

ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DE FUNDIÇÃO EM BLOCOS DE SOLO-CIMENTO

R. Folmann¹, W. Malkowski¹, L.V.D. Valentina^{1/2}, M.V. Folgureras¹

¹UDESC, ²SOCIESC

UDESC - CCT - Rua Paulo Malschitzki - Campus Universitário Prof. Avelino

Marcante - Bairro Bom Retiro - Joinville-SC - Brasil CEP 89219-710

raquel.folmann@gmail.com

RESUMO

Blocos de solo-cimento são uma alternativa aos tijolos convencionais pois não necessitam de queima para adquirir resistência mecânica. Esse trabalho analisa a viabilidade técnica do reaproveitamento de areias de fundição como agregado miúdo em blocos de solo-cimento. As matérias-primas foram caracterizadas por difração de raios-X, análise térmica e granulometria. O resíduo de areia de fundição foi misturado em diferentes níveis ao solo e ao cimento. Foram realizados ensaios de compactação das misturas para definir o teor de umidade ótima correspondente à densidade máxima. Calorimetria de Condução Isotérmica foi realizada para estudar a influência do resíduo na reação de hidratação do cimento. Os resultados indicam que a adição do resíduo de areia de fundição diminui a umidade ótima da mistura e aumenta a densidade máxima sem afetar significativamente a curva de pega do cimento.

Palavras-chave: solo-cimento, resíduo, areia de fundição.

INTRODUÇÃO

O crescimento sem precedentes da população tem sobrecarregado os sistemas globais, o modelo atual de desenvolvimento econômico consome recursos naturais de maneira indiscriminada, as atividades industriais geram resíduos que podem contaminar ar, água e solo se não forem dispostos corretamente. O reaproveitamento de resíduos industriais é um desafio a sociedade moderna.

A construção civil, dentre os diversos setores industriais, é uma das maiores consumidoras de recursos naturais. Pelo seu grande volume de produção e vasto espectro de composições tem potencial para incorporar resíduos de outras atividades industriais. As vantagens de se proceder à reciclagem incluem redução do volume de extração de matérias-primas, redução do consumo de energia, redução dos custos com disposição de resíduos em aterros e melhoria da saúde da população e do ambiente⁽¹⁾.

A fundição é o método mais curto e o mais utilizado para se obter peças metálicas acabadas, onde o metal é vazado em moldes de “areia verde”. A areia verde é uma composição de areia comum, bentonita umedecida e pó de carvão, que depois de alguns ciclos perde sua capacidade ligante e tem de ser descartada. Esse resíduo é classificado como classe II A, pela NBR 10.004, ou seja, é não-perigoso e não-inerte. Em virtude de seu grande volume e dos impactos ambientais oriundos do seu descarte, sua utilização é defendida em vários trabalhos ^(2,3), inclusive em blocos de solo-cimento.

Solo-cimento é uma mistura íntima de solo, cimento Portland e água que adquire resistência mecânica através das reações de hidratação do cimento. Muito utilizado em obras de pavimentação, o solo-cimento também permite a construção de paredes monolíticas e tijolos para construção civil. Normalizado pela ABNT 8491⁽⁴⁾ em 1984, os tijolos de solo-cimento apresentam as seguintes vantagens: seu componente principal, o solo, é material abundante, de baixo custo, de fácil obtenção e manuseio; o tijolo pode ser fabricado no próprio canteiro de obras com equipamentos simples e acessíveis; apresenta textura uniforme, dimensões regulares e superfícies planas.

O uso de tijolos modulares com encaixes ainda apresenta mais algumas vantagens, como maior rapidez na execução da alvenaria, reduz o desperdício no canteiro de obras – as instalações hidráulicas e elétricas podem ser embutidas nos

furos dos tijolos, reduz o consumo de argamassas de assentamento e de reboco⁽⁵⁾. Os solos recomendados para compor o solo-cimento devem atender às seguintes características: 100% dos grãos passando na peneira ABNT 4,8 mm; 10 a 50% dos grãos passando na peneira ABNT 0,075 mm, limite de liquidez $\leq 45\%$; limite de plasticidade $\leq 18\%$ ⁽⁶⁾. Nesse sentido é importante acertar a granulometria da mistura para promover boa compactação e economia no consumo de cimento.

Nesse trabalho são investigadas as propriedades de blocos de solo-cimento com adição de resíduo de areia de fundição (RAF) em substituição parcial ao solo, como corretor da granulometria.

