**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND**
Av. Torres de Oliveira, 76 - CEP 05347-902 - São Paulo/SP
Fone (11) 3760-5300 - Fax (11) 3760-5340 - e-mail: laboratorio@abcp.org.br
Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaio - Laboratório Credenciado pelo INMETRO nº CLF–0024



**SUPORTE TECNOLÓGICO - LABORATÓRIO** **RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 19452**

**Amostras nºs:** 60622 a 60624 **Data de entrada:** 07.11.01
**Interessado:** Votorantim Cimentos Ltda.
**Referência:** Orçamento 4936

**Material declarado:** Amostras de cimento, escória de alto-forno e escória de aciaria
**Objetivo:** Aproveitamento de escória de aciaria na produção de cimento Portland

## 1. INTRODUÇÃO

Este relatório apresenta os resultados dos ensaios referentes à caracterização e ao desempenho de misturas de amostras de cimento portland comum com fíler (CP I-S-32) e escórias de aciaria e granulada de alto-forno enviadas pela Votorantim Cimentos Ltda.

O objetivo do estudo foi contribuir com subsídios técnicos para o aproveitamento da escória de aciaria como adição. Para tal intento foi desenvolvido o seguinte Plano de Trabalho:

. Adição de 0%, 5%, 10%, 15% e 20% de escória de aciaria a um cimento CP I-S-32, sendo a escória moída até obtenção de área específica de 4000 ? 400 $cm^2/g$.
. Adição da escória de aciaria moída nos teores de 0%, 5%, 10%, 15% e 20%, complementando-se com escória granulada de alto-forno, também moída a 4000 ? 400$cm^2/g$, até completar 50 e 60% da massa do cimento CP I-S-32.
. Nas 15 misturas experimentais obtidas foram determinados os tempos de pega, resistência à compressão a 1, 3, 7, 28 e 91 dias, a expansibilidade Le Chatelier a quente e a expansibilidade em autoclave.
. As escórias também foram analisadas para conhecimento de sua composição química e mineralógica.

As amostras coletadas e enviadas pela fábrica receberam as seguintes identificações:

| ABCP | Interessado |
|---|---|
| 60622 | CP I-S-32 |
| 60623 | Escória de aciaria |
| 60624 | Escória granulada de alto-forno |

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

## 2. MÉTODOS DE ENSAIOS UTILIZADOS

| | |
|---|---|
| NBR 9203/85 | Cimento Portland Comum e Clínquer - Análise Química por Complexometria |
| NBR 7227/89 | Cimento Portland – Determinação de Óxido de Cálcio Livre pelo Etileno Glicol |
| NBR 5747/89 | Cimento Portland – Determinação de Óxido de Sódio e Potássio por Fotometria de Chama |
| NBR 5746/91 | Cimento Portland - Determinação de Enxofre na Forma de Sulfeto |
| NBR 5745/89 | Cimento Portland - Determinação de Anidrido Sulfúrico |
| NBR 5744/89 | Cimento Portland - Determinação de Resíduo Insolúvel |
| NBR 5743/89 | Cimento Portland - Determinação de Perda ao Fogo |
| NBR NM 23/01 | Cimento Portland - Determinação da Massa Específica |
| NBR NM 76/98 | Cimento Portland - Determinação da Finura Pelo Método de Permeabilidade ao Ar (Método Blaine) |
| NBR 11579/91 | Cimento Portland - Determinação da Finura por Meio das Peneira 45 e75 Micrômetros (Números 200 e 325) |
| NBR 11580/91 | Cimento Portland - Determinação da Água da Pasta de Consistência Normal. |
| NBR 11581/91 | Cimento Portland - Determinação dos Tempos de Pega. |
| NBR 11582/91 | Cimento Portland - Determinação da Expansibilidade de Le Chatelier. |
| NBR 7215/96 | Cimento Portland - Determinação da Resistência à Compressão. |
| ASTM C-151 | Standard Test Method for Autoclave Expansion of Portland Cement |
| PO-GT 5042 | Análise por Difratometria de Raios X |

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

## 3. USO DA ESCÓRIA DE ACIARIA NA FABRICAÇÃO DE AGLOMERANTE

Julgou-se oportuno tecer algumas considerações teóricas sobre o emprego de escória de aciaria na produção de cimento para melhor compreensão dos resultados obtidos, na seqüência apresentadas:

Em virtude da sua composição química, a escória de aciaria pode ser utilizada como matéria-prima na produção de clínquer Portland; como cimento alternativo - fabricado a partir da mistura da escória de aciaria com a escória de alto-forno e gipsita; na produção do cimento Portland, in natura, substituindo parte do clínquer ou após tratamento térmico, semelhante ao que acontece com a escória de alto-forno para a formação de vidro. As principais características da escória de aciaria em comparação com o clínquer de cimento Portland e a escória de alto-forno são mostradas no *Quadro 1.*

QUADRO 1 - Características do clínquer Portland em relação à escória de aciaria e à escória de alto-forno

| MATERIAL | COMPOSIÇÃO | GRAU DE REATIVIDADE |
|---|---|---|
| Clínquer Portland | $C_3S$<br>$C_2S$<br>$C_3A$<br>$C_4AF$ | Alta reatividade |
| Escória de alto-forno | Vidro de aluminossilicato cálcio | Reativa desde que ativada |
| Escória de aciaria | Silicatos de cálcio e/ou magnésio e óxidos de ferro, cálcio e/ou magnésio | Baixa hidraulicidade |

A análise por difração de raios X indica que o CaO, na escória de aciaria, está representado no $C_2S$ e na merwinita ($C_3MS_2$) ou sob forma livre enquanto no clínquer Portland, entra na constituição do $C_2S$, $C_3S$, $C_3A$ e $C_4AF$. O alumínio apresenta-se normalmente na forma de óxido ($Al_2O_3$) e o ferro encontra-se, principalmente, em solução sólida e na forma elementar como Feº, enquanto que, no cimento e clínquer Portland, aparecem combinados como aluminatos de cálcio e ferroaluminatos de cálcio.

