



Ministério da Educação – Brasil
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM
Minas Gerais – Brasil
Revista Vozes dos Vales: Publicações Acadêmicas
ISSN: 2238-6424
QUALIS/CAPEs – LATINDEX
Nº. 21 – Ano XI – 05/2022
<http://www.ufvjm.edu.br/vozes>

CARACTERIZAÇÃO DO SOLO-CIMENTO DE ALTO DESEMPENHO (SCAD): ALTERNATIVA CONSTRUTIVA NOS VALES DE JEQUITINHONHA - MG

Frank Alison de Carvalho
Mestre em Saúde, Sociedade e Ambiente - UFVJM
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM - Brasil
Técnico do Laboratório de Geoquímica Geral e Ambiental do CEGEO/ICT.
<http://lattes.cnpq.br/9130058062685928>
E-mail: frank.carvalho@ict.ufvjm.edu.br

Dr. Alexandre Christofaro Silva
Doutor em Agronomia pela Universidade de São Paulo
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM - Brasil
Docente Departamento Agronomia- UFVJM.
<http://lattes.cnpq.br/3234555183136504>
E-mail: alexandre.christo@ufvjm.edu.br

Dr. Juan Pedro Bretas Roa
Doutor em Química pela Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM - Brasil
Docente Instituto de Ciência e Tecnologia - UFVJM.
<http://lattes.cnpq.br/1833639892124081>
E-mail: juan.roa@ict.ufvjm.edu.br

Dr. Bernat Vinolas Prat
Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Politécnica de Catalunha, Espanha
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM - Brasil
Docente Instituto de Ciência e Tecnologia - UFVJM.
<http://lattes.cnpq.br/7998463818840636>
E-mail: bernat.vinolas@ict.ufvjm.edu.br

Resumo: O solo-cimento é composto por uma mistura homogênea de água, solo e cimento que mediante processo inicial de compactação adquire resistência ao longo do tempo. O solo utilizado é comumente extraído do material restante de escavações, fazendo com que esta técnica construtiva seja considerada de baixo custo e baixo impacto ambiental. Até a atualidade não existem estudos avaliando quais parâmetros no processo de produção podem ser aprimorados para obter um solo-cimento de alto desempenho. O objetivo deste trabalho é mostrar a aplicabilidade do novo material de construção denominado solo-cimento de alto desempenho (SCAD) na região do Vale do Jequitinhonha. Para tal objetivo, o trabalho foi dividido em três fases: 1) Baseado nas normativas nacionais e referencial teórico caracterizou-se o termo SCAD; 2) Mediante dois exemplos de produção de solo-cimento, se discutiu como a modificação de certos parâmetros na produção do solo-cimento permitem produzir um SCAD; 3) Se mostrou, mediante caso do estudo do Vale de Jequitinhonha, que esta é uma região com potencialidade de uso desta técnica construtiva. Os resultados mostram que caso se obtenha um solo-cimento com: resistência à compressão acima de 41 MPa, resistência à flexo tração acima de 2,5 MPa, absorção de água abaixo de 8% e/ou perda de volume < 0,35% e perda de massa < 3%, este pode ser considerado um SCAD. Foi possível mostrar como na produção de corpos de prova com utilização de 20% em massa de cimento e aplicação de alta pressão de compactação (6,5 MPa) se obtém uma resistência à compressão média de 48,76 MPa e absorção de água de 6,92%. No caso de produção de placas de solo-cimento com 30% de cimento em massa, se atingiram resistências médias à flexo tração de 4,18 MPa e absorção de água de 5,02%. Estes resultados mostram a possibilidade de produzir solo-cimento com características de alto desempenho em alguns dos requisitos. Para produzir este tipo de produto, idealmente devemos nos localizar em regiões com disponibilidade de solos (solos profundos) e com textura arenosa ou média. O Vale de Jequitinhonha cumpre esses requisitos, viabilizando o uso do SCAD, um material de baixo custo e em sintonia com o meio ambiente.

Palavras-chave: Solo-Cimento de Alto Desempenho (SCAD), High Performance Soil Cement (HPSC), Método de empacotamento, umidade de compactação.

Introdução

O solo-cimento é composto por uma mistura homogênea de água, solo e cimento que mediante processo inicial de compactação adquire resistência ao longo do tempo sem necessidade de passar por processo de queima (Negreiros et al. 2018). Uma vez compactado, o produto resultante é deixado à temperatura ambiente e com umidade alta para adquirir resistência durante os sete (7) primeiros dias. A metodologia de produção de solo-cimento se assemelha a processos históricos na construção civil, como a produção de adobe e da taipa (Pacheco et al., 2009). A diferença do adobe é que, na produção do solo-cimento, é incorporada uma

porcentagem de aglomerante (cimento) permitindo que este material seja mais durável frente processos de molhagem e secagem.

O solo-cimento é um produto considerado de baixo impacto ambiental por proporcionar o aproveitamento do solo da escavação da própria obra. Essa alternativa promove a diminuição de custos, tanto dos materiais comumente empregados como agregados do concreto (brita e areia), quanto da necessidade de exploração e deslocamento desses materiais para o local da obra. É importante também considerar que o melhor aproveitamento dos materiais de uma obra de construção civil diminui a geração de resíduos e consequentemente a remoção e o descarte desses materiais, reduzindo o impacto nas áreas de descarte de entulho, os considerados “bota-fora” (Pinto, 2016; Negreiros et al. 2018). De forma geral, o uso do solo-cimento aponta vantagens ambientais e a diminuição de custo em obras.

Apesar das vantagens do solo-cimento, existem vários aspectos históricos que ajudaram a desvalorizar este tipo de solução construtiva (Pacheco et al., 2009 e Ferrari et al., 2019). Um dos fatores é que historicamente as construções que aproveitavam o próprio solo eram utilizadas por camadas sociais com menores recursos, trazendo uma visão errônea de que caso se tivesse maior capacidade econômica era melhor optar por outros materiais construtivos (produtos cerâmicos ou de concreto). Esse panorama começou a mudar e cada vez existe mais conhecimento das vantagens da construção com a técnica do solo-cimento. Além das vantagens em termos ambientais e econômicos, a construção utilizando o próprio solo aumenta o conforto térmico e melhora aspectos de salubridade habitacional (Minke, 2015). Os estudos que favoreçam o aprimoramento na produção de solo-cimento ajudaram também a mudar esta concepção de desvalorização desta técnica.

Atualmente, as aplicações mais comuns encontradas que utilizam a técnica de solo-cimento se referem à produção de blocos para vedação (Castro et al., 2016) e aplicações em pavimentação (Sanbonsuge et. al., 2017). Porém, existem outros tipos de aplicações, justamente por sua facilidade de produção em formatos adaptados às necessidades da construção. Um exemplo recente, mas que não é limitante, é o desenvolvimento de bloco de solo-cimento forma semicircular para controle de processos erosivos (Thoma et. al., 2020).

O concreto, material em frequente evolução, formado pela mistura de cimento, agregados e água, podendo conter aditivos que também influenciam no seu desempenho vem sofrendo um desenvolvimento constante desde sua aparição. A partir de 1960 foram criados os primeiros concretos de alta resistência, e a partir de 1990 os concretos considerados de alto desempenho (Isaia et al., 2011). Concretos de Alto desempenho (CAD) apresentam como principal característica a alta resistência após 28 dias, podendo atingir valores de 60 MPa ou superiores (Ribeiro, Pinto e Starling, 2002).

