

# UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE ALTO FORNO (ESCÓRIA DE CHUMBO) EM MELHORAMENTO DE MISTURAS DE SOLO-CIMENTO-RESÍDUO

*Study in improvement of soil-cement-waste mixtures with lead slag*

Regina Rafacla Franck<sup>1</sup>  
Lucas Quiocca Zampieri<sup>2</sup>  
Fabiano Alexandre Nienov<sup>3</sup>  
Gislaine Luvizão<sup>4</sup>

## RESUMO

O ramo da Engenharia está em constante evolução; por isso o melhoramento de solos com a adição de agentes cimentantes combinados com resíduos do setor industrial está cada vez mais se adequando às suas necessidades, pois dessa maneira também é possível contribuir para a redução de custos e impactos ambientais. Este trabalho apresenta um estudo sobre o melhoramento de um solo argiloso da Cidade de Joaçaba, SC, por meio da adição de cimento e resíduo escória de chumbo proveniente da Empresa Baterias Pioneiro. Foram definidos dois traços para estudo de solo-cimento-resíduo com valores correspondentes a 2,5% e 5% de escória de chumbo, combinado a 15% de cimento Portland CPV ARI sobre a massa de solo seco, em períodos de cura adotados de 7, 28 e 60 dias, variando a temperatura em 24 °C, 35 °C, 45 °C e 60 °C, com três corpos de prova para cada amostra, totalizando 72 corpos de prova ensaiados, objetivando analisar a resistência à compressão simples das misturas. Os resultados obtidos demonstraram que o incorporamento do resíduo escória de chumbo teve maior significância aos 60 dias de cura, sendo o maior período analisado, e a evolução das resistências ocorreu conforme aumento da temperatura. A comparação entre os períodos de cura indicou que, em maiores idades, a cimentação é mais adequada, com valores de resistência até 44,6%, maiores entre as idades de 7 a 60 dias. A escória de chumbo melhorou o desempenho das misturas em conformidade com maior período de cura, e a RCS aumentou gradativamente conforme o aumento de temperatura.

Palavras-chave: Solo-cimento. Melhoramento de solos. Resíduo escória de chumbo. Temperatura.

## Abstract

*The improvement of soils with cement and waste from the industrial sector is increasingly indicated to improve poor soil, contributing to the reduction of environmental costs and impacts. This work presents a study on the improvement of a clay soil from Joaçaba, SC, improved with cement and lead slag from Empresa Pioneiro Baterias. The samples were defined for soil-cement-residue study with values corresponding to 2.5% and 5% of lead slag, with 15% Portland cement CPV ARI. The test of the Unconfined Compression was conducted after the samples were prepared and allowed to cure under 7, 28 and 60 days, varying the temperature at 24 °C, 35 °C, 45 °C and 60 °C, with three samples for each mixture, totaling 72 samples tested. The experimental results demonstrated the incorporation of the lead slag had a greater significance at 60 days and the evolution of the compressive strength occurred as temperature increased. At*

<sup>1</sup> Graduanda na Universidade do Oeste de Santa Catarina de Joaçaba; rfranck29@gmail.com

<sup>2</sup> Mestre em Geotecnia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Graduado em Engenharia Civil pela Universidade do Oeste de Santa Catarina; Professor na Universidade do Oeste de Santa Catarina; Engenheiro Civil; lucas.zampieri@unoesc.edu.br

<sup>3</sup> Doutor em Geotecnia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Mestre em Construção Civil pela Universidade Federal de Santa Maria; Professor na Universidade do Oeste de Santa Catarina; Engenheiro Civil; fabiano.nienov@unoesc.edu.br

<sup>4</sup> Mestra em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina; Graduado em Engenharia Civil pela Universidade do Oeste de Santa Catarina; Professora na Universidade do Oeste de Santa Catarina; Engenheira Civil; gislaine.luvizao@unoesc.edu.br

*higher ages, cementation is more adequate, with resistance values up to 44.6%, higher between the ages of 7 and 60 days. Lead slag improved the performance of the blends in accordance with a longer curing period, and UC increased gradually as the temperature increased.*  
*Keywords: Soil-cement. Soil improvement. Lead slag. Temperature.*

Recebido em 23 de abril de 2019

Aceito em 28 de maio de 2019

## 1 INTRODUÇÃO

O solo é um material de grande importância nas obras de Engenharia, porém existem situações em que o solo natural não atende às necessidades de suporte do projeto, sendo inviável e trazendo encarecimento em razão das técnicas utilizadas. Dessa forma, o melhoramento de solos se apresenta como solução econômica por meio de agentes cimentantes e junção com resíduos, por exemplo.

