com grande produção de resíduo é o da indústria de corte do granito. Durante o processo de extração do granito, mais especificamente durante o corte da rocha, são gerados resíduos grossos e finos. Estimativas apontam que uma empresa pode produzir aproximadamente 35 toneladas de pó de granito em apenas um mês.⁽³⁾

A lâ de rocha possui estrutura vítrea e como tal, suporta quantidades de diferentes elementos em solução, sendo, portanto, ideal para assimilar resíduos complexos em suas composições. Devido às suas características termo-acústicas, a lâ de rocha atende aos mercados de construção civil, industrial, automotivo, entre outros. Outras importantes qualidades deste material são a não propagação de chamas, a não emissão de fumaças tóxicas e a elevada resistência ao fogo.^(4,5)

Teoricamente, é possível formar vidros de qualquer material, bastando que este seja resfriado suficientemente rápido para tanto. Entretanto, na prática, o reaproveitamento de resíduos industriais para a produção de vidros deve passar pela análise de certas propriedades dos materiais. A curva de resfriamento é um dado extremamente importante quando tratamos de materiais vítreos, uma vez que a condição de resfriamento influencia diretamente nas estruturas dos materiais formados.^(6,7)

O software ThermoCalc foi empregado para a realização dos cálculos dos dados termodinâmicos e obtenção dos gráficos de resfriamento dos materiais. Com estes dados foi possível estabelecer a melhor faixa de composição dos resíduos empregados visando a produção da lâ de rocha.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foi utilizado o software ThermoCalc (versão "n") para os cálculos dos dados termodinâmicos e obtenção dos gráficos de resfriamento.

O ThermoCalc é um software de cálculos termodinâmicos que através do emprego de sub-rotinas baseadas no método dos mínimos quadrados realiza a minimização das funções e parâmetros de energia livre de Gibbs das fases e componentes de um sistema, em equilíbrio ou não, de qualquer ordem.⁽⁸⁾

O procedimento para a obtenção dos resultados da simulação consiste em inserir as porcentagens de cada elemento na tela do ThermoCalc, o software processa estes dados e fornece um gráfico onde são mostradas as transições de fases, bem como as temperaturas em que estas ocorrem.

Foram elaboradas as seguintes curvas de resfriamento das lâs de rocha:

- **Literatura** - com base em uma composição média de valores encontrados na literatura;
- **Mistura A** - através do emprego do resíduo de corte do granito como matéria-prima principal;
- **Mistura B** - através do emprego da escória de aciaria elétrica como matéria-prima principal;
- **Mistura C** - através do emprego de uma mistura da escória de aciaria elétrica e do resíduo de corte do granito como matérias-primas.

A Tabela 1 mostra os valores das composições químicas aplicadas para a elaboração dos gráficos de resfriamentos. As porcentagens dos elementos foram aproximadas para o número inteiro mais próximo antes de serem lançadas no software ThermoCalc.

Tabela 1. Composição química das lâs de rochas empregadas neste trabalho

Elementos	Composições Químicas (% de peso)			
	Literatura	Mistura A	Mistura B	Mistura C
SiO ₂	47,0	48,0	44,0	48,0
CaO	20,0	18,0	23,0	20,0
MgO	11,0	10,0	9,0	9,0
Al ₂ O ₃	12,0	14,0	11,0	12,0
Fe ₂ O ₃	8,0	8,0	11,0	8,0
Na ₂ O	2,0	2,0	2,0	3,0

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir são exibidos os resultados das simulações realizadas através do software ThermoCalc. São apresentadas as curvas de resfriamento das lâs de rocha, ou seja, a variação da composição do material (em porcentagem de peso) em função da temperatura (em grau Celsius).

A Figura 1 mostra a curva de resfriamento com base nas composições químicas da lâ de rocha citadas na literatura.