Para o solo-cimento não se observa evolução similar, não sendo ainda caracterizado o termo solo-cimento de alto desempenho (SCAD), apresentado neste trabalho, sendo identificado apenas um trabalho sobre produção de solo-cimento com resistência à compressão superior a 41 MPa (da Silva Marques e Aparecido, 2022). A caracterização desse tipo de material e estudos complementares serão capazes de promover a evolução de artefatos produzidos em solo-cimento como materiais de alto desempenho, aumentando assim a difusão de sua utilização.

Em todo o território nacional e especificamente no Vale do Jequitinhonha existe um deficit habitacional, principalmente nas classes sociais com menor capacidade financeira (de Carvalho et al., 2022), o que justifica o desenvolvimento de estudos para a produção de novos materiais de baixo custo ou o aprimoramento daqueles já existentes. Esse tipo de desenvolvimento técnico é uma solução para proporcionar melhorias habitacionais e na qualidade de vida da população mais vulnerável (Sousa et al., 2017). Pelo exposto, é vital poder produzir conhecimento que pode ser aplicado em regiões com deficit habitacional e soluções construtivas com materiais de alto desempenho, baixo custo e alinhado às questões ambientais.

O objetivo geral deste estudo é mostrar a aplicabilidade do novo material de construção denominado solo-cimento de alto desempenho (SCAD) em regiões como o Vale do Jequitinhonha. Os objetivos específicos são:

- Definir os parâmetros que caracterizam um solo-cimento de alto desempenho;
- Avaliar quais parâmetros permitem obter um solo-cimento de alto desempenho mediante análise de dois produtos (corpos de prova e placas de solo-cimento);
- Caracterizar as condições ideais de uma região para o uso deste tipo de solução.

Metodologia

A metodologia foi dividida em três fases. O objetivo de cada uma das três (3) fases é cumprir com cada um dos três (3) objetivos específicos.

Fase 1 - Caracterização do conceito SCAD

Inicialmente foram avaliadas todas as normativas nacionais referentes a solo-cimento. Nelas foram caracterizados todos os requisitos de desempenho exigidos aos produtos de solo-cimento (resistência à compressão, absorção de água e durabilidade, dentre outros). Posteriormente foi realizada uma revisão bibliográfica com uma busca no google acadêmico com os seguintes termos: "solo-cimento estrutural"; "solo-cimento com função estrutural", "solo-cimento de alta resistência" e "solo-cimento de alto desempenho". Com esta busca foram obtidos respectivamente: 3, 2, 5 e 0 resultados. Dos dez (10) trabalhos obtidos, foram selecionados aqueles onde apareceram valores de requisitos de desempenho do solo-cimento. Foram excluídos da análise aqueles trabalhos com temáticas de técnicas de melhoria do solo (jet grouting, estacas, dentre outros), entendendo que esta temática foge do escopo deste artigo. No total dos dez (10) trabalhos encontrados foram selecionados dois (2) para avaliação (Ferreira et al. 2008 e Pinto 2016).

Devido a pouca informação existente sobre solo-cimento de alto desempenho se optou por procurar referências no âmbito do concreto para definir e caracterizar o que é um concreto de alto desempenho (CAD). A definição e caracterização do CAD auxiliará na caracterização do que deve ser considerado por SCAD. Para exemplificar que no caso do concreto existe uma maior pesquisa no âmbito de altas resistências e alto desempenho, foi realizada a mesma busca bibliográfica trocando o termo de solo-cimento por concreto encontrando-se 3680, 124, 3480 e 2330 trabalhos respectivamente. As referências consultadas para caracterização do concreto de alto desempenho foram: Isaia et al. (2011), Neville (2015) e dicionário de termos do concreto da American Society for Testing and Materials (ASTM C125-11, 2000).

Baseado nas normativas nacionais de solo-cimento e na revisão bibliográfica realizada, propôs-se a caracterização do que se trata um solo-cimento estrutural e um solo-cimento de alto desempenho (SCAD) (High Performance Soil-Cement

(HPSC) em inglês). Para cada um dos requisitos de desempenho do solo-cimento se discutiu quais valores máximos e mínimos devem ter o produto de solo-cimento para que este possa ser considerado como SCAD. Também se mostrou a importância de cada um dos requisitos exigidos dependendo da função desempenhada do solo-cimento.

Fase 2 - Parâmetros considerados para produção do SCAD em corpos de prova e placas de solo-cimento

Nesta fase foi avaliado como podem ser modificados alguns dos parâmetros de produção do solo-cimento para que este produto atinja características de alto desempenho. Este trabalho pretende focar na identificação e discussão daqueles parâmetros considerados chave para a produção de um SCAD. Não cabe explicar alguns detalhes referentes à produção do solo-cimento convencional, pois este não é o escopo do presente trabalho. Os parâmetros que são discutidos e avaliados mediante análise de dois produtos de solo-cimento são:

- Tipo de solo utilizado.
- Umidade de compactação.
- Porcentagem de cimento.
- Pressão de compactação.
- Tipo de desforma.

Os dois produtos que foram avaliados para discutir os parâmetros chave para produzir um SCAD são oito (8) corpos de prova e oito (8) placas de solo-cimento. No primeiro caso de estudo (corpos de prova), os parâmetros discutidos são extraídos do trabalho de Silva Marques e Aparecido (2022). No caso das placas de solo-cimento, estas foram produzidas nas dependências da UFVJM.

Corpos de prova de solo-cimento

Os parâmetros de produção considerados mais importantes para poder obter características diferenciais de desempenho nos corpos de prova foram:

- Tipo de solo utilizado: O solo utilizado tinha granulometria contínua conforme curva de Bolomey, diâmetro máximo de grão de 4,8 mm e as

seguintes proporções em massa: 87,4% de areia, 5,9% de silte e 6,7% de argila.

- Quantidade de cimento utilizada em massa: 20%.
- Pressão de compactação aplicada: 6,5 MPa.
- Umidade de compactação de 9%.

As análises realizadas nestes corpos de prova foram à resistência à compressão e absorção de água conforme normativa ABNT NBR 10836 (2013). Como comentado anteriormente, o objetivo deste trabalho foi mostrar os resultados nos quais os valores atingidos pelos produtos produzidos têm alto desempenho, verificando a possibilidade de obter um SCAD.

Placas de solo-cimento

Foram produzidas no total oito (8) placas de solo-cimento no laboratório de construções sustentáveis-saudáveis localizado no prédio LIPEMVALE da UFVJM. Na produção das placas de solo-cimento, foi utilizado solo das dependências da universidade. O solo escolhido como fonte de material foi o Argissolo Amarelo (Embrapa, 2018), solo predominante do campus JK da UFVJM, que apresenta 78% de areia, 1% de silte e 21% de argila. O cimento escolhido foi Portland Pozolânico (CP-IV). A dosagem realizada em peso foi de 30% de cimento e 70% de solo. As dimensões das placas produzidas foram de 35 cm x 35 cm x 1,25 cm de espessura. A força aplicada de compactação foi de 150.000 N sendo a pressão de 1,22 MPa.