Atualmente, o setor industrial é um dos principais responsáveis pelo desenvolvimento econômico do País, e a disposição correta dos resíduos gerados por ele tornou-se de suma importância para a preservação ambiental, principalmente quando apresentam em suas composições materiais que podem trazer algum perigo à saúde humana e ao meio ambiente, como a escória de alto forno proveniente de fundição de chumbo.

Nesse segmento, a alternativa de usar a escória de chumbo se explica pelo fato de se tratar de um resíduo que pode causar malefícios ao meio ambiente em seu entorno.

Para combinação com a escória de alto forno, e seguindo o objetivo de melhorar as características de suporte do solo e adequá-las às solicitações de projeto, destaca-se o cimento, pois, conforme afirma Fonini (2012), a utilização desse agente cimentante na estabilização das propriedades do solo é uma alternativa difundida na geotecnia. A aplicação dessa técnica, que pode ser mencionada como solo-cimento (junção de solo com cimento), vem sendo empregada com êxito em construções de bases para pavimentos.

Diante disso, o presente trabalho tem por finalidade estudar a viabilidade da utilização do resíduo de chumbo em misturas de solo-cimento-escória, assim como identificar a relação entre as temperaturas de cura do solo-cimento das misturas e a sua resistência à compressão ao longo do tempo.

O propósito final desta pesquisa foi propor uma destinação mais eficaz à escória, e em contrapartida, propiciar a utilização da dosagem desenvolvida na pesquisa para aplicação em campo destinada ao melhoramento de solos.

## 2 MELHORAMENTO DE SOLO

A estabilização de solos é uma técnica desenvolvida com intuito principal para pavimentação, uma vez que mediante esse procedimento, o solo torna-se capaz de suportar esforços provenientes de cargas que atuam sobre ele, sem sofrer temidas deformações ou recalque. Com as consequências de uma boa estabilização, tal totalidade de processos tem sido amplamente utilizado em diversas áreas (VENDRUSCOLO, 2003).

Goularte e Pedreira (2009) explicam que na estabilização do solo com cimento existe a forma de solo-cimento, ao qual é adicionado água em proporções predefinidas por ensaio de compactação para, então, atingir as propriedades mecânicas desejadas. A estabilização é influenciada por condições como o tipo de solo, presença de materiais maléficos ao cimento, e teor, assim como teor de umidade da mistura, operações de mistura e compactação, tempo e condição de cura e dosagem.

A estabilização química pode ser definida como a adição de uma ou mais substâncias químicas ao solo, a fim de gerar uma mudança no seu comportamento quanto ao ganho de resistência e estabilidade às intempéries. A mais utilizada dentro desse conceito é o solo-cimento, na qual o cimento proporciona um ganho na resistência ao solo, agindo com as reações pozolânicas e sílica ativa presente no solo. É preferível uso de cimento, em razão de a resistência ser alcançada em idades ínfimas, e pelo cimento ter a facilidade em estabilizar com diferentes tipos de solos (PEREIRA, 2012).

De acordo com a NBR 12253 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992), o solo-cimento caracteriza-se por ser um produto endurecido que resulta da cura de uma mistura compactada de solo, cimento e água, em proporções estabelecidas por dosagem.

Ingles e Metcalf (1972) afirmam que qualquer tipo de solo pode ser melhorado com cimento, porém em solos com maior teor de argila há dificuldade na mistura, necessitando de quantidades elevadas de aditivos para que haja mudanças positivas em suas propriedades de suporte.

Conforme afirma Zampieri (2015), um solo argiloso possui reação mais lenta com o cimento. Esse caso é explicado pois a argila mole e a turfa possuem massas específicas naturais muito baixas e vazios muito grandes. Nessa situação, a maioria dos vazios estão preenchidos com água, e, para a estabilização, deve-se substituir a água por um agente cimentante, que é geralmente o cimento Portland.

O cimento é um aglomerante hidráulico, aglutinante ou ligante considerado um agente estabilizador de solos primários, pois depende apenas da presença de água, não interferindo em quaisquer minerais existentes no solo. Essa seria uma das razões pela qual o cimento pode ser usado individualmente para alcançar a ação estabilizadora necessária em diferentes tipos de solos (MAKUSA, 2013). A resistência à compressão simples e a resistência aos ciclos de molhagem e secagem são as medidas mais comuns da efetiva estabilização com cimento (INGLES; METCALF, 1972).