A escória de alto-forno, desenvolve a sua atividade hidráulica, ativada por uma base, como o hidróxido de cálcio ou um sulfato, como o sulfato de cálcio ($CaS0_4$) ou mesmo pelo silicato de sódio. Por outro lado, a escória de aciaria, por ser cristalina não possui atividade hidráulica latente, sendo sua hidraulicidade, embora baixa, devida à presença de silicatos cálcicos.

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

Uma vez que a composição das escórias de aciaria, expressa em óxidos, é semelhante à encontrada na composição do cimento Portland, essas escórias podem ser utilizadas para compor a matéria-prima de produção do clínquer, reduzindo o custo de energia, o consumo de matérias-primas naturais e a emissão de $CO_2$ para a atmosfera. Atualmente, essa utilização é pouco explorada, por falta de tecnologia desenvolvida para esta finalidade. A variação na composição química e o baixo controle de qualidade da escória de aciaria geram dificuldades para este emprego.

Apesar da escória de aciaria possuir os mesmos elementos presentes no clínquer de cimento Portland, os teores desses elementos, expressos em óxidos, são consideravelmente diferentes. Uma importante diferença é o teor de ferro muito superior ao desejável na sua composição.

Dessa forma, a utilização da escória de aciaria como matéria-prima para o clínquer é limitada devido a sua composição química não atender aos módulos químicos de controle de fabricação do clínquer quais sejam: fator de saturação de cal (FSC), módulo de sílica (MS) e módulo de alumina (MA), podendo ser usada apenas parcialmente.

No clínquer Portland os valores de (MA) podem variar de 1,0 a 4,0, o (MS) de 2,0 a 3,0 e o (FSC) de 0,92 a 0,98. De acordo com a composição química típica da escória, observa-se que ela não atende a estes requisitos, necessitando, portanto, de um ajuste na sua composição química, a fim de permitir a sua utilização como matéria-prima na fabricação de cimento.

Alguns testes executados na Itália para avaliar a possível utilização da escória de aciaria como matéria prima na farinha, em substituição parcial ao calcário, mostraram que uma substituição de 30 % de calcário por escória de aciaria pode ter um efeito positivo nas propriedades do cimento produzido, melhorando inclusive a sua resistência. No entanto, para este propósito, a composição química da farinha deve ser corrigida, de modo a atender aos limites fixados dos módulos para a formação do clínquer: o FSC ficou em 0,95, o MA em 1,00 e o MS em 2,17.

A fim de minimizar os problemas gerados na fabricação do clínquer pela grande variação química e mineralógica da escória de aciaria, estudou-se o ajuste da composição química da fase não metálica, por adição de outras espécies químicas como o $Al_2O_3$ e o $SiO_2$.

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

O uso da escória, na produção do clínquer, depende, de modo geral, da redução da quantidade de ferro metálico existente e do ajuste da composição química, da basicidade expressa pela relação $CaO/SiO_2$ e da combinação do MgO tal que o teor livre no clínquer, na forma de periclásio não ultrapasse 6,5 %.

No Brasil apenas uma fábrica de cimento utilizou escória substituindo 15% do calcário na farinha, parecendo que não há interesse geral da indústria para o uso da escória para essa finalidade.

Tendo em vista a substituição de parte do clínquer por escória de aciaria no cimento, os trabalhos desenvolvidos indicam a necessidade de ajustes na composição da escória para o seu equilíbrio químico, a fim de agregar a este resíduo propriedades cimentícias.

Na década de 70, foram feitos estudos preliminares e concluiu-se que a estabilidade do cimento de escória está restrita à estabilização dos constituintes expansivos, a cal livre (CaO livre) e o periclásio (MgO livre). A estabilização do MgO é feita através da adição de uma quantidade de escória de alto-forno ou outro material silicoso semelhante. No entanto, estes estudos não especificam as proporções das adições necessárias para a estabilização e tão pouco esclarecem como este fenômeno acontece na microestrutura do material. Outros estudos concluíram que a substituição do fundente (CaO) por um material obtido pela combinação CaO, MgO, $Al_2O_3$ e o $Fe_2O_3$, em proporções específicas, adicionada ao conversor no momento do refino, resultaria em uma escória com baixo teor de cal livre e propriedades hidráulicas adequadas à fabricação do cimento.