Para produção das placas foram utilizados dois moldes. Um molde interno que encaixava em outro molde externo. Depois de fazer a prensagem, o molde interno junto com a placa de solo-cimento era desencaixado do molde externo. Isto permitia inserir outro molde interno para produção de outra placa de solo-cimento no tempo que a primeira placa era colocada em ambiente úmido para adquirir resistência. O molde interno objetiva não possibilitar a deformação da placa no momento em que ela tem uma consistência mais plástica, em caso da umidade de compactação do solo-cimento se apresentar como muito alta.

Inicialmente foram produzidas quatro (4) placas com diferentes umidades de compactação (12%, 14%, 15% e 16%). Com a produção destas quatro (4) placas, passados 28 dias, foi realizado o ensaio de absorção de água conforme normativa ABNT NBR 10836 (2013). Os valores de absorção de água permitiram definir qual

foi o valor ótimo de umidade de compactação para produção de mais quatro (4) placas de solo-cimento. Nestas placas de solo-cimento foi avaliada a resistência à flexo-tração conforme ABNT NBR 12142 (2010) e a absorção de água conforme ABNT NBR 10836 (2013).

Fase 3 - Estudo de caso de região com potencialidade de aplicação do SCAD

Baseado nas orientações da fase 1 e 2, se mostrou quais características deve ter uma região para que o uso do solo-cimento seja uma solução aplicável em grande escala. Uma vez mostradas as características principais que uma região deve ter para que a técnica do SCAD seja viável se realizou o estudo de caso da mesorregião Vale de Jequitinhonha - MG.

Mediante uso da técnica de georreferenciamento, foram criados vários mapas onde se mostram os tipos de solos mais comuns nesta região. Para a elaboração dos mapas utilizou-se da ferramenta eletrônica de geoprocessamento QGIS, em sua versão 3.16. Os dados geográficos de limite do território brasileiro tiveram origem na base de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística do ano de 2019, compreendendo limite de estados, municípios e mesorregião do estado de Minas Gerais. Para composição do mapa de solos da mesorregião Jequitinhonha - MG procedeu-se recorte do Mapa de Solos do Brasil (Embrapa, 2011) junto com a sua legenda (SANTOS, 2011), em escala de 1:5.000.000, conforme especificações do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2018) disponível no site GEOINFO. Para a elaboração dos layouts de impressão dos mapas adotou-se o EPSG 4674 com sistema de projeção geográfica e Datum SIRGAS 2000. No entanto, para a definição de áreas ocupadas pelas superfícies de solos distintos adotou-se a projeção de Albers, conforme especificações do manual técnico nº 14 do IBGE (2019), considerando que o limite de área da mesorregião do Jequitinhonha ocupava mais de um fuso. Para cada tipo de classificação do solo foi realizada análise de sua adequação para obter material do tipo solo-cimento. Ao mesmo tempo foi avaliada na mesorregião Vale do Jequitinhonha-MG a disponibilidade do solo para produção deste material de construção. Este estudo de caso, deve servir para avaliar futuramente outras regiões no âmbito nacional e/ou internacional em relação à viabilidade da utilização do SCAD.

Resultados e Discussão

Fase 1 - Caracterização do conceito SCAD

Depois de revisadas todas as normativas nacionais com a temática de solo-cimento, foram selecionadas aquelas onde aparece alguma exigência em termos de desempenho (quadro 1). Estas exigências se referem a quatro aspectos: resistência à compressão, absorção de água, variação de volume e cálculo de perda de massa; em blocos e/ou tijolos, paredes monolíticas e aplicações para pavimentação. Os valores habituais exigidos são: resistências mínimas à compressão de 2,1 MPa, limitações de 20% no caso de absorção de água, limitação de variação de volume a 1% e limitação de perda de massa de 7%.

Quadro 1 - Síntese dos requisitos de desempenho dos produtos de solo-cimento

Normativa considerada	Aplicação e/ou produto al que se refere a normativa	Exigência em termos de desempenho
ABNT NBR 10834:2012 Versão Corrigida: 2013 - Bloco de solo-cimento sem função estrutural — Requisitos.	Bloco	- Resistência à compressão média: 2 MPa - Resistência à compressão mínima: 1,7 MPa - Absorção de água média: < 20% - Absorção de água máxima: < 22%
ABNT NBR 11798:2012 Materiais para base de solo-cimento — Requisitos	Pavimentação	- Resistência mínima à compressão: 2,1 MPa
ABNT NBR 13553:2012	Parede monolítica	- Resistência média à compressão > 1,0

Materiais para emprego em parede monolítica de solo-cimento sem função estrutural — Requisitos		MPa - Absorção de água < 20% - Variação de Volume inferior a 1% - Perda de massa de no máximo 14, 10 e 7% em função do tipo de solo utilizado.
--	--	---

Os valores relacionados ao desempenho dos produtos do solo-cimento não abrangeram aspectos do processo de produção como traços e/ou umidades de compactação, dos quais foram destacados dois aspectos:

- A normativa ABNT NBR 12253/1992 é a única que sugere quais teores de cimento devem ser aplicados na mistura: neste caso os valores considerados são de 5% e 10% com respeito à massa total.
- Em nenhuma normativa se considera a possibilidade de utilização do solo-cimento com função estrutural, mas já existem alguns trabalhos científicos publicados (Pinto, 2016).

Na revisão bibliográfica referente a solo-cimento foram sintetizados os seguintes conceitos:

- Pinto (2016) descreve o termo de solo-cimento estrutural referido a blocos de solo-cimento com resistências superiores a 4 MPa baseado nos conceitos da normativa de bloco de concreto com função estrutural (ABNT NBR 6136, 2016). No trabalho de Pinto (2016), se obtém blocos de solo-cimento de 7,41 MPa de resistência à compressão com utilização de 15% de cimento.
- Ferreira et al. (2008), apesar de usar o termo solo-cimento de alta resistência, não caracteriza nem define este termo. Os blocos produzidos neste trabalho atingem resistências à compressão de 3,07 MPa com um valor de absorção de água de 11,42%.

Atualmente não existe uma definição consensual do que é um concreto de alto desempenho (CAD). Na ABNT NBR 8953 (2015) fica apenas definido concreto de alta resistência (resistências à compressão acima de 55 MPa). Neste trabalho será utilizada a definição de CAD sugerida por Isaia et al. (2011) :

“CAD é um material que apresenta comportamento durante a utilização da construção em patamar mais elevado que os concretos convencionais, atendendo satisfatoriamente às exigências requeridas pelo proprietário ou pelo usuário, em conformidade com os projetistas da estrutura de concreto. Entende-se por desempenho não apenas a resistência mecânica, mas também a trabalhabilidade, a estética, o acabamento, a integridade, e, principalmente, a durabilidade.”

Nas referências internacionais, os conceitos para definir um CAR e CAD são similares aos nacionais. Na Cement and Concrete Terminology (ASTM C125-11, 2000) se define concreto de alta resistência como aquele que tem uma resistência à compressão superior a 41 MPa e o CAD pode ser definido como:

“Um concreto que atenda uma combinação especial entre desempenho e requisitos de uniformidade que não pode ser atingida rotineiramente com o uso de componentes convencionais e práticas normais de mistura, lançamento e cura.”