## 2.1 ESCÓRIA DE CHUMBO

Na reciclagem de baterias ácido-chumbo, durante a etapa de fundição, no momento em que o chumbo é recuperado na sua forma metálica, uma grande quantidade de resíduo sólido é gerada. As impurezas presentes nas matérias-primas, juntamente com outros materiais adicionados para promover as reações necessárias ao referido processo, formam a escória proveniente de fornos de fundição de chumbo. Essa escória é um resíduo de alta alcalinidade, sendo essencialmente constituída de ferro e com concentrações de enxofre, sódio e chumbo. Há outros metais, que estão como impurezas nas matérias-primas, que também podem ser encontrados em menores concentrações. Aproximadamente 15 a 30% em massa de todo material que entra no forno de redução formam a escória (GOMES, 2006).

Ainda conforme Gomes (2006), a geração e disposição final da escória de chumbo está diretamente ligada ao custo econômico e a problemas ambientais, sendo estas as razões principais para que ela fosse abordada no presente trabalho. A minimização da quantidade e da periculosidade da escória gerada, bem como o seu possível reaproveitamento, têm grande importância ambiental e econômica.

Santana (2015) declara que é na etapa da fundição que as indústrias de produção de chumbo secundário geram altas concentrações de escória. Segundo ele, “o chumbo pode ser reciclado seguidas vezes desde que seja utilizada uma tecnologia apropriada. Em termos mundiais, a reciclagem de chumbo chega a aproximadamente 60%.”

## 2.2 EFEITO DA TEMPERATURA

Conforme ocorre aumento da temperatura, as reações pozolânicas juntamente aceleram-se. Por referir-se a reações endotérmicas, a taxa de desenvolvimento da resistência será maior quanto maior a temperatura de cura. Um questionamento negativo ao tratar do aumento da temperatura é que a solubilidade da cal, por exemplo, diminui à medida que a temperatura aumenta (SILVANI, 2013).

Neville (1997) explica que, com uma hidratação inicial rápida, as hidratações subsequentes acabam sendo retardadas e produzem uma distribuição não uniforme dos produtos de hidratação. Como a hidratação inicial é mais rápida, não há tempo para a difusão dos produtos para posições mais distantes das partículas de cimento, que posteriormente não conseguem preencher os espaços intersticiais, aumentando-se o número de poros na matriz e diminuindo sua resistência.

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para os ensaios laboratoriais, houve a coleta de uma amostra de solo no estado deformado, mediante escavação manual no Município de Joaçaba, SC. A partir disso, realizaram-se os ensaios quantitativos de caracterização, compreendendo composição granulométrica NBR 7181, limite de plasticidade NBR 7180, limite de liquidez NBR 6459 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016a, 2016b, 2016c) e peso específico real dos grãos (DNER-ME 093/94) (DEPARTAMENTO..., 1994).

Mediante os resultados, foi possível calcular o índice de plasticidade do solo e classificá-lo conforme sistema H.R.B (Highway Research Board) e pelo método textural. A Tabela 1 expõe os valores finais dos ensaios e sua respectiva classificação.

Tabela 1 – Resultado dos Ensaios e Classificação do Solo

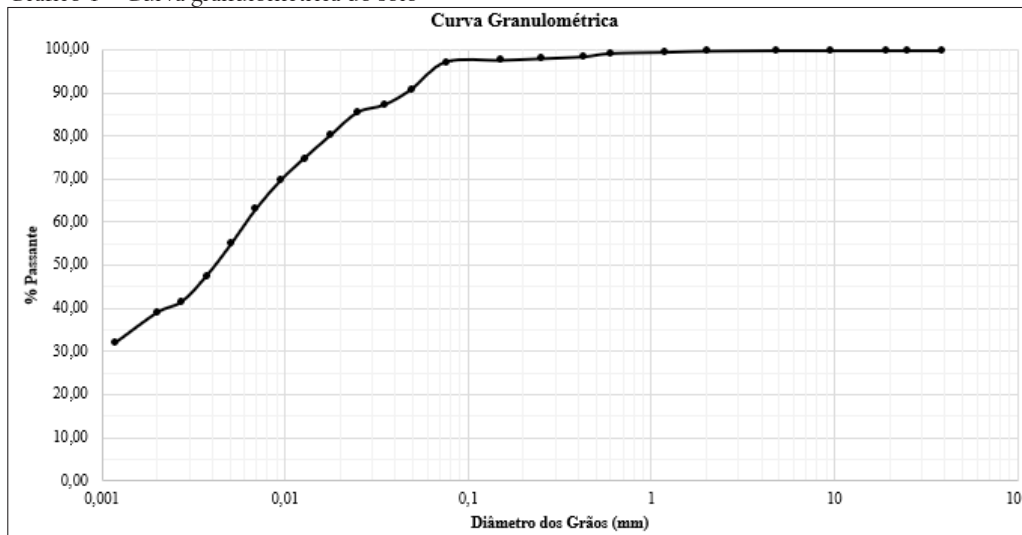
Limite de Plasticidade (%)	48
Limite de Liquidez (%)	63
Índice de Plasticidade (%)	15
Peso específico real dos grãos (g/cm <sup>3</sup> )	2,87
Classificação HRB (AASHTO)	A7-5
Classificação Textural	Argila Siltosa

Fonte: os autores.