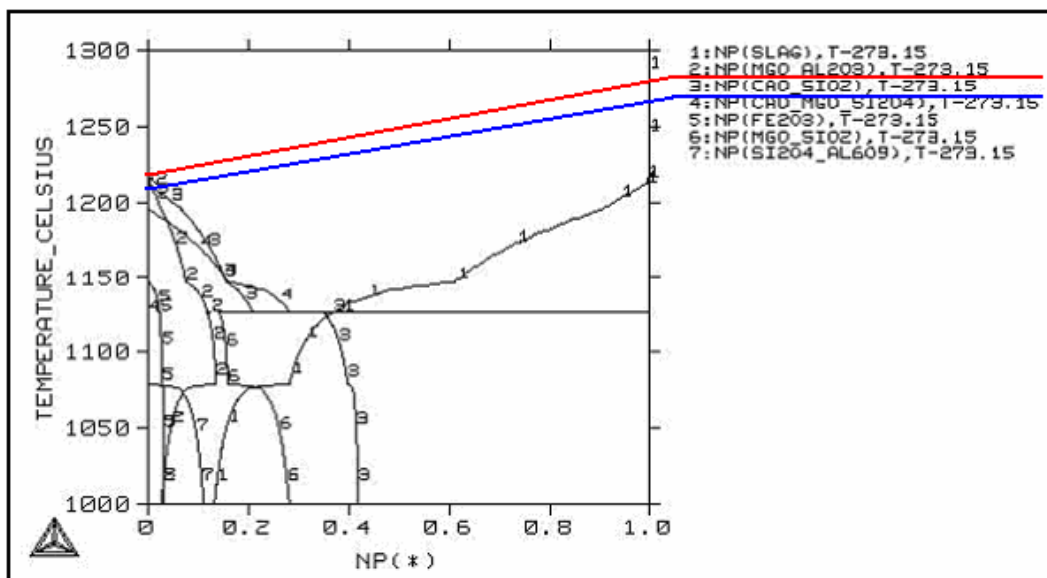


Figura 1. Curva de resfriamento da lâ de rocha com base nas composições químicas citadas na literatura.

Pode-se observar que o espinélio ($MgO \cdot Al_2O_3$) é formado, aproximadamente, a $1.220^{\circ}C$ e o silicato de cálcio ($CaO \cdot SiO_2$), segunda fase apresentada, é formado, aproximadamente, a $1.210^{\circ}C$.

Nas Figuras 2, 3 e 4 estão representadas as curvas de resfriamento das lâs de rocha obtidas através do emprego de resíduos industriais.

A curva de resfriamento da lâ de rocha obtida através da utilização do resíduo de granito como matéria-prima principal está disposta na Figura 2.

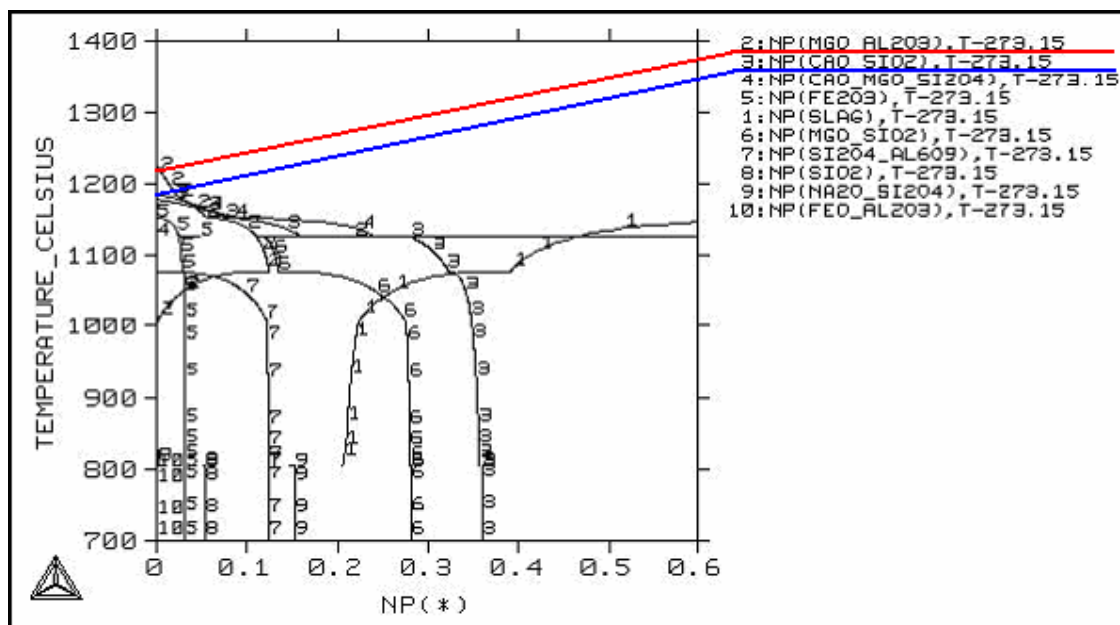


Figura 2. Curva de resfriamento da lâ de rocha obtida através da utilização do resíduo de granito como matéria-prima principal.