Caracterização do solo-cimento de alto desempenho (SCAD)

O SCAD pode ser caracterizado com base na análise das normativas de solo-cimento atuais, pesquisa bibliográfica e definição do CAD. Como mostrado em vários estudos, é possível obter blocos de solo-cimento com resistências à compressão maiores de 4 MPa (Pinto, 2016, Souza et. al 2008). Caso esses blocos tivessem umas dimensões de 14 cm, poderiam ser considerados blocos com função estrutural seguindo o critério de dimensões e resistência da normativa ABNT NBR 6136 (2016). Também pode ser definido um solo-cimento de alta resistência (SCAR) caso esse tivesse uma resistência à compressão maior de 41 MPa, seguindo o critério da American Concrete Institute para definição de concretos de alta resistência. O conceito de alto desempenho vai além dos requisitos exigidos nos termos de resistência à compressão. Trata-se de atingir valores de requisitos de desempenho além dos habituais alcançados para o material de solo-cimento convencional. Os novos valores exigidos para considerar que o solo-cimento é

caracterizado como SCAD dependem do tipo de produto e seu uso. Como exemplo, em placas de solo-cimento os requisitos mais importantes a considerar são os valores de resistência à flexo-tração (Neville, 2015). Para produtos de solo-cimento com a função de evitar transmissão de umidade, o requisito mais importante será ter um valor de absorção de água baixo. Para uso em pavimentação industrial, deverá se verificar principalmente o requisito de durabilidade através do cálculo da perda de massa conforme ensaio da ABNT NBR 13554 (2012).

Pode-se obter um SCAD com valores baixos de absorção de água e perda de massa, mas com valores habituais resistência à compressão. De forma orientativa, e baseado nos parâmetros considerados habituais, são descritos os valores de desempenho para se caracterizar um SCAD. Neste caso foram adotados valores que no mínimo dupliquem às exigências requeridas nas normativas do solo-cimento considerado convencional:

- Absorção de água: Valores abaixo de 8% podem ser considerados baixos para este material, tendo em conta que nos valores normativos (mostrados no quadro 1) este valor está limitado a 20% (2,5 vezes a mais que o 8%).
- Valores de Resistência a flexo-tração. Para ter um parâmetro de referência deste valor, se optou por avaliar qual seria a resistência à flexo-tração habitual de um concreto de alta resistência. Seguindo a formulação da ABNT NBR 6118 (2014) um concreto de 41 MPa tem uma resistência teórica à flexo-tração de 2,5 MPa.
- Para o caso de durabilidade podem se definir valores máximos nos seguintes requisitos: perda de volume e perda de massa conforme ensaio ABNT NBR 13554 (2012). Valores de variação de volume de no máximo 0,25% e perda de massa de no máximo 2,8% podem ser considerados valores de referência para um SCAD.

Fase 2 - Parâmetros considerados para produção do SCAD em corpos de prova e placas de solo-cimento

Para atingir as características diferenciais no SCAD, devem se seguir algumas das recomendações aqui descritas. Dependendo do produto, não é imprescindível seguir todas as recomendações, mas apenas algumas das seguintes:

Pressão aplicada no processo de compactação:

A pressão aplicada de compactação deve ser de no mínimo 2,5 MPa. Por exemplo, no caso de produção de um bloco de solo-cimento com dimensões de 12,5 cm x 25 cm a força mínima que se deve aplicar para compactar o bloco deveria ser de 78.125 N. A recomendação é que esses valores fiquem até superiores a 5 MPa (Pariz et al., 2005). Quanto maior é a força de compactação, maior será o adensamento do produto de solo-cimento. Um maior adensamento conduz a obter uma maior resistência e menor absorção de água do produto.

Umidade de compactação

Para cada tipo de solo e para cada energia de compactação aplicada existe uma umidade ótima de compactação. Esta umidade é a que permite ter uma maior densidade seca do material em função do tipo de material compactado e da energia aplicada. Para cada tipo de produto deverá se definir previamente a energia de compactação aplicada e o tipo de mistura que será utilizada (tipo de solo e porcentagem de cimento). Uma vez definidos estes parâmetros se realizará uma análise laboratorial para obter a umidade de compactação ótima (de Sousa, 2016). Esta umidade de compactação usual está acima de 10%. A quantidade de água mínima para hidratação do cimento é um 23% em peso da quantidade de cimento (Neville, 2015). No caso de ter um 20% de cimento, uma umidade de 4,6% seria suficiente para hidratação do cimento, porém insuficiente para obter uma boa compactação na mistura do solo-cimento.

A normativa ABNT NBR 12023 (2012) apresenta qual é o ensaio para cálculo da umidade ótima de compactação pelo ensaio de proctor (de Sousa, 2016). Como a umidade ótima de compactação depende da energia de compactação, se recomenda para cada caso específico realizar uma análise prévia de qual é a umidade de compactação que garanta um melhor adensamento para a energia específica de compactação utilizada. Habitualmente, a energia de compactação utilizada para adensamento do produto de solo-cimento não é a mesma que a utilizada no ensaio do proctor. Isto faz com que a umidade ótima de compactação seja diferente daquela utilizada no ensaio proctor.

Porcentagem de cimento

A porcentagem de cimento utilizada normalmente é superior a 20% em massa (20% de cimento e 80% de solo em massa).

Porcentagem de argila do solo

A quantidade de argila utilizada na mistura de solo-cimento deve ser cerca de 30% da quantidade de cimento utilizada em massa. Este conceito é baseado no método do empacotamento (Lopes et al., 2020) onde o 30% da argila permite fechar os pequenos vazios deixados pelos grãos de cimento. Como exemplo: Caso seja feita uma mistura de 80% de solo e 20% de cimento, a porcentagem de argila do solo deve ser de até 7,5%. Dessa forma, as porcentagens do material em massa são: 20% cimento; 7,5 % argila e 72,5 % silte + areia.

Desforma

Devido à umidade da mistura do solo-cimento, muito provavelmente ela terá uma plasticidade alta. Esta plasticidade dificulta a realização de desforma imediatamente após o processo de compactação. Sendo assim, deve ser dimensionada uma forma externa capaz de absorver as pressões de compactação aplicadas à mistura de solo-cimento em estado fresco. Adicionalmente, deve-se dimensionar uma forma interna capaz de suportar as pressões provocadas pelo peso do produto realizado com o material de solo-cimento. O processo de produção realizado será o seguinte:

- 1) Encaixe da forma interna dentro da forma externa.
 - 2) Preenchimento da forma interna com a mistura de solo-cimento com a umidade ótima de compactação.
 - 3) Compactação do material.
 - 4) Desforma imediata do conjunto da forma interna e o produto de solo-cimento compactado ainda em estado fresco.
 - 5) Cura do produto de solo-cimento em estado fresco dentro da forma interna.
- Este processo tem uma duração suficiente para que o material de solo-cimento adquira a resistência necessária para poder suportar o seu próprio peso sem se

produzir deformações plásticas. O tempo aproximado que o produto de solo-cimento ficará dentro da forma interna é de 24 h.

Discussão dos parâmetros utilizados para produção dos corpos de prova e placas de solo-cimento

Nesta fase se apresentam os parâmetros de produção do solo-cimento para verificar a aplicabilidade de realização de produtos de solo-cimento com características de desempenho além das habituais. O primeiro produto é um corpo de prova de solo-cimento e o segundo uma placa de solo-cimento. No quadro 2 se mostram quais parâmetros com respeito às recomendações realizadas foram considerados na confecção desses produtos. No caso da produção de corpos de prova, foram atendidas três das cinco orientações: a pressão aplicada, % de cimento e % de argila. No caso das placas de solo-cimento foram atendidas três das cinco recomendações. As recomendações não atendidas foram: quantidade total de argila, acima do valor recomendado e a pressão de compactação, abaixo do valor recomendado. Vale destacar que a pressão aplicada na compactação da massa para produção do corpo de prova de solo-cimento é bem mais alta que a recomendação mínima exigida. Este valor foi essencial para obter um alto desempenho nos corpos de prova realizados.