Os valores de limite de plasticidade e índice de plasticidade indicam que o solo é altamente plástico e pode sofrer significativa variação de volume. A classificação H.R.B como A7-5 indica um solo argiloso e fraco, tendo comportamento em geral de baixa resistência.

A composição granulométrica do solo apresenta-se no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Curva granulométrica do solo



Fonte: os autores.

O método de dosagem considerou adição de Cimento Portland CPV ARI e resíduo de escória de chumbo sob a massa de solo seca.

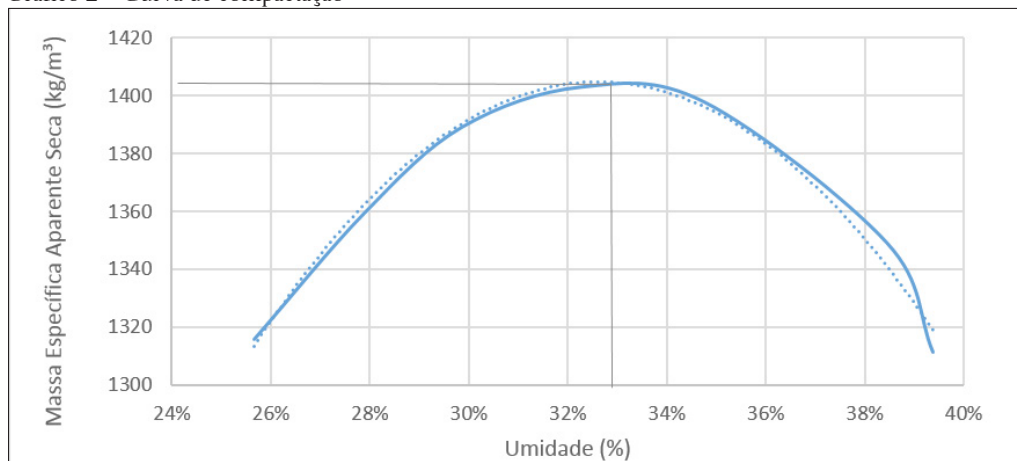
O resíduo denominado escória de chumbo, é proveniente da reciclagem de baterias inservíveis da Empresa Pioneiro Ecometais, que possui sua localização no Município de Água Doce, SC.

Optou-se por adotar como traços para estudo de solo-cimento-resíduo os valores correspondentes a 2,5% e 5% de escória de chumbo e 15% de cimento Portland CPV ARI sobre a massa de solo seco. Os períodos de cura adotados foram 7, 28 e 60 dias, variando a temperatura em 24 °C, 35 °C, 45 °C e 60 °C, com três corpos de prova para cada amostra, totalizando 72 corpos de prova ensaiados.

A determinação da quantidade de material utilizado para cada corpo de prova foi fundamentada em dois valores fixados, a massa específica aparente seca máxima e a umidade ótima, ambas referentes ao ensaio de Proctor, em que se seguiram as recomendações da NBR 12023 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012).

A quantidade de água foi adicionada com base na massa de sólidos de forma que se obtivesse a umidade ótima desejada. No Gráfico 2, apresenta-se a curva de compactação Proctor do solo ensaiado, com peso específico seco máximo de 1.405 kg/m<sup>3</sup> e 33% no teor de umidade ótimo.

Gráfico 2 – Curva de compactação



Fonte: os autores.

Os traços foram nomeados como: 2,5%E 15%C, sendo composto por solo mais adição de 2,5% de escória de chumbo e 15 de cimento Portland CPV. E, 5%E 15%C, sendo composto por solo mais adição de 5% de escória de chumbo e 15 de cimento Portland CPV.

Para a moldagem dos corpos de prova propostos ao rompimento à compressão simples, utilizou-se um molde cilíndrico de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura. Para esse procedimento, o solo foi misturado com o agente cimentante e a escória de chumbo em um recipiente e realizou-se a homogeneização manual. A compactação ocorreu em três camadas, em que em cada uma foi realizada a escarificação para melhor aderência, e receberam a mesma quantidade de material.