Quanto ao elevado teor de FeO na escória de aciaria, mostrou-se que a solução sólida formada pela wüstita (FeO) com o manganês e o magnésio, não possui propriedade cimentícia, além de não se combinar totalmente com outras espécies químicas no resfriamento da escória fundida, quando do tratamento de estabilização. Quando o ferro está na forma de wüstita, dissolve até 27 % de CaO, diminuindo, dessa maneira, a quantidade de cálcio disponível para formação do silicato tricálcico, que possui natureza hidráulica. Em contrapartida, a wüstita (FeO), que por oxidação converte-se em hematita ($Fe_2O_3$) ou magnetita ($Fe_3O_4$), ao combinar-se com o CaO, pode formar a ferrita cálcica ou um ferro aluminato que possui natureza hidráulica.

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

O cimento de escória de aciaria pode também ser produzido pela mistura com escória de alto-forno, admitindo a cal livre como o ativador da escória de alto-forno, participando da formação do C-S-H, responsável pela resistência mecânica e, ao mesmo tempo, reduzindo a sua capacidade expansiva. Entretanto, à temperatura ambiente, isto não foi verificado na prática, sendo, portanto, uma solução mais objetiva, a mistura feita com as escórias ainda no estado líquido.

Outros estudos mostram que uma substituição de 10 % da escória de aciaria no cimento resulta em uma economia de energia e matéria-prima, sem prejuízo do desempenho final do cimento, da resistência das misturas com a escória e evitam a perda da resistência, devido à expansão volumétrica.

Como visto anteriormente, para se viabilizar a utilização da escória de aciaria como aglomerante, como adição ao clínquer de cimento Portland, são necessários ajustes na composição química da escória ainda líquida.

Outro ponto importante é que, resfriando-se a escória bruscamente com água, pode-se obter, em condições específicas, um material amorfo. Apesar da elevada relação $CaO/SiO_2$ da escória, entre 3 e 4, que não induz à formação de vidro, o resfriamento brusco deve ser suficiente para inibir a nucleação e o crescimento do cristal. Este fenômeno é mais comum nas escórias ácidas, como nas escórias de alto-forno, nas quais a relação $CaO/SiO_2$ é mais baixa. Contudo, este procedimento é pouco estudado e não está provada a sua eficiência nas escórias de aciaria.

Entre os muitos fatores que diminuem a resistência da pasta de cimento de escória, podem ser citados, além da quase ausência do $C_3S$, o efeito de uma estrutura cristalina instável e a influência de outros minerais presentes na escória, donde se conclui que pelo menos no Brasil são muito complexas as ações para tornar viável o aproveitamento da escória de aciaria como adição ao cimento.

Este trabalho procura mostrar a partir de uma escória de aciaria disponível, sem nenhum beneficiamento além de moagem e retirada de parte dos magnéticos, os resultados obtidos no que se refere às características e propriedades das misturas quando se adicionou conjuntamente escória de alto-forno ao cimento portland.

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

## 4. RESULTADOS

A amostra de escória de aciaria foi moída em moinho de bolas, após ser retirado parte do material magnético (? 4%). As amostras de cimento CP I-S-32 e escória de alto-forno foram utilizadas como recebidas. A *Tabela 1* apresenta os resultados de massa e área específicas e resíduo na peneira 75µm (#200).

TABELA 1 – Resultados

| Identificação das amostras | Massa específica ($g/cm^3$) | Área específica ($cm^2/g$) | Resíduo na peneira de 75µm (%) |
|---|---|---|---|
| Cimento - CP I-S-32 | 3,14 | 3620 | 1,1 |
| Escória de aciaria | 3,29 | 3980 | 23,9 |
| Escória de alto-forno | 2,96 | 3840 | 0,5 |

### 4.1. Composição Química das Escórias

A *Tabela 2* apresenta os resultados de análise química realizada em ambas as amostras de escória.

TABELA 2 – Análise química

| Parâmetro | Teor (% em massa) | |
|---|---|---|
| | Escória de aciaria | Escória de alto-forno |
| Perda ao fogo (PF) | 0,00 | 0,00 |
| Dióxido de silício ($SiO_2$) | 11,95 | 33,26 |
| Óxido de alumínio ($Al_2O_3$) | 3,96 | 10,73 |
| Óxido de ferro ($Fe_2O_3$) | 28,74 | 0,56 |
| Óxido de cálcio (CaO) | 39,80 | 41,95 |
| Óxido de magnésio (MgO) | 4,78 | 8,54 |
| Sulfeto (S) | 0,12 | 1,06 |
| Óxido de sódio ($Na_2O$) | 0,05 | 0,45 |
| Óxido de potássio ($K_2O$) | 0,02 | 0,42 |
| Óxido de manganês (MnO)(1) | 5,20 | 0,74 |
| Equivalente alcalino em $Na_2O$ | 0,06 | 0,73 |

(1) Análise semiquantitava po espectrometria de raios X

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

## 4.2. Difratometria de Raios X

Com base nos difratogramas anexos, realizados nas amostras de escórias *moídas*, caracterizaram-se os compostos mineralógicos cristalizados constantes da *Tabela 3.*