Quadro 2 - Parâmetros utilizados para produção de elementos de solo cimento

Recomendação realizada	Produção dos corpos de prova	Produção das placas de solo-cimento
Pressão de compactação (>2,5 MPa)	6,5 MPa	1,22 MPa
Umidade de compactação	Sem estudo prévio do cálculo de umidade ótima. Umidade utilizada de 9%	Com estudo prévio de cálculo de umidade ótima. Umidade utilizada de 14,5%
% de cimento (> 20%)	20%	30%

% de argila utilizada (30% da quantidade de cimento)	5,36% representando 26,8% da quantidade de cimento em massa	14,7% representando 49% da quantidade de cimento
Processo de desforma	Desforma imediata	Desforma mediante utilização de forma interna encaixada numa forma externa.

Resultados obtidos nos corpos de prova de solo-cimento

No quadro 3 se mostram os valores obtidos para os oito (8) corpos de prova. A resistência média à compressão é de 48,76 MPa e a absorção de água é de 6,92%. Estes valores cumprem com requisitos recomendados para caracterização de um SCAD. Comparando a resistência à compressão desse tipo de solo-cimento com concretos de alto desempenho, com mesmos valores de aglomerante (20%), a resistência obtida é bem similar, 47,68 MPa (Silva Marques e Aparecido, 2022).

Quadro 3 - Resistência à compressão e absorção de água dos corpos de prova de solo-cimento

Nº Corpo de Prova	Resistência à compressão (MPa)	Absorção de água (%)
1	45,05	6,82
2	45,71	6,14
3	47,29	6,95
4	51,1	7,43
5	46,19	7,29
6	50,24	6,89

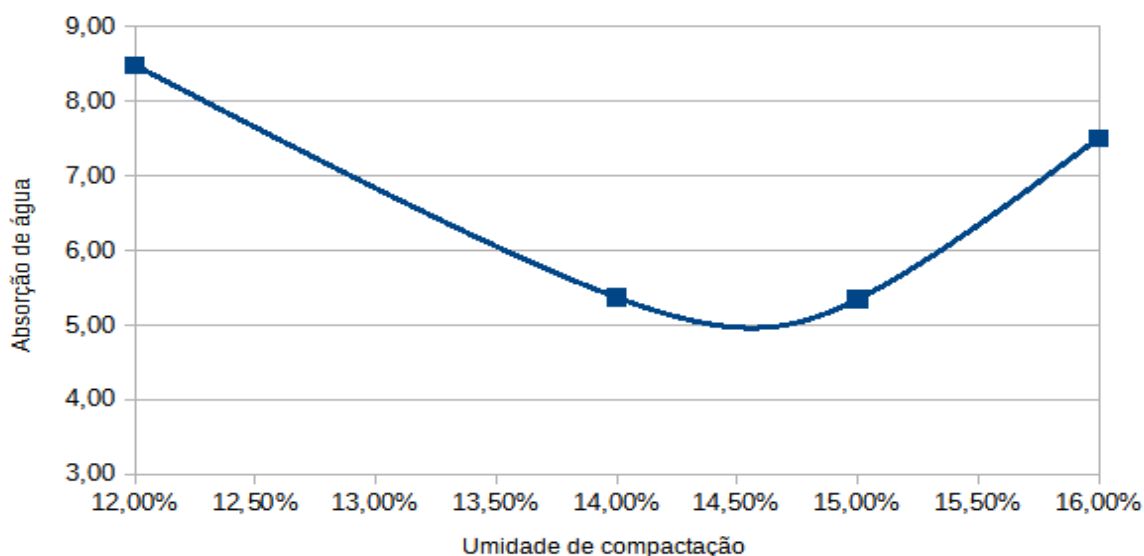
7	50,9	7,16
8	50,45	6,62

Fonte: Silva Marques e Aparecido (2022)

Resultados obtidos nas placas de solo-cimento

Na figura 1 se mostram os diferentes valores de absorção de água conforme ABNT NBR 10836 (2013) de quatro placas de solo-cimento quando a umidade de compactação utilizada foi de 12%, 14%, 15% e 16% respectivamente. Esta análise permite saber que para esse tipo de produto de solo-cimento, para o tipo de solo utilizado, com 30% de cimento e aplicação de pressão de compactação de 1,22 MPa, a umidade ótima de compactação é próxima de 14,5%. Esta umidade deverá permitir ter valores de absorção de água próximos a 5%.

Figura 1 - Absorção de água das placas de solo cimento em função da umidade de compactação



No quadro 4 se mostram os valores obtidos para a resistência à flexo-tração e absorção de água das quatro placas de solo-cimento produzidas com 14,5% de umidade de compactação. Foi obtido um valor de absorção de água médio de 5,02% com desvio padrão de 0,41%. Na avaliação da resistência à flexo-tração se obteve um valor médio de 4,18 MPa e desvio padrão de 0,29 MP. Pode-se pensar que

estes bons resultados são devidos ao grande consumo de cimento (30%). Porém, no caso de concretos de alto desempenho, a quantidade de cimento que tem que ser utilizada para obter estes valores é similar: valores de 4,4 Mpa no estudo de Carmo e Portella (2008) e de 4,73 MPa no estudo de Silva et. al (2018) de resistência à flexo-tração, no caso de utilização de 25% de cimento.

Quadro 4 - Resistência à flexo-tração e absorção de água das placas de solo-cimento

	Absorção de água (%)	Resistência a flexo-tração (MPa) conforme NBR ...
Placa 1	4,85	3,85
Placa 2	4,76	4,02
Placa 3	5,20	4,50
Placa 4	5,67	4,34

Conforme caracterização de solo-cimento de alto desempenho, esse tipo de placa cumpre com as exigências no requisito de resistência à flexo tração e absorção de água. Os valores obtidos estão dentro dos parâmetros considerados como referência para um SCAD, pois a absorção de água média foi de 5,02% (abaixo do limite máximo recomendado, de 8%) e a resistência média à flexo-tração foi de 4,18 MPa (superior à recomendada, de 2,5 MPa). Então, conforme caracterização do SCAD, o solo-cimento realizado para produção das placas se encaixa nesta definição.

Fase 3 - Estudo de caso de região com potencialidade de aplicação do SCAD

A textura ideal do solo é aquela que permite que o produto de solo-cimento tenha uma menor porosidade. Para isso, mediante o método de empacotamento

(Oliveira et al. 2018), se avalia qual é a porcentagem de partículas de um determinado tamanho de grão que devem compor a mistura de solo-cimento. A formulação utilizada para conhecer a porcentagem de cada tamanho de partícula é a mostrada na equação 1:

$$CPFT(\%) = \left(\frac{D_{\frac{q}{q+1}} - D_{\frac{q}{q+1}}}{D_{\frac{q}{q+1}} - D_{\frac{q}{q+1}}} \right) \times 100 \quad (1)$$

onde CPFT é a porcentagem acumulada de partículas menores que o diâmetro D, D_s é o diâmetro da menor partícula, D_L o diâmetro da maior partícula, e q é o coeficiente ou módulo de distribuição onde será considerado um valor de 0,325 para obter valores mínimos de porosidade.