Os corpos de prova, após moldados, foram pesados e armazenados em um saco plástico vedado, a fim de manter a umidade dele e não permitir a entrada de água nos determinados tanques de controle da temperatura. Para se concluir o período de cura estabelecido, todos os corpos de prova eram retirados dos sacos e colocados em imersão na água por no mínimo 24 horas antes de seu rompimento, com o propósito de verificar a pior condição, conforme Figura 1.

Figura 1 – Corpos de prova em imersão



Fonte: os autores.

Após a retirada dos corpos de prova da água, determinou-se o peso na condição saturada e realizou-se, então, o rompimento na prensa hidráulica do Laboratório de Materiais e Solos – Campus de Joaçaba. Ao fim do ensaio para os 72 corpos de prova, cada traço apresentou três valores de resistência à compressão simples, os quais foram utilizados aqueles que não diferiram  $\pm 10\%$  em relação à média.

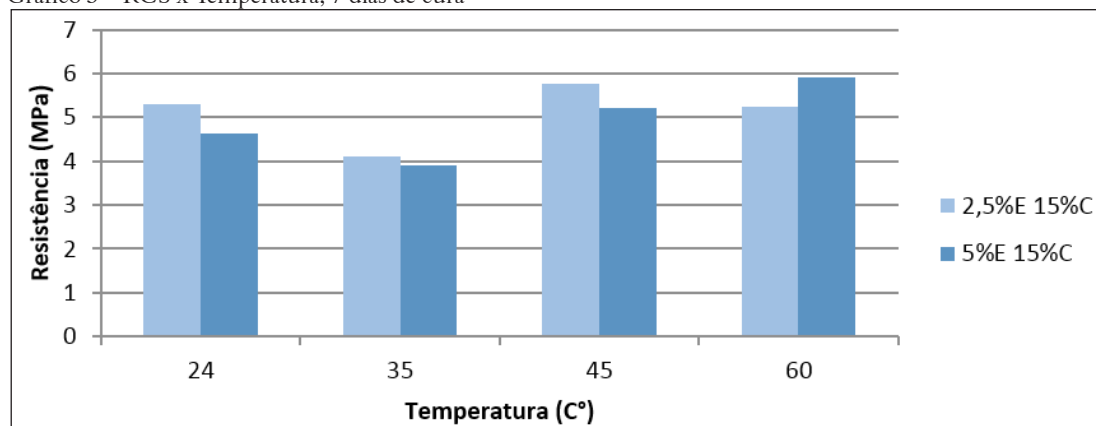
#### 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para o ensaio de resistência à compressão simples (RCS), foram testados três corpos de prova para os dois traços de solo-cimento nas idades de cura de 7, 28 e 60 dias, e variando a temperatura em 24 °C, 35 °C, 45 °C e 60 °C, ou

seja, um total de 72 corpos de prova. Considerando um critério de aceitação para o ensaio de resistência à compressão simples, estipulou-se que as resistências individuais não deveriam ultrapassar 10% da resistência média dos três corpos de prova. Dessa forma, os resultados do comportamento das RCS em razão da temperatura estão apresentados nos respectivos Gráficos 1, 2 e 3.

No Gráfico 3, verificam-se os dados de resistência a compressão simples da primeira idade de cura, 7 dias.

Gráfico 3 – RCS x Temperatura, 7 dias de cura

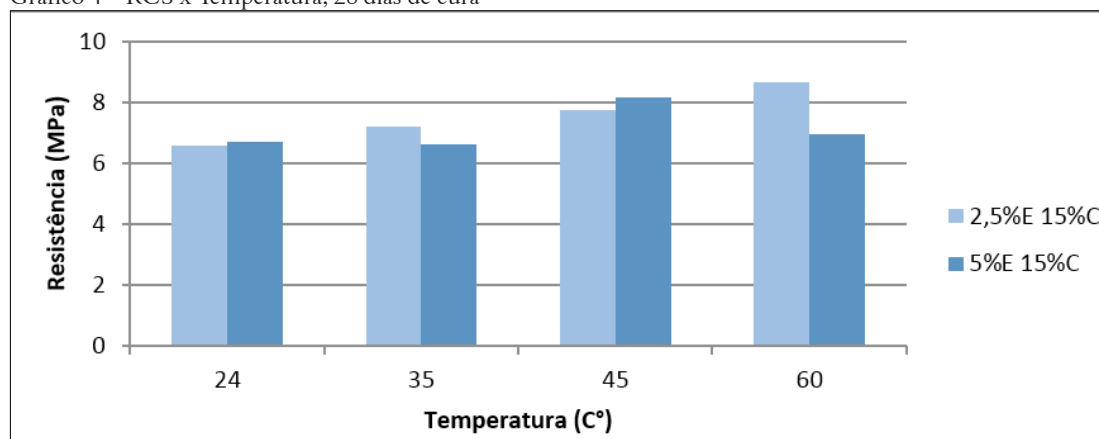


Fonte: os autores.