TABELA 3 – Caracterização por difratometria de raios X

| Minerais | Fórmula química | Distância interplanar principal (Å) | Freqüência relativa | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Escória de aciaria | Escória de alto-forno |
| Wustita | $FeO$ | 2,14 | +++ | nd |
| Calcita | $CaCO_3$ | 3,03 | +++ | nd |
| Portlandita | $Ca(OH)_2$ | 4,90 | +++ | nd |
| Merwinita | $Ca_3Mg(SiO_4)_2$ | 2,67 | +++ | +++ |
| Belita | $Ca_2SiO_4$ | 2,79 | +++ | nd |
| Hematita | $Fe_2O_3$ | 2,70 | ++ | nd |
| Melilita | $Ca_2MgSi_2O_7$ | 2,88 | nd | + |
| Quartzo | $SiO_2$ | 3,34 | + | nd |

Simbologia: nd = não detectado; tr = traços; + = presente; ++ = pouco freqüente; +++ = freqüente; ++++ = muito freqüente

Nota: A freqüência relativa das fases está fundamentada na altura dos picos de difração, cuja intensidade é função do teor, da simetria e do grau de cristalinidade dos constituintes

A amostra de escória de aciaria é constituída principalmente por wustita, belita, calcita, portlandita e merwinita e, secundariamente, por hematita e quartzo. A amostra de escória de alto-forno apresentou um grau de vitrificação de 60%, representado no difratograma pelo halo de amorfização próximo a 30º. O mineral predominante referente à parte cristalizada é a merwinita. O grau de vitrificação de apenas 60% é atípico para escórias granuladas de alto-forno procedentes da CSN que em geral apresentam-no maior que 80%, fato que deve repercutir no desempenho de cimentos contendo essa escória.

## 4.3. Tempo de Pega, Estabilidade Volumétrica e Resistência à Compressão das Misturas

A *Tabela 4* apresenta os resultados obtidos ao passo que as *Figuras 1 a 5* ilustram esses dados.

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

TABELA 4 - Resultados

| Identificação das amostras | Teores (% em massa) | | | Área específica calculada (cm2/g) | Tempo de Pega | | | Expansibilidade | | Resistência à Compressão (MPa) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Cimento CP I-S (60622) | Escória de aciaria (60623) | Escória granulada (60624) | | Consistência (%) | Início (h:min.) | Fim (h:min. | Le Chatelier a quente (mm) | Autoclave (%) | 1 dia | 3 dias | 7 dias | 28 dias | 91 dias |
| M1/50 | 50 | 0 | 50 | 3730 | 24,6 | 5:00 | 7:20 | 1,0 | 0,304 | 8,0 | 21,4 | 29,8 | 48,5 | |
| M1/45 | 50 | 5 | 45 | 3737 | 24,8 | 5:00 | 7:50 | 1,0 | 0,366 | 9,5 | 21,7 | 29,8 | 46,2 | |
| M1/40 | 50 | 10 | 40 | 3744 | 25,1 | 3:45 | 6:45 | 1,5 | 0,448 | 9,8 | 22,1 | 30,6 | 45,7 | |
| M1/35 | 50 | 15 | 35 | 3751 | 25,4 | 3:25 | 5:15 | 1,5 | 0,867 | 9,7 | 21,4 | 29,2 | 44,5 | |
| M1/30 | 50 | 20 | 30 | 3758 | 25,8 | 3:55 | 5:25 | 1,0 | 1,330 | 9,4 | 20,5 | 27,9 | 40,7 | |
| M2/0 | 100 | 0 | 0 | 3620 | 27,1 | 3:05 | 4:25 | 2,0 | 8,4(*) | 17,7 | 31,5 | 35,1 | 42,9 | |
| M2/5 | 95 | 5 | 0 | 3638 | 27,0 | 2:40 | 4:10 | 2,5 | 9,5 | 17,3 | 30,0 | 34,4 | 40,1 | |
| M2/10 | 90 | 10 | 0 | 3656 | 26,4 | 3:50 | 5:50 | 1,5 | 8,6(*) | 17,3 | 28,6 | 32,7 | 39,6 | |
| M2/15 | 85 | 15 | 0 | 3674 | 26,1 | 3:40 | 5:10 | 2,0 | 8,9(*) | 17,9 | 26,9 | 30,6 | 37,6 | |
| M2/20 | 80 | 20 | 0 | 3692 | 25,6 | 4:15 | 6:05 | 2,0 | 9,8(*) | 16,2 | 25,1 | 28,8 | 35,6 | |
| M3/60 | 40 | 0 | 60 | 3752 | 25,4 | 4:50 | 6:20 | 1,0 | 0,195 | 7,2 | 18,2 | 29,8 | 46,1 | |
| M3/55 | 40 | 5 | 55 | 3759 | 25,1 | 4:55 | 5:55 | 1,5 | 0,240 | 8,6 | 18,9 | 30,2 | 45,7 | |
| M3/50 | 40 | 10 | 50 | 3766 | 24,7 | 4:05 | 5:45 | 1,0 | 0,252 | 9,0 | 20,1 | 30,6 | 45,8 | |
| M3/45 | 40 | 15 | 45 | 3773 | 24,3 | 5:15 | 7:55 | 1,0 | 0,334 | 8,4 | 19,2 | 29,9 | 43,7 | |
| M3/40 | 40 | 20 | 40 | 3780 | 24,2 | 4:25 | 6:55 | 1,5 | 0,449 | 8,3 | 18,7 | 28,3 | 41,9 | |

(*) Devido à expansão das barras de argamassa não foi possível medi-las com extensômetro, sendo utilizado paquímetro.