MATERIAIS E MÉTODOS

As matérias-primas solo e resíduo de areia de fundição foram caracterizadas por Difractometria de Raios X (DRX) e análise térmica diferencial (ATD). Para a difratometria foi utilizado alvo de cobre de emissão predominante no comprimento de onda $K\alpha = 1,5406\text{Å}$, com velocidade de varredura de $2^\circ/\text{min}$ e na análise térmica foi considerada taxa de aquecimento de $10\text{K}/\text{min}$ e atmosfera oxidante.

Para caracterizar o solo foram realizados os ensaios de Granulometria por peneiramento, Massa específica e Limite de Liquidez de acordo com as normas ABNT 7181, 6508, 7180 respectivamente. O resíduo de areia de fundição também foi caracterizado por peneiramento. O cimento utilizado é do tipo Portland II E 32 da marca Votoram, e seu uso foi fixado em 10%. O solo foi seco em temperatura ambiente, destorroado e peneirado em malha 4,8 mm.

Diferentes composições de cimento, solo e areia de fundição foram estudadas, para cada composição procedeu-se ao ensaio de compactação. Esse ensaio segue a NBR 7182 para solos e a NBR 12023 no caso do solo-cimento. A mistura foi feita manualmente, sendo a água adicionada aos poucos. Em um molde padronizado com volume de 1 litro a mistura é dividida em 3 camadas, onde cada camada é compactada com 26 golpes aplicados por um peso de 2,5 quilogramas caindo de uma altura de 0,30 metros. A curva de compactação é construída a partir dos dados de umidade e densidade, e fornece a umidade ótima que proporciona densidade aparente máxima para a mistura em questão.

Para estudar a influência do resíduo na curva de hidratação do solo-cimento diferentes composições foram avaliadas em relação à energia liberada logo após a

mistura com água através da Calorimetria de Condução Isotérmica, calorímetro TAM Air. Nesse ensaio a energia liberada na hidratação do cimento é quantificada pelo monitoramento do fluxo de calor em um ambiente controlado. A aquisição de dados é realizada com sistema informatizado, com frequência média de 30 segundos para cada coleta de dados. O registro inicial de dados deu-se a aproximadamente 5 minutos após o contato com água, não sendo registrado o calor inicial de dissolução.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O solo utilizado na pesquisa possui massa específica de 2,534g/cm³, Limite de Liquidez de 53,86% e Limite de Plasticidade de 30,46%. Esses valores, considerados altos para aplicações em solo-cimento devem-se em grande parte ao elevado percentual de finos em sua composição granulométrica. A tabela 1 apresenta a distribuição granulométrica, em percentual em peso, tanto para o solo como para o resíduo de areia de fundição.

Tabela 1 – Dados de distribuição granulométrica, percentual em peso.

Material	Solo (%)	RAF (%)
Pedregulho	0,44	0
Areia grossa	1,73	0
Areia média	8,61	12,48
Areia fina	16,6	77,03
Silte+Argila	72,62	10,49

O solo apresenta partículas em todas as faixas de tamanho, próprio de material natural, enquanto o resíduo tem tamanho de partícula bastante controlado, próprio de material beneficiado. No resíduo (RAF) a areia fina é a parcela mais significativa com 77% do total. Já os 10,49% representados pelo silte+argila, correspondem ao pó de carvão e à bentonita.

Os difratogramas de Raios X são apresentados na figura 1.

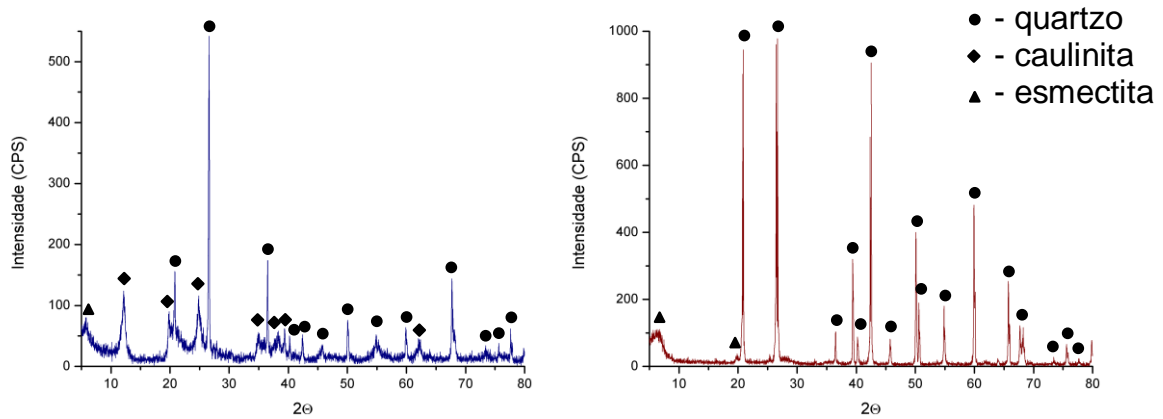


Figura 1 – Difratoigramas de Raios X do Solo (a) e do Resíduo de Areia de Fundição(b)

O solo é composto por uma argila caulínica, quartzo e traços de esmectita. A presença de fundentes não pôde ser identificada através dos difratogramas. Este tipo de composição mineralógica é característico de argilas refratárias. O resíduo de fundição é composto basicamente de sílica na sua forma mais comum, grãos de quartzo; mas também apresenta traços de esmectita, família de argilominerais do qual a bentonita faz parte.