Aos 7 dias, houve maiores valores de RCS a 45 °C e 60 °C, onde não se obteve linearidade com um mesmo traço. Já analisando o comportamento de 24 °C para 35 °C, houve queda nas resistências conforme aumento da temperatura, e assim corroborando com Neville (1997), no qual explica que, com uma hidratação inicial rápida, à temperaturas altas, as hidratações subsequentes acabam sendo retardadas e produzem uma distribuição não uniforme dos produtos de hidratação, não alcançando o tempo para a difusão dos produtos de cimento, que posteriormente não conseguem preencher os espaços intersticiais, aumentando-se o número de poros na matriz e diminuindo sua resistência. A maior resistência adquirida foi 5,9 MPa, aos 60 dias de cura com o traço 5% de escória.

No Gráfico 4, apresentam-se as resistências a compressão simples para a idade de 28 dias, onde nota-se desníveis em relação ao crescimento das RCSs e respectivas temperaturas.

Gráfico 4 – RCS x Temperatura, 28 dias de cura



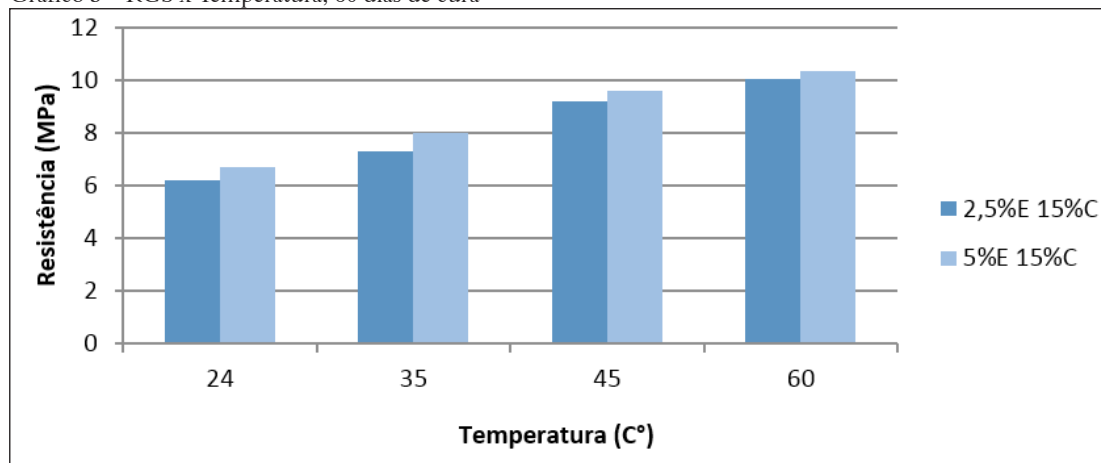
Fonte: os autores.

Por meio do Gráfico 4, observa-se crescimento da resistência conforme aumento da temperatura, porém há um decréscimo com o traço de maior quantidade de escória (5,0%) em relação ao menor, em que sua resistência reduz para a temperatura de 60 °C em relação ao anterior de 45 °C. Isso acontece também com o mesmo traço, agora contrastado de 24 °C para 35 °C.

O traço com 2,5% de escória evoluiu sua resistência conforme o esperado, obtendo-se a maior resistência a compressão simples a 60 °C com o resultado de 8,63 MPa. Analisando o gráfico geral, com 28 dias de cura, é possível concluir que as reações de cimento tiveram maior resultado, uma vez que a escória precise de um tempo maior para reagir.

No Gráfico 5, observam-se as resistências atingidas pelas misturas na maior idade de cura, 60 dias. Tem-se a clara visão de que houve linearidade, ou seja, constante crescimento das resistências, diferenciando do ocorrido com os tempos de 7 e 28 dias.