Através de uma análise da Figura 2 pode-se observar a formação do espinélio a uma temperatura de aproximadamente 1.220°C. O silicato de cálcio é formado a aproximadamente 1.180°C. Portanto, as primeiras fases sólidas formadas para este produto são as mesmas que as demonstradas pela lâ de rocha obtida através das composições químicas citadas na literatura.

A Figura 3 apresenta a curva de resfriamento da lâ de rocha obtida através do emprego da escória de aciaria elétrica como matéria-prima principal.

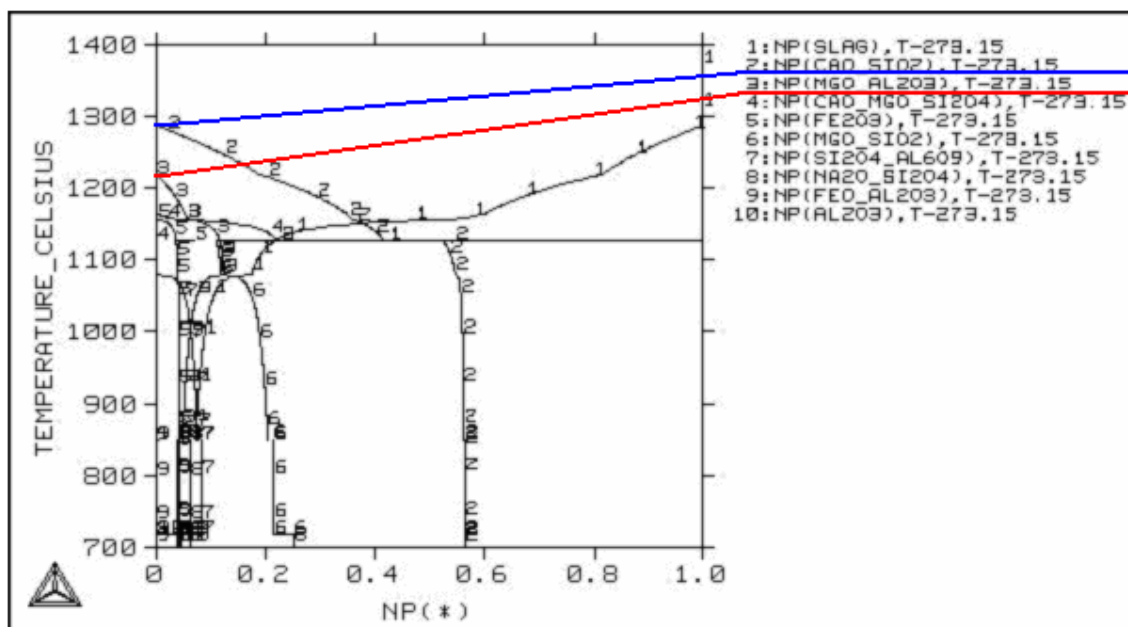


Figura 3. Curva de resfriamento da lâ de rocha obtida através da utilização da escória de aciaria elétrica como matéria-prima principal.

Na Figura 3, a linha azul destaca o início da formação do silicato de cálcio a cerca de 1.280°C e a linha vermelha destaca o início da formação do espinélio, a aproximadamente 1.220°C. Sendo assim, as duas fases que sofrem o processo de solidificação inicialmente são as mesmas para as lâs de rocha com composições usuais e para a que contém a escória de aciaria.

A curva de resfriamento da lâ de rocha obtida através de uma mistura da escória de aciaria elétrica e do resíduo de corte do granito como matérias-primas pode ser observada na Figura 4.