Este documento tem significação restrita e diz respeito somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

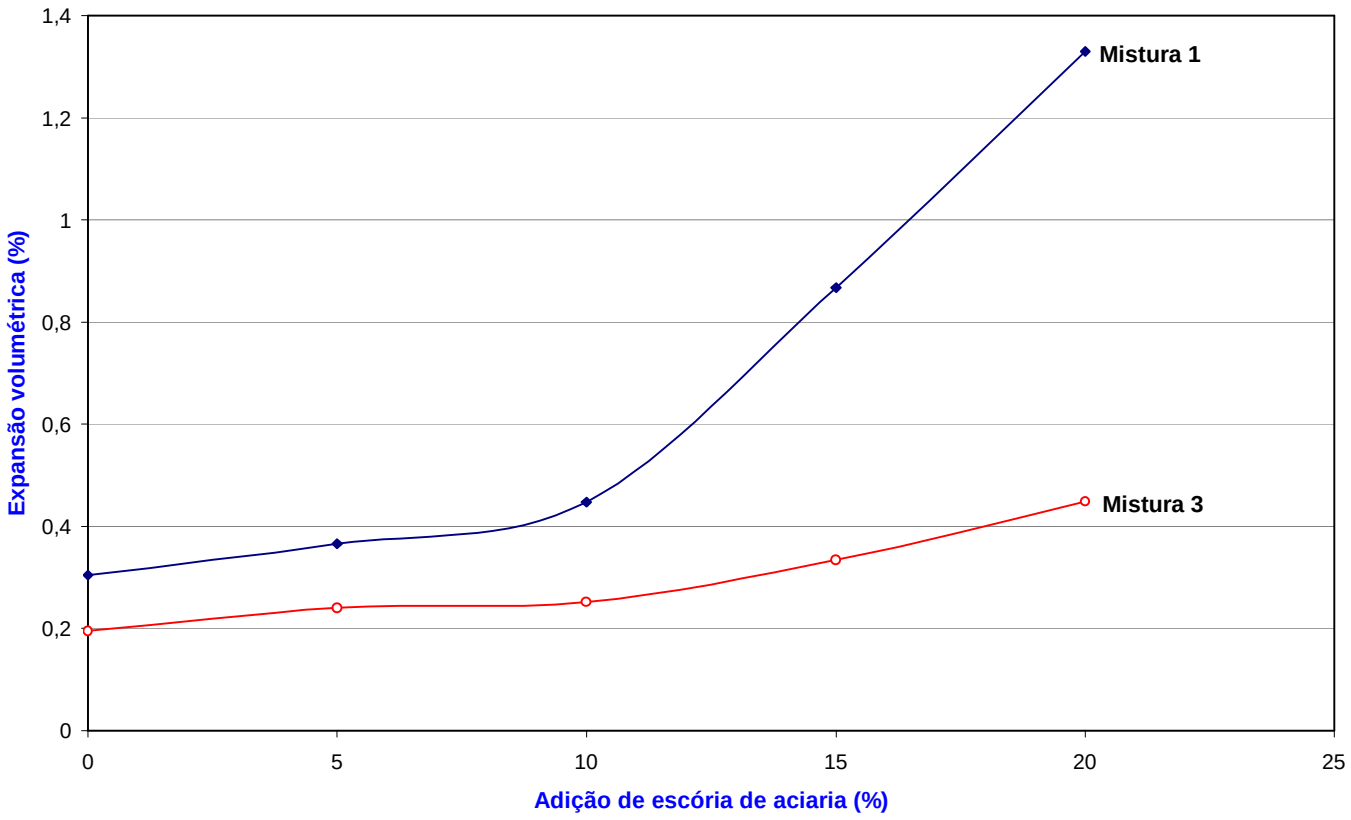


FIGURA 1 – Expansão volumétrica em relação a adição de escória de aciaria

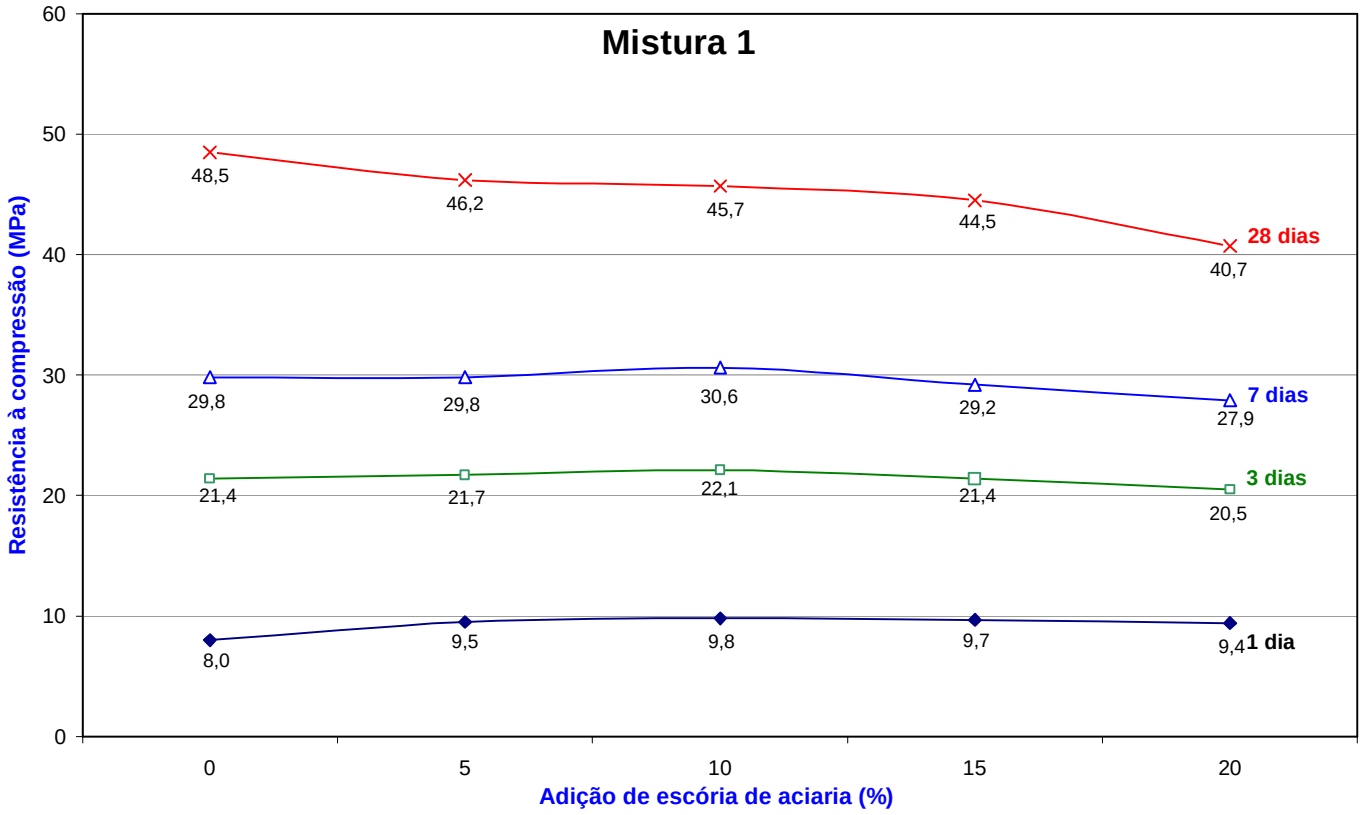


FIGURA 2 – Resistência à compressão da **Mistura 1**

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

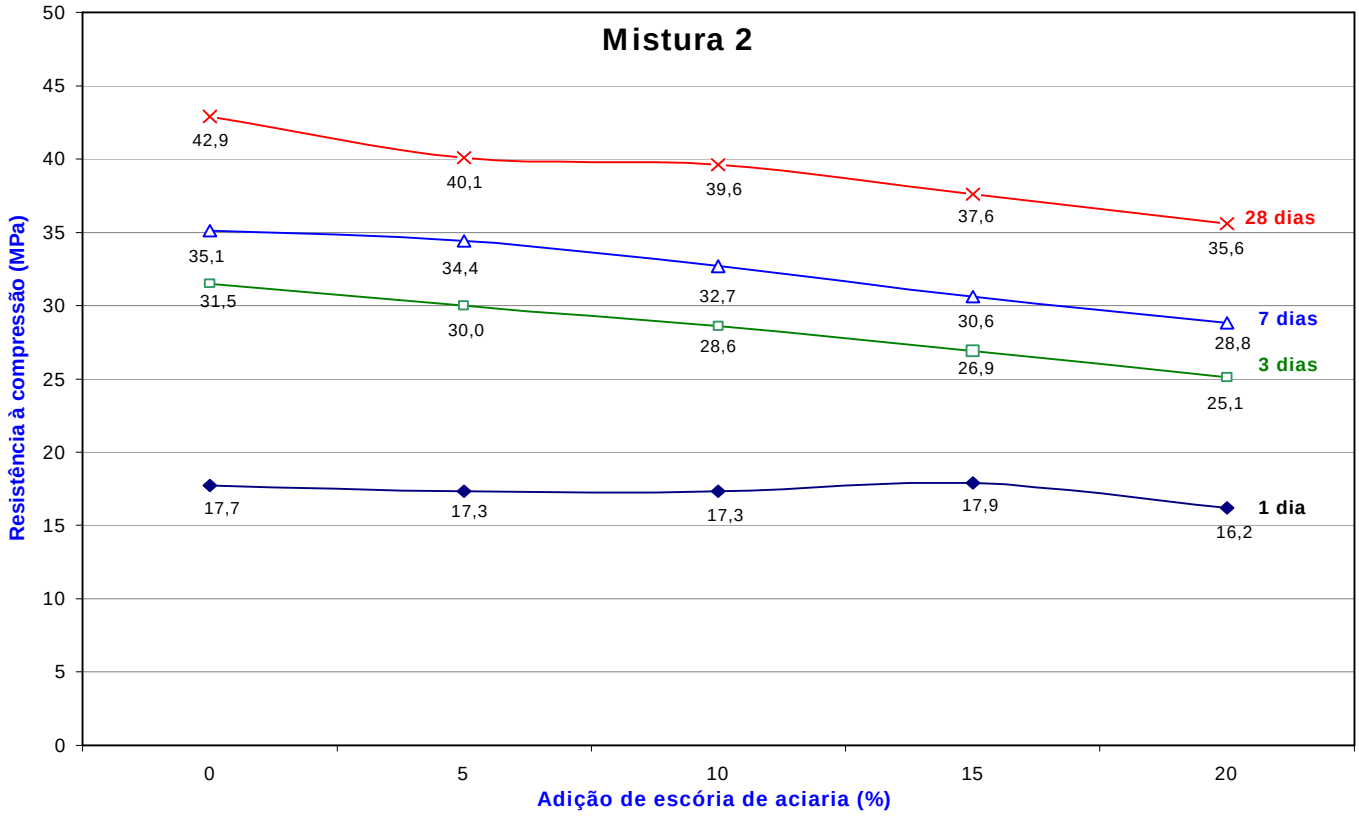


FIGURA 3 – Resistência à compressão da **Mistura 2**

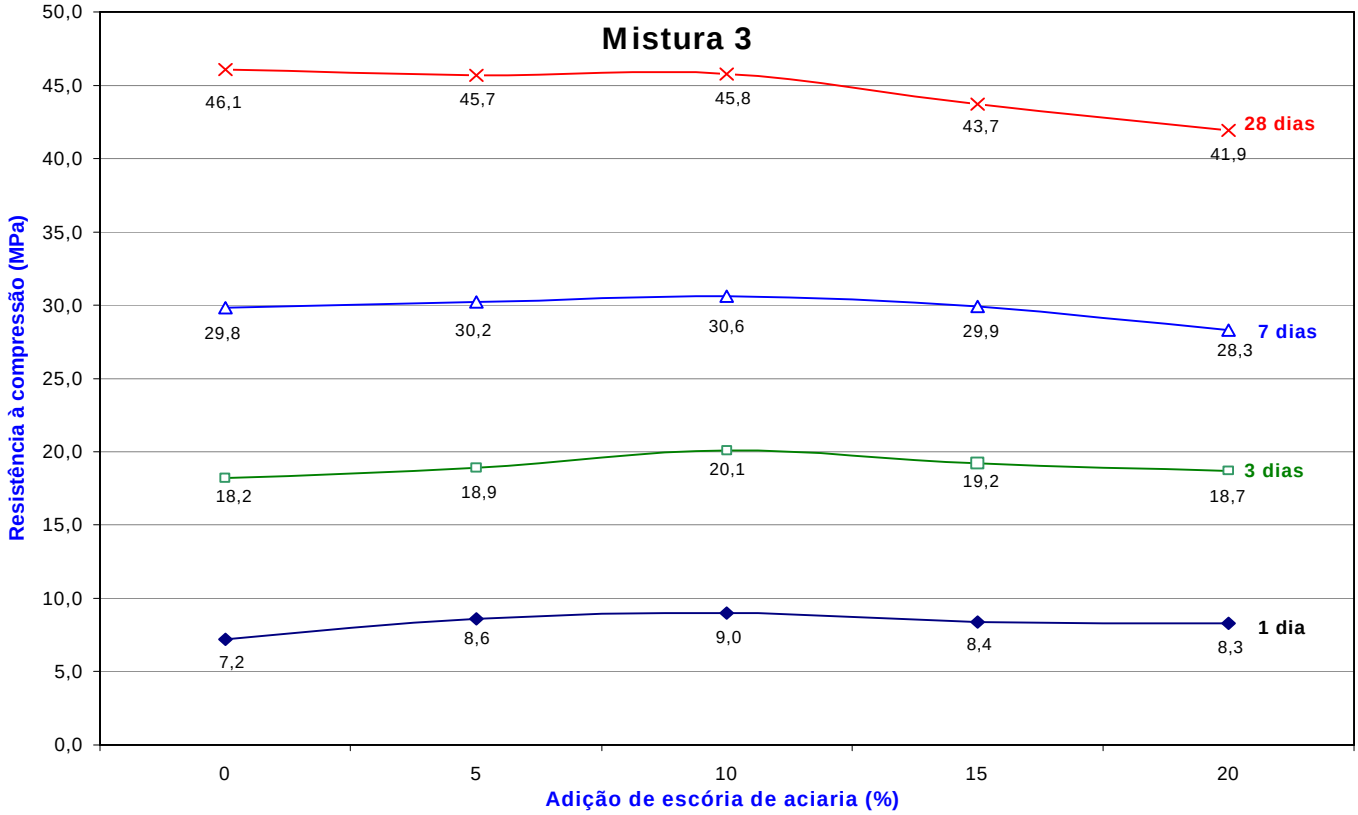


FIGURA 4 – Resistência à compressão da **Mistura 3**

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

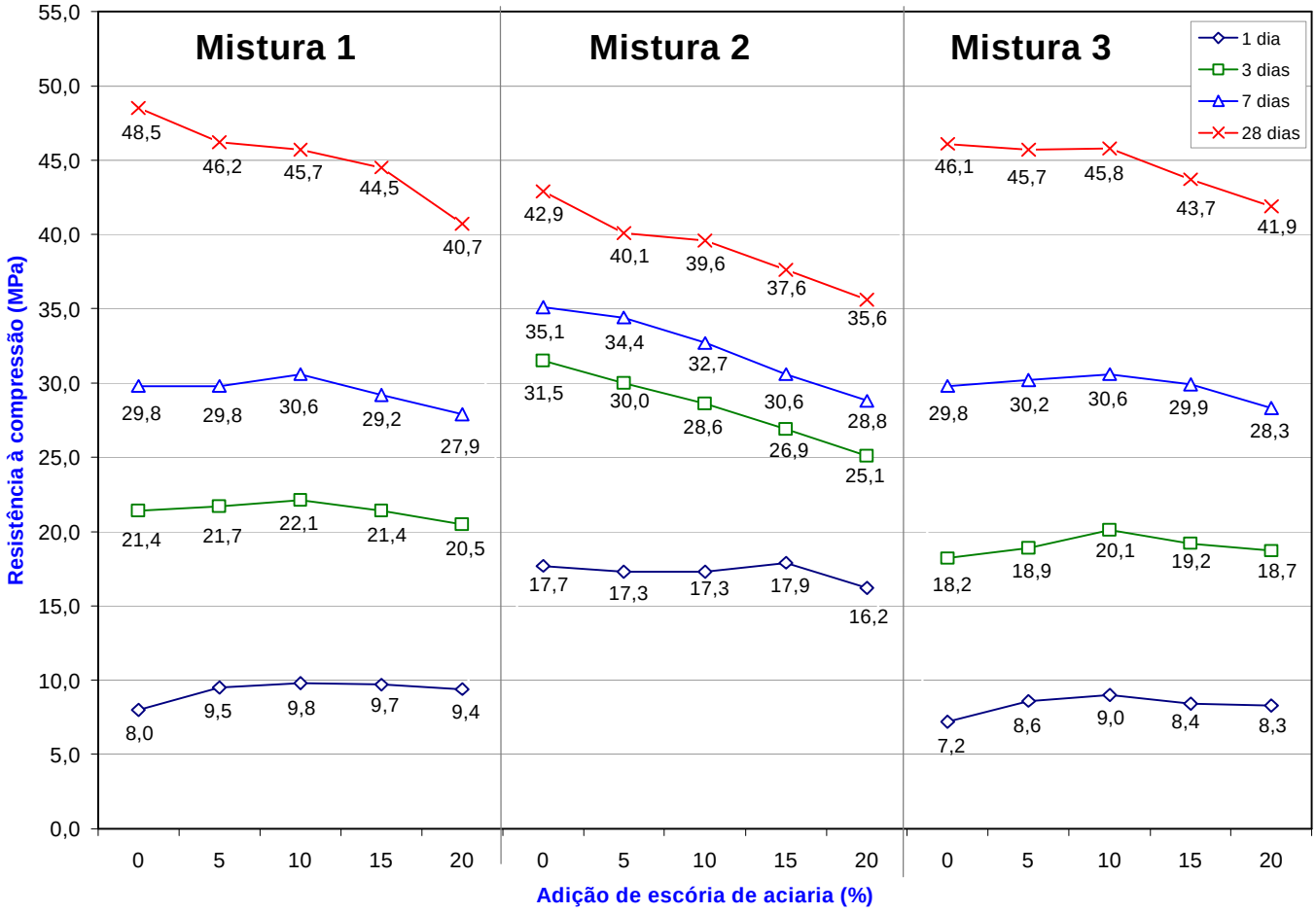