Para obter as porcentagens ideais de materiais contidos na mistura de solo-cimento são realizados dois cálculos. No primeiro considera-se que o tamanho máximo de grão contido no solo refere-se a uma areia grossa (4,8 mm). No segundo cálculo considera-se que o tamanho máximo contido no solo é de 0,3 mm. Os valores de porcentagens de materiais são os mostrados no quadro 5.

Quadro 5 - % de tamanho de grão conforme método de empacotamento (q = 0,325).

Tamanho de grão	Diâmetro máximo grão do solo de 4,8 mm	Diâmetro máximo grão do solo de 0,3 mm
Maior que 0,06 mm (Areia)	76%	40%
De 0,002 a 0,06 mm (Silte)	16%	40%
Menor que 0,002 mm (Argila)	4%	20%

O tamanho de grão do cimento está compreendido entre 0,001mm a 0,05 (Metha e Monteiro, 2008) e para produzir um SCAD é utilizado 20% de cimento (quadro 2). Então, em termos de tamanho de grão, pode-se considerar que o cimento aporta 4% de argila e 16% de silte da mistura do produto de solo-cimento. Sendo assim, o solo ideal que deve-se utilizar para produzir um SCAD tem 95% de areia e 5% de argila no caso em que o diâmetro máximo seja 4,8 mm ou 50% de areia, 30% de silte e 20% de argila no caso em que o diâmetro máximo do solo seja

de 0,3 mm. Estes valores são representados nos pontos A e C respectivamente da figura 2 do guia para agrupamento de classes de textura (Embrapa, 2018). Nesta mesma figura é mostrada a localização dos tipos de solo ideais para produzir um SCAD (área compreendida entre os pontos A, B, C e D). Os pontos localizados fora dos solos ideais, porém dentro da área compreendida entre os pontos E, F, G, H, são solos com texturas não ideais, porém, que poderiam ser utilizados no caso de adicionar areia ou argila ao solo disponível. Por exemplo, um solo com textura localizada no ponto F ou G, adicionando ao solo $\frac{1}{4}$ parte de areia, este se converte em um solo tipo B ou C (ideal para produzir um SCAD). Baseado neste estudo, pode-se observar que todos os solos arenosos e a maior parte de solos com textura média são aptos para produzir um SCAD. Este estudo confirma que solos arenosos permitem obter maiores resistências aos produtos de solo-cimento (Grande, 2003).

Para o estudo de caso realizado neste trabalho, foram considerados dois aspectos principais: disponibilidade do solo e textura dos mesmos (figura 2). A figura 3 e 4 apresentam o mapa de solos da mesorregião Vale do Jequitinhonha - MG. Em porcentagem temos os seguintes valores para a superfície de cobertura da área: 26,72% é composta por Latossolos; 57,85% por Argissolos, 2,39% por Cambissolos e 13,05% por Neossolos.

Figura 2 – Textura ideal do solo para produção de solo-cimento de alto desempenho