Gráfico 5 – RCS x Temperatura, 60 dias de cura

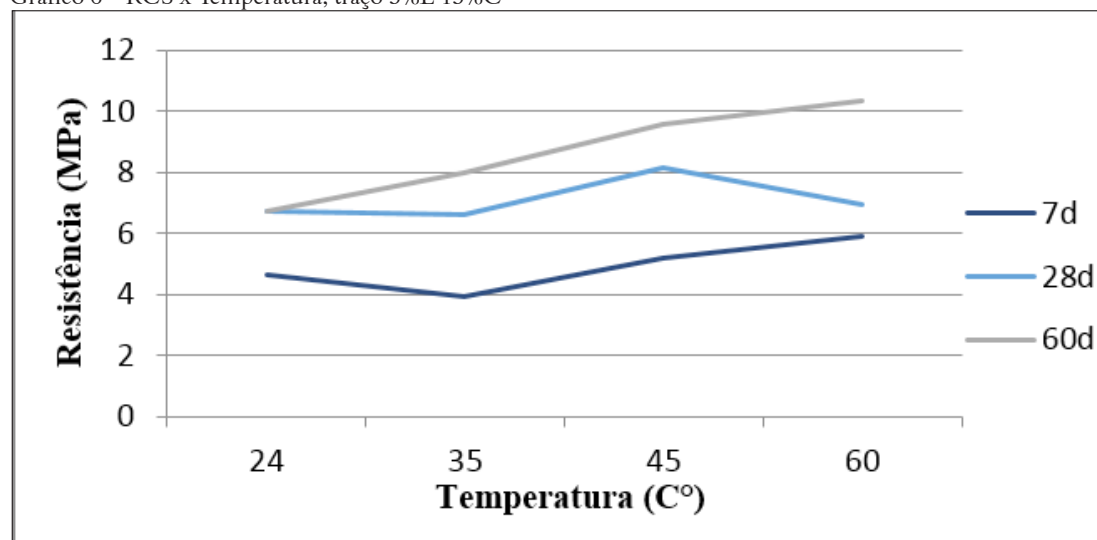


Fonte: os autores.

Ao analisar as reações pozolânicas, a escória teve maior significância com maior tempo de cura e temperatura. Aos 60 °C, com traço de 5% de escória encontra-se a maior resistência a compressão simples de 10,33 MPa. Com o tempo de cura de 60 dias, pode-se analisar que as resistências aumentaram constantemente, conforme aumenta-se a temperatura de cura. Esse caso explica-se por Silvani (2013), afirma que conforme ocorre aumento da temperatura, as reações pozolânicas aceleram-se e que por se referir a reações endotérmicas, a taxa de desenvolvimento da resistência será maior quanto maior a temperatura de cura.

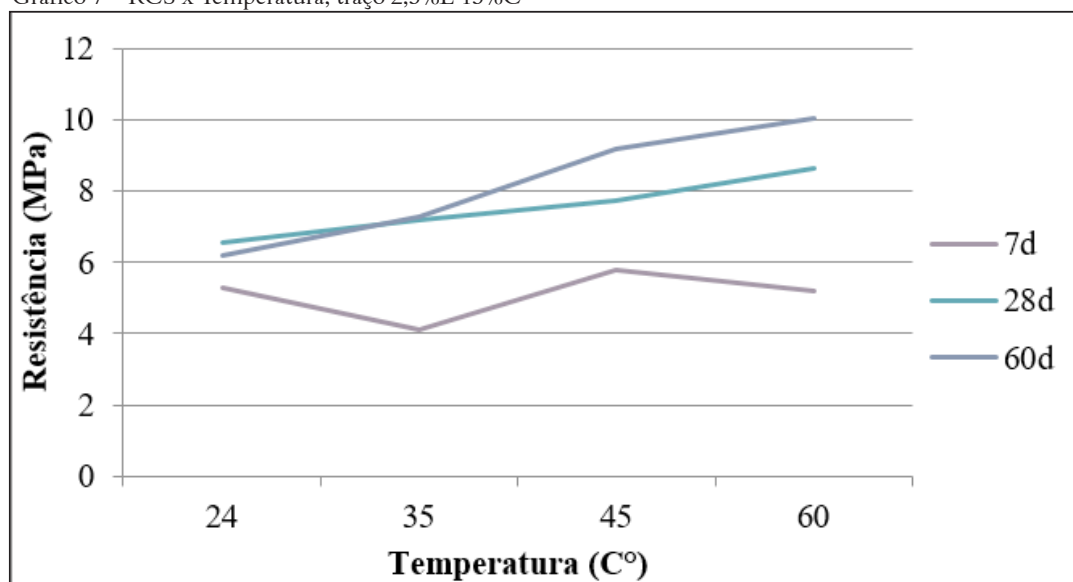
Por meio dos Gráficos 6 e 7, é possível analisar a evolução das resistências para os tempos de cura de 7, 28 e 60 dias com as respectivas temperaturas 24 °C, 35 °C, 45 °C e 60 °C para o traço de 5% de escória mais 15% de cimento e 2,5% de escória mais 15% de cimento, respectivamente.

Gráfico 6 – RCS x Temperatura, traço 5%E 15%C



Fonte: os autores.

Gráfico 7 – RCS x Temperatura, traço 2,5%E 15%C



Fonte: os autores.