FIGURA 5 – Resistência à compressão das **Misturas 1, 2 e 3**

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Do ponto de vista de desempenho mecânico e reológico das misturas os resultados indicam que:

. a adição de escória de aciaria ao cimento de referência não alterou a resistência à compressão a um dia, porém diminuiu a resistência às demais idades à medida que o teor de adição aumentou de 5% para 10%, 15% e 20%.

. Igualmente, os tempos de pega aumentaram em geral com o aumento do teor de adição.

. os altos valores de expansão em autoclave (8,4 a 9,8%) quando se utilizou o cimento de referência e teores de escória de aciaria de 5 a 20% desestimulam o prosseguimento de investigação nas misturas.

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

- a adição de escória de aciaria aos cimentos com escória granulada de alto-forno resultou no aumento das resistências mecânicas aos 1, 3 e 7 dias, apresentando as misturas teor ótimo de 10% de escória de aciaria e 40 e 50% de escória de alto-forno, respectivamente para as misturas das famílias M1 e M3.
- O tempo de início pega é estendido em cerca de uma hora para o teor ótimo de 10% de escória de aciaria em relação ao cimento referência sem escória
- nos teores ótimos de 10% de escória de aciaria há uma perda de resistência aos 28 dias de 5,8% e 0,6%, respectivamente, em relação às referências com 50 e 60% de escória de alto forno. Entretanto, há um ganho de 6,5% para ambas as misturas em relação ao cimento referência sem adição.

Os resultados de autoclave indicam contudo que as misturas com 10% de escória de aciaria da família M3 apresentam comportamento melhor que as da família M1.

Em suma, os resultados indicam que a mistura mais promissora é a que contém 10% de escória de aciaria, 40% de escória de alto-forno e 50% de CP I-S, sendo recomendável a complementação do estudo com investigações de desempenho no concreto e da durabilidade.

São Paulo, 18 de fevereiro de 2002

*Flávio André da Cunha Munhoz*
Assessor Técnico

*Geól. Arnaldo Forti Battagin*
Chefe do Laboratório

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.