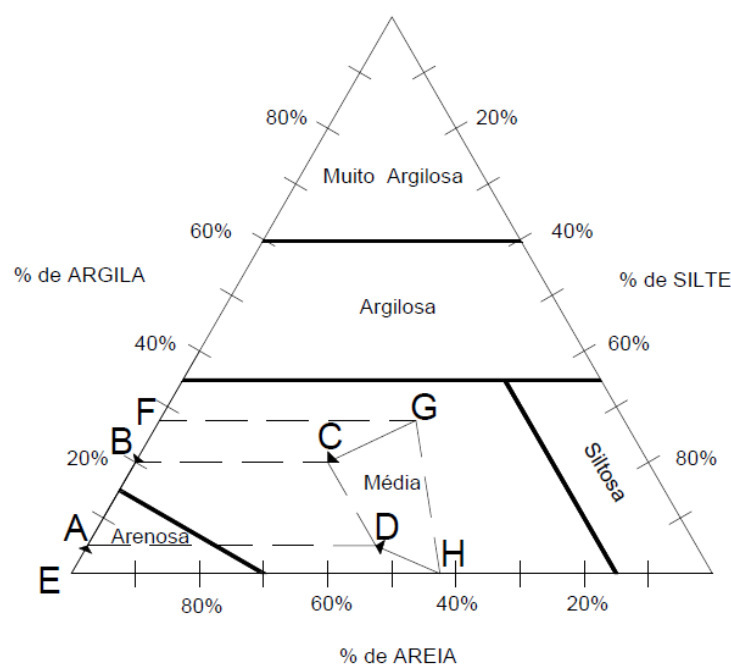


Figura 3 – Localização da Mesorregião Vale do Jequitinhonha - MG

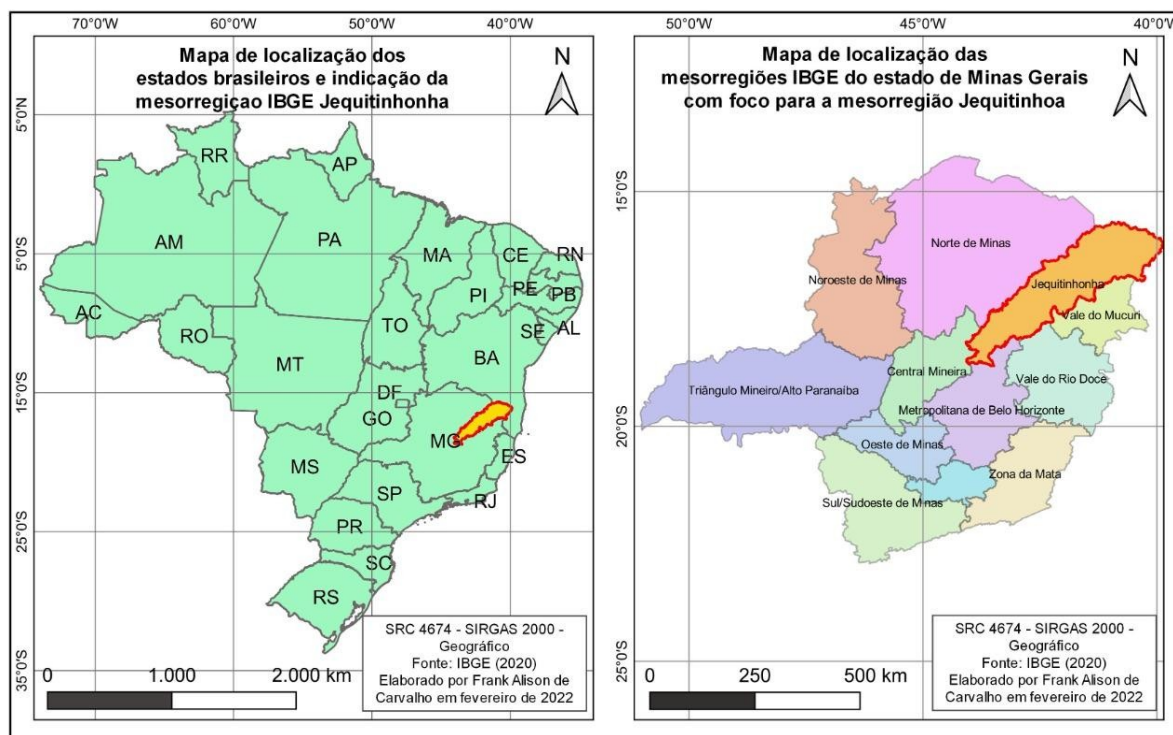
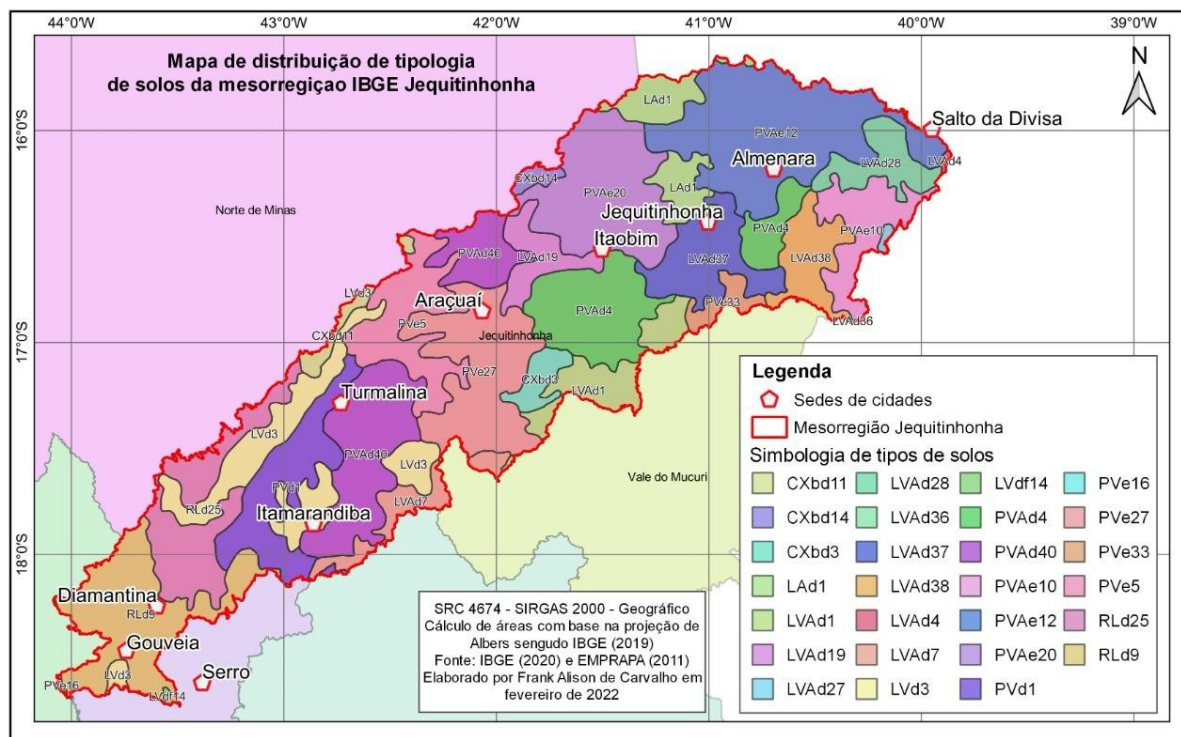


Figura 4 – Tipos de solo da Mesorregião Vale do Jequitinhonha - MG



De forma geral é possível fazer uma pré-análise de quais fatores são favoráveis para uso do solo da mesorregião Vale do Jequitinhonha - MG para produção do SCAD. Algumas das características dos tipos de solo encontrados com mais frequência nesta mesorregião são as seguintes:

- Argissolos - A textura varia de arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte Bt (Embrapa. 2018). Nesse caso, no horizonte A pode ser encontrado um tipo de solo apto para produção do SCAD. Como exemplo específico, o solo utilizado para produção de placas de solo-cimento deste trabalho, é localizado no Campus JK da UFVJM com textura média, sendo um solo considerado ideal para produção do SCAD.
- Latossolos - São normalmente muito profundos, sendo a espessura do *solum* raramente inferior a 2 m. Fator favorável em termos de disponibilidade de quantidade de solo. Estes solos, variam de fortemente a bem drenados. Os Latossolos não podem ter textura arenosa, porém podem ter sim textura média (> 12% de argila). No caso de ter textura média, poderia se considerar um solo apto para produção de um SCAD.
- Muitos latossolos das chapadas do Alto Jequitinhonha tem mais de 80% de argila, mas a estrutura granular, altamente estável, torna o comportamento deles assemelhado ao de solos arenosos. Fator que deveria ser estudado em mais profundidade para avaliar se estes tipos de solos que inicialmente não parecem ideais para produção de SCAD teriam um bom desempenho.
- Existem outros atributos do solo que podem impactar a produção de solo-cimento como a soma de bases (Ca, + Mg + K + Na), a capacidade de troca de cátions e o teor de carbono. O cimento, considerado como o material aglomerante, tem em sua composição grande quantidade de CaO (mais de 60%) e até 4% de MgO (Neville, 2015). Algumas das bases contidas no solo podem ter um efeito positivo no aumento da resistência.

Conclusões

Baseado nos textos normativos nacionais de solo-cimento, trabalhos científicos sobre solo-cimento de altas resistências e caracterização do CAD, foi possível verificar quais requisitos de desempenho devem compreender um solo-cimento para ser considerado um SCAD. Trata-se de obter um solo com características específicas em alguns dos seguintes requisitos (dependendo da função e necessidade do mesmo): resistência à compressão, resistência à flexo-tração, limitação na absorção de água e limitação na perda de volume e de massa no ensaio de durabilidade.

Foi verificado, mediante estudo de caso, como a alteração de certos parâmetros de produção do solo-cimento, servem para poder produzir o SCAD. No caso de produção de corpos de prova de solo-cimento, foram produzidos com uma alta pressão de compactação e 20% de cimento. Isto permitiu obter um solo-cimento com resistência média à compressão aos 28 dias de 48,76 MPa e absorção de água de 6,92%. No caso de produção de placas de solo-cimento, estas foram produzidas com uma umidade de compactação ótima de acordo com a pressão aplicada e material utilizado (14,5% de umidade de compactação). Para estas placas e com uso de 30% de cimento se atingiram resistências à flexo-tração média de 4,18 MPa e absorção de água média de 5,02%.

As duas principais características de qualquer região para utilização da técnica do solo-cimento para produzir SCAD é a disponibilidade de solo e que este seja tipicamente arenoso e/ou de textura média com porcentagem de silte menor a 50%. Foi verificado que a mesorregião Vale do Jequitinhonha - MG pode cumprir com estas duas características em muitas de suas áreas. Na sua classificação de solos, os que mais aparecem são o argissolo e latossolo. No caso dos latossolos a disponibilidade do solo acostuma a ser alta, pois são solos que habitualmente têm profundidades altas (> 2 m). A textura dos mesmos não é arenosa, porém se podem encontrar solos com textura média. Para o caso dos argissolos, no horizonte A se podem encontrar solos com textura de arenosa até argilosa.

Recomenda-se aprofundar em linhas de pesquisa com a temática de SCAD. Um dos itens mais destacados é a avaliação de como afeta a variação de cada um dos parâmetros da produção do solo-cimento para que este material atinja os

requisitos para poder ser considerado de alto desempenho. Também, se ressalta a importância de encontrar novas aplicações para novos produtos confeccionados com o solo-cimento. Este aprimoramento na técnica do solo-cimento ajudará a ter uma valorização de uma técnica construtiva de baixo custo e de menor impacto ambiental comparado a outras soluções construtivas como o concreto e/ou materiais cerâmicos.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Saúde, Sociedade e Ambiente; a Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação (PRPPG) da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Referências

ABNT NBR 6118:2014 Versão Corrigida:2014 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento.