Com base nos Gráficos 6 e 7, é visível que a resistência à compressão simples aumenta gradativamente com um tempo de cura maior, pois isso possibilita mais tempo para a hidratação do cimento.

Ao analisar o comportamento da resistência à compressão simples aos 7 dias, percebe-se que em ambos os traços há uma queda em 35 °C, em que tende a descer novamente em 60 °C somente no traço 2,5% de escória. Já aos 28 dias, a resistência para o traço 5% de escória se assemelha ao ocorrido aos 7 dias de idade e com 2,5% de escória há certa linearidade alcançando até maior resistência em média comparado ao outro traço. Aos 60 dias de cura se obtêm resistências superiores às demais idades, em que o destaque foi para o traço 5% de escória, com 10,33 MPa.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos demonstraram que o incorporamento do resíduo escória de chumbo teve maior significância aos 60 dias de cura, sendo o maior período analisado, e a evolução das resistências ocorreu conforme aumento da temperatura e período de cura. A comparação entre os períodos de cura indicou que, em maiores idades, a cimentação é mais adequada, com valores de resistência até 44,60% maiores nas idades de 7 a 60 dias, assentindo com Herzog e Mitchell (1963).

Há um acréscimo de resistência à compressão ao longo do tempo, conforme o esperado, verificando-se também uma tendência de menores resistências para temperaturas mais baixas, não seguindo uma linearidade para todos os casos.

Considerando o melhor resultado para resistência à compressão simples sendo de 5% de escória e para os 60 dias de cura, explica-se o fato de que a resistência mecânica é proporcional ao tempo que esse solo é curado e à quantidade de adição proferida a ele, e que, portanto, é possível utilizar a mistura solo-cimento-escória para fins de melhoramento de solos, uma vez que as resistências se mostraram elevadas em razão da interferência da temperatura, estando aos 7 dias com resistência máxima de 5,9 MPa, até 10,33 MPa aos 60 dias de cura.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à fornecedora da bolsa, para realização do projeto de pesquisa, Fapesc, à Unoesc, por permitir tal experiência, aos amigos e familiares.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização de cimento Portland**. Boletim Técnico 106. São Paulo: Publicações ABCP, 2002.



- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459 – Solo – Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro, 2016a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180 – Solo – Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro, 2016b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181 – Solo – Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 2016c.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004. Resíduos Sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR12023 – Solo-cimento – Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12253 - Solo-cimento – Dosagem para emprego como camada de pavimento**. Rio de Janeiro, 1992.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER - ME 093/94 – Solos – Determinação da densidade real**. 1994.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 143/2010-ES: Pavimentação – Base de solo-cimento**. 2010.
- FONINI, A. **Comportamento Mecânico de uma Areia Cimentada: Análise Experimental e Micromecânica**. 2012. 210 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – UFRGS, Porto Alegre, 2012.
- GOMES, G. M. F. **Redução do Impacto Ambiental da Escória de Obtenção de Chumbo por Via Secundária**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.
- GOULART, C. L.; PEDREIRA, C. L. da S. **Estabilização química de solo com adição de cimento ou cal como alternativa de pavimento**. 2009. Universidade Federal de Rio Grande e Universidade Católica de Pelotas, Rio Grande, 2009.
- HERZOG, A.; MITCHELL, J. K. Reactions accompanying stabilization of clay with cement. **Highway Research Record**, Washington, v. 36, p. 146-171. 1963.
- INGLES, O. G.; METCALF, J. B. **Soil Stabilization – Principles and Practice**. Sidney: Butterworths, 374 p. 1972.
- MAKUSA, G. P. **Soil stabilization methods and materials in engineering practice: State of the art review**. Sweden: Lulea° University of Technology, 2013.
- NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 2. ed. São Paulo: PINI, 1997.
- PEREIRA, K. L. de A. **Estabilização de um solo com cimento de iodo para uso em pavimentos**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – UFRGN, Natal, 2012.
- SANTANA, G. P. **A Reciclagem do Chumbo da Bateria**. São Paulo. 2015. Disponível em: <http://blog.clubedaquimica.com/a-reciclagem-do-chumbo-da-bateria/>. Acesso em: 10 jan. 2019.
- SILVANI, C. **Influência da temperatura de cura no comportamento mecânico de misturas areia-cinza volante-cal**. 2013. 127 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – UFRGS, Porto Alegre, 2013.
- VENDRUSCOLO, M. A. **Estudo do comportamento de materiais compósitos fibrosos para a aplicação como reforço de base de fundações superficiais**. 2003. 224 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- ZAMPIERI, L. Q. **Comportamento mecânico de um solo mole orgânico cimentado com aglomerantes variados**. 2015. 117 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – UFRGS, Porto Alegre, 2015.