A análise térmica do solo é apresentada na figura 2. Os dois primeiros eventos são acompanhados de perda de massa; inicialmente ocorre a evaporação da água adsorvida e depois da água quimicamente ligada. A 518,8°C o pico endotérmico corresponde à desidroxilação do argilomineral, resultando em variação de massa de 3,75%. A 931°C um pico exotérmico marca a formação de mulita.

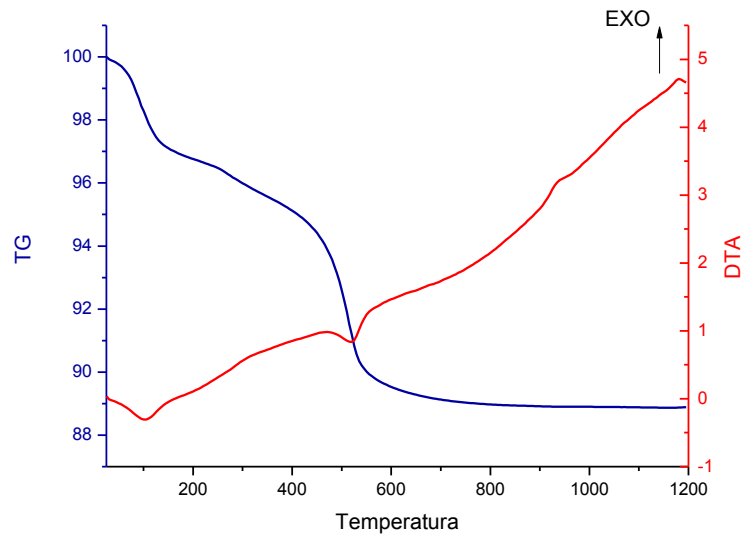


Figura 2 – Análise térmica do solo

Na figura 3, a análise térmica do resíduo de fundição, com pequena variação de massa, -1,88%; pois o material já sofreu degradação térmica no contato com metal fundido, e um pico exotérmico a 527,2°C, típico dos argilominerais.

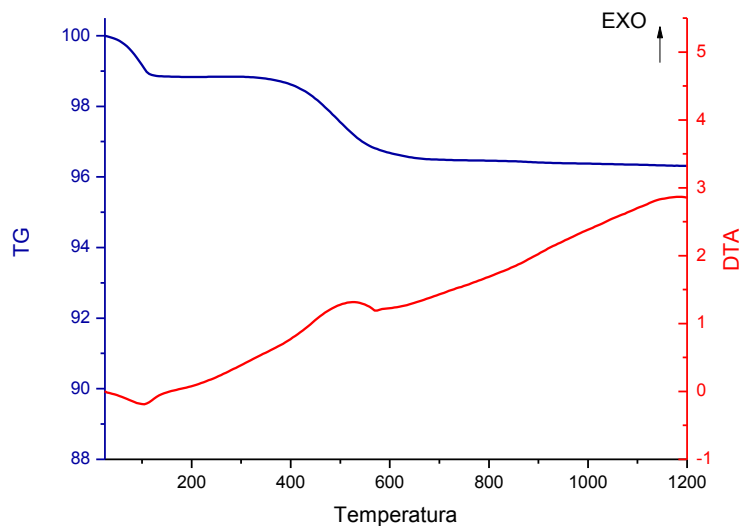


Figura 3 – Análise térmica do Resíduo de Areia de Fundição

A mistura de uma argila caulínica com um resíduo de fundição e mais cimento Portland foi estudada fisicamente mediante ensaio de compactação, o resultado pode ser visto na figura 4. No ramo seco da curva, abaixo da umidade ótima, as partículas se aproximam diante do efeito lubrificante da água. No ramo

úmido, acima da umidade ótima, a água em excesso afasta as partículas e diminui o peso específico.