ABNT NBR 6136:2016 Versão Corrigida:2016 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos.

ABNT NBR 8953:2015 - Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência.

ABNT NBR 10834:2012 Versão Corrigida: 2013 - Bloco de solo-cimento sem função estrutural — Requisitos.

ABNT NBR 10836:2013 - Bloco de solo-cimento sem função estrutural — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio.

ABNT NBR 11798:2012 - Materiais para base de solo-cimento — Requisitos.

ABNT NBR 12023 (2012) Solo-cimento — Ensaio de compactação

ABNT NBR 12142:2010 - Concreto — Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos.

ABNT NBR 12253/1992 - Solo-cimento — Dosagem para emprego como camada de pavimento — Procedimento.

ABNT NBR 13553:2012 - Materiais para emprego em parede monolítica de solo-cimento sem função estrutural — Requisitos.

ABNT NBR 13554:2012 - Solo-cimento — Ensaio de durabilidade por molhagem e secagem — Método de ensaio.

ASTM - American Society for Testing and Materials. Cement and Concrete Terminology - ACI 116R-00 - Reported by ACI Committee 116 (2014).

DO CARMO, J. B. M.; PORTELLA, K. F. Estudo comparativo do desempenho mecânico da sílica ativa e do metacaulim como adições químicas minerais em estruturas de concreto. *Cerâmica*, v. 54, n. 331, p. 309-318, 2008.

Castro, M. A. M., Costa, F. G. D., Borba, S. C., Fagury, E., & Rabelo, A. A. (2016). Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de blocos de solo-cimento formulados com coprodutos siderúrgicos. *Matéria* (Rio de Janeiro), 21, 666-676.

de Carvalho, F. A., Nobre, J. N., Cambraia, R. P., Silva, A. C., Fabris, J. D., dos Reis, A. B., & Prat, B. V. (2022). Quartz Mining Waste for Concrete Production: Environment and Public Health. *Sustainability*, 14(1), 389.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de EMBRAPA. Mapa de Solos do Brasil (2011).

EMBRAPA - Empresa Brasileira de EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2018.

FERRARI, Henrique Duarte; Normando Perazzo Barbosa; RIBEIRO, Carmen. El potencial de transformación y la promoción de la construcción con tierra para poblaciones vulnerables. *Revista nodo*, v. 14, n. 27, p. 73-85, 2019.

Ferreira, Régis de C., Júlio C. da C. Gobo, and Ananda HN Cunha. "Incorporação de casca de arroz e de braquiária e seus efeitos nas propriedades físicas e mecânicas de tijolos de solo-cimento" *Engenharia Agrícola* 28.1 (2008).

Grande, Fernando Mazzeo. *Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa*. Diss. Universidade de São Paulo, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). MANUAIS TÉCNICOS EM GEOCIÊNCIAS. ACESSO E USO DE DADOS GEOESPACIAIS. Rio de Janeiro 2019. ISBN 978-85-240-4508-0.

Isaia, Geraldo Cechella, Paulo Helene, and Bernardo F. Tutikian. "Concreto de alto e ultra-alto desempenho." *Concreto: Ciência e Tecnologia*. Cap 36 (2011).

LOPES, Herbert Medeiros Torres; PEÇANHA, Ana Carolina Corsi; CASTRO, Alessandra Lorenzetti de. Considerações sobre a eficiência de misturas de concreto de cimento Portland com base no conceito de empacotamento de partículas. *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 25, 2020.

MEHTA, Povindar Kumar; MONTEIRO, Paulo Jose Melaragno. *Concreto: microestrutura, propriedades e materiais*. Ibracon, 2008.

MINKE, Gernot. *Manual de construção com terra: uma arquitetura sustentável*. São Paulo: B4 Editores, 225p, 2015.

Negreiros, R. L., Nunes, K. G., Bispo, C., & de Moraes, A. (2018). Comparativo sustentável e econômico entre a utilização do tijolo solo-cimento e o tijolo cerâmico de vedação em habitação de interesse social na cidade de teófilo otoni-mg. Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro–Unipac ISSN, 2178, 6925.

NEVILLE, Adam M. Propriedades do concreto-5ª Edição. Bookman Editora, 2015.

Oliveira, Caroline Oliveira, et al. "Impacto do conceito de empacotamento de partículas na dosagem de concretos de alto desempenho." Matéria (rio de Janeiro) 23 (2018).

PACHECO-TORGAL, F.; EIRES, R.; JALALI, Said. Construção em terra. Universidade do Minho. TecMinho, 2009.

PARIZ, SILVAN OLIOSA; PIRES, WELDER ALONSO. PRENSA HIDRÁULICA PARA FABRICAÇÃO DE TIJOLOS SOLO-CIMENTO. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2005.

Pinto, Eduardo da Silva. "Solo-cimento compactado: proposta de métodos de ensaio para dosagem e caracterização física e mecânica." (2016).

Ribeiro, Carmen Couto; Pinto, Joana Darc da Silva; Starling, Tadeu. Materiais de construção civil - Editora UFMG, Belo Horizonte-MG. 2ª ed. 2002. 102 p.

Sanbonsuge, K., Vasconcelos, K., Bernucci, L., & de Moura, E. (2017). Efeito da umidade inicial e do tempo de cura nas propriedades mecânicas de misturas solo-cimento. Transportes, 25(4), 68-82.

dos SANTOS, H. G. et al. O novo mapa de solos do Brasil: legenda atualizada. Embrapa Solos-Documentos (INFOTECA-E), 2011.

Silva, A. C., Barcarji, E., Virgens, J. P. D., & Tassi, A. D. A. (2018). Microconcreto de alto desempenho: propriedades e comportamento de pilar à flexão normal composta. Matéria (Rio de Janeiro), 23.

da Silva Marques Campos, Amanda e Aparecido Fonseca, Reginaldo. COMPARATIVO DAS DOSAGENS DE SOLO-CIMENTO VERSUS CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação no Bacharelado de Ciência e Tecnologia (BCT). Universidade Federal dos Vales de Jequitinhonha e Mucuri, 2022.

de Sousa Pinto, Carlos. Curso básico de Mecânica dos Solos. Oficina de Textos, 2016.

Sousa, Jean Carlo Laughton de, Rosana Passos Cambraia, and Bernat Vinolas Prat. "Método de evaluación de la calidad de vida de los quilombolos en Brasil." Economía, sociedad y territorio 17.55 (2017): 647-682.

SOUZA, Márcia IB; SEGANTINI, Antonio AS; PEREIRA, Joelma A. Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 12, n. 2, p. 205-212, 2008.

Thoma, A. C., Fernandes, E. P., Rodrigues, E. F., Santos, L. L. D., Silva, A. C., & Prat, B. V. (2020). Blocos de solo-cimento para contenção de erosão hídrica. Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, 7(16), 1057-1070.

Publicado na Revista Vozes dos Vales - www.ufvjm.edu.br/vozes em: 05/2022

Revista Científica Vozes dos Vales - UFVJM - Minas Gerais - Brasil

www.ufvjm.edu.br/vozes

QUALIS/CAPES - LATINDEX: 22524

ISSN: 2238-6424