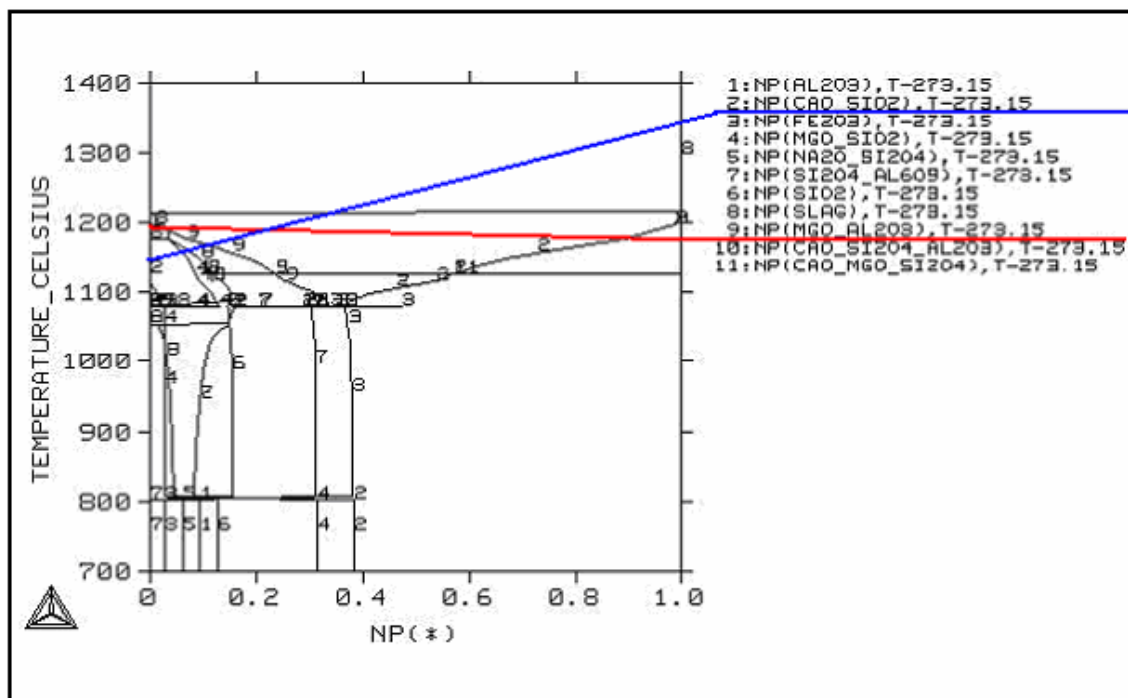


Figura 4. Curva de resfriamento da lâ de rocha obtida através de uma mistura da escória de aciaria elétrica e do resíduo de corte do granito como matérias-primas.

Através da simulação utilizando o produto obtido com uma mistura contendo os dois resíduos associados (Figura 4) observou-se a formação do espinélio a cerca de 1.190°C, e o silicato de cálcio sendo formado a, aproximadamente, 1.160°C. Ou seja, as fases sólidas formadas inicialmente são as mesmas tanto para a lâ de rocha produzida pela associação dos resíduos quanto para a encontrada na literatura.

4 CONCLUSÕES

A partir das simulações realizadas com o emprego do software ThermoCalc pode-se observar que as primeiras fases sólidas formadas inicialmente são o espinélio ($MgO.Al_2O_3$) e o silicato de cálcio ($CaO.SiO_2$) para todas as formulações testadas. Sendo assim, pode-se concluir que o emprego da escória de aciaria e/ou do resíduo de corte do granito como matéria-prima da lâ de rocha não alteram as fases iniciais da mesma.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES, USP e REDEMAT.

REFERÊNCIAS

- 1 ALVES, J. O.. Processo de reciclagem da escória de aciaria e do resíduo de corte do granito visando a produção de lâ mineral. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, Rede Temática em Engenharia de Materiais, Ouro Preto, Brasil, 2008.

- 2 DELLA, V. P., JUNKES, J. A., KUHN, I., HIELLA, H. G., HOTZA, D. By-product Utilization of Metallic Recovering of Stainless Steel Slags in The Ceramic Pigments Synthesis: Raw Material Characterization. *Cerâmica*, 2005, vol. 51, n. 318.
- 3 MOREIRA, J. M. S.; FREIRE, M. N.; HOLANDA, J. N. F. Utilização de Resíduo de Serragem de Granito Proveniente do Estado do Espírito Santo em Cerâmica Vermelha, *Cerâmica*, v. 49, n. 312, pp. 262-267, 2004.
- 4 JURY, J. B. R. B.. Cinétique de Cristallisation et Altération Post-Magmatique d'une Cheminée Basaltique du Complexe Volcanique de Lisbonne. Tese de Doutorado, Université POITIERS, França, 1997.
- 5 LUOTO, K.; HOLOPAINEN, M.; KANGAS, J.; KALLIOKOSKI, P.; SAVOLAINEN, K.. Dissolution of short and long rockwool and glasswool fibers by macrophages in flowthrough cell culture. *Environ. Res. Sect. A* 78, pp. 25–37., 1998.
- 6 BANSAL, N.P.; DOREMUS, R.H. Handbook of Glass Properties. Academic Press Inc., London, England, 1986.
- 7 DOREMUS, R.H. Glass Science. John Wiley & Sons Includes, New York, U.S.A., 1994.
- 8 FARINA, A. B. Uso do Software ThermoCalc para Cálculos de Dados Termodinâmicos. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.