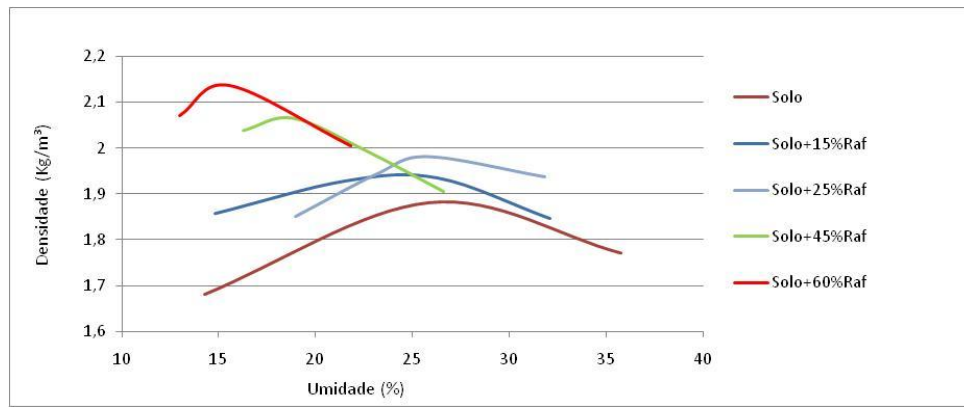


Figura 4 – Curvas de Compactação de Solo-Cimento e Resíduo de Fundição

Na figura 5 estão os valores de umidade ótima e densidade máxima para as diferentes composições de solo-cimento; esses dados são extraídos do ponto de máximo da curva de compactação.

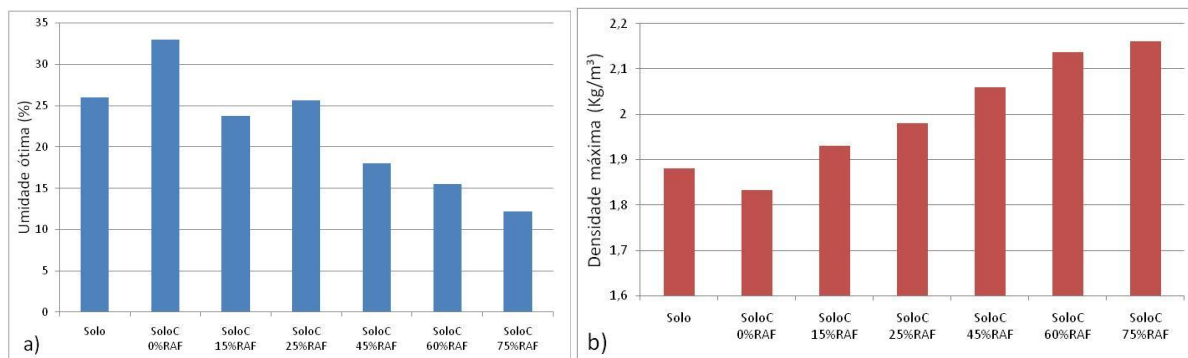


Figura 5 – Umidade ótima(a) e Densidade máxima(b) para diferentes teores de RAF

Nota-se uma diminuição expressiva na umidade ótima conforme se adiciona o resíduo de fundição. A densidade máxima aumenta proporcionalmente ao teor de resíduo. O resíduo atua como enchimento na matriz de solo, e contribui na compactação da mistura devido à variação da granulometria. A umidade ótima é maior para o solo devido à maior presença de finos da mistura, as pequenas partículas de argila demandam mais água lubrificante para que se alcance o mesmo grau de compactação.

A interação química entre os componentes da mistura é estudada pela calorimetria. Os resultados registrados no calorímetro permitem traçar as curvas de

calor liberado em função do tempo de hidratação. O fluxo de calor é apresentado normalizado por gramas de cimento, na figura 6.

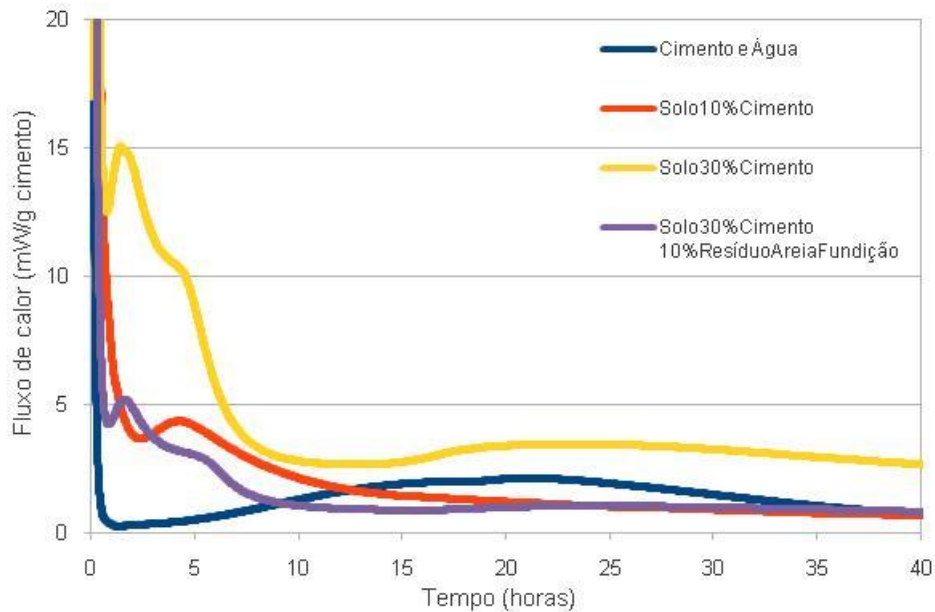


Figura 6 – Fluxo de calor x Tempo – Calorimetria de Condução Isotérmica

A curva de hidratação de cimento e água apresenta um calor inicial grande, imediatamente após a adição de água, referente à dissolução e precipitação dos compostos do cimento, seguido por um período de baixa energia, chamado período de indução e um período de aceleração, caracterizado pelo aumento do fluxo de calor.

Para o material solo-cimento o calor inicial de dissolução é alto, e o período de indução é bastante reduzido. A presença do solo acelera a hidratação do cimento, como pode ser verificado pela variação na intensidade dos picos, nas curvas obtidas para materiais contendo apenas solo e cimento.

A adição do resíduo de areia de fundição interfere na reação entre o solo e o cimento, diminuindo a energia liberada na hidratação.

Há carência de literatura específica para as complexas reações químicas entre a pasta de cimento e os argilo-minerais componentes do solo, assim esses dados são considerados de maneira qualitativa.

CONCLUSÃO

A caracterização do solo permitiu identificá-lo como argila caulinitica refratária, imprópria para cerâmica vermelha tradicional, e própria para estabilização com cimento, desde que sua granulometria seja corrigida. O resíduo é basicamente areia e possui granulometria controlada.

A adição do resíduo de areia de fundição auxilia na compactação da mistura de solo-cimento ao diminuir a umidade ótima e aumentar a densidade máxima. O resíduo atua como enchimento na matriz de solo, e contribui na compactação da mistura devido à variação da granulometria dos componentes, porém seu uso deve ser restringido devido à interferência nas reações que se processam entre o solo e o cimento Portland.

Complexas reações químicas se desenvolvem entre a pasta de cimento e os argilo-minerais componentes do solo, não há linearidade em suas propriedades. O tratamento de resíduos com o uso de cimento Portland permite a solidificação e a estabilização mecânica desses materiais em uma matriz de solo, que ainda pode ser utilizado para fins de edificação.

REFERÊNCIAS

- 1 - MENEZES, R. R.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C. O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.6, n.2, 2002, p.303-313.
- 2 - WATANABE, F.A. Estudo sobre a utilização de areia de fundição residual como agregado na confecção de pavimentos de concreto, Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) Centro de Ciências Tecnológicas, UDESC. 2004, 129.
- 3 - CARNIN, R.L.P. Reaproveitamento do resíduo de areia verde de fundição como agregado em misturas asfálticas, Tese (Doutorado em Química) Universidade Federal do Paraná. 2008, 131.
- 4 - Tijolo maciço de solo-cimento - Especificação. NBR 8491. ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). 1984.
- 5 - SEGANTINI, A.A.S.; ALCÂNTARA, M.A.M. Solo-Cimento e Solo-Cal. In: ISAIA, G.C, (Org/Ed) Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências e Engenharia de Materiais. IBRACON, 2007. P.833-861.

6 - Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com a utilização de prensa manual - Especificação. NBR 10832. ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). 1989.

STUDY OF INCORPORATION OF CASTING WASTES IN SOIL-CEMENT BLOCKS

ABSTRACT

Soil-cement bricks are an ecological alternative to conventional ones because they don't need to be burned to gain strength. This study examines the technical possibility of reuse of foundry sand as fine aggregate in soil-cement. The raw materials were characterized by X-ray diffraction, thermal analysis and particle size. The foundry sand wastes were mixed at different levels to soil and cement. Compaction tests were performed to define the mixtures at optimum moisture content corresponding to the maximum density. Isothermal Conduction Calorimeter was performed to study the influence of waste in the cement hydration reaction. The results indicate that the addition of foundry sand waste decreases the optimum moisture content and increases the maximum density without significantly affecting the cement set.

Key-words: soil-cement, foundry sand, solid waste.