

Avaliação do uso de serragem na substituição parcial do solo no solo cimento auto adensável

Assessment of saw use on the partial replacement of the soil in the auto adensable cement

Evaluación del uso de sierras en la sustitución parcial del suelo en el solo cimiento auto adensable

Gislaine Bianchi

Mestranda, UNESP, Brasil.
gbianchi.arq@gmail.com

Wesley Cândido da Silva

Engenheiro Civil, Araçatuba, Brasil.
Wesley_wcs@hotmail.com

Erik Neves Kanda

Graduando de Engenharia Civil, FIFB, Brasil
e.n.kanda@gmail.com

Marco Antônio de Morais Alcântara

Professor Doutor Eng. Civil, UNESP, Brasil
alcantar@dec.feis.unesp.br

Thiago Francisco Silva Trentin

Professor MSc. Eng. Civil, UNIP, Brasil
tfstrents@hotmail.com

RESUMO

Devido ao aumento da produção e exigências do mercado a indústria moveleira passou a produzir mais resíduos, esses rejeitos geralmente são descartados de maneira criminosa degradando o meio ambiente. Esta pesquisa teve como objetivo analisar o comportamento da mistura de serragem ao solo cimento alto adensável em seu estado fresco, procurando assim correlacionar entre as misturas o comportamento mecânico. Para análise dos resultados foram feitos os seguintes ensaios: resistência à compressão axial, compressão diametral e a capacidade de absorção de água, conforme, as normas NBR 12025 (ABNT, 2012a), NBR 7222 (ABNT, 2011) e NBR 13555 (ABNT, 2012b) respectivamente, aos 28 dias de idade. A utilização do pó de serra no solo demonstrou ser um material coeso e homogêneo nas duas situações de substituição, sem segregação e exsudação. Nos ensaios de estado endurecido houve diminuição da resistência à compressão axial, porém, não houve alteração na resistência à tração, sugerindo que as características físicas e químicas do pó de serra equilibraram a mistura tornando-a mais dúctil no estado endurecido menos quebradiça e absorvedora.

PALAVRAS-CHAVE: Solo. Solo-cimento. Pó de serra. Sustentabilidade.

ABSTRACT

Increased production and market requirements, the furniture industry started to produce more residue, these residues are usually disposed of in a criminal manner, degrading the environment. This research had as objective to analyze the behavior of the sawdust mixture to the high soil cement in its fresh state, thus seeking to correlate the mechanical behavior between the mixtures. For the analysis of the results, the following tests were performed: axial compression and diametral compression strength and water absorption capacity, according to the standards NBR 12025 (ABNT, 2012a), NBR 7222 (ABNT, 2011) and NBR 13555 (ABNT, 2012b), respectively, at 28 days of age. The use of saw dust in the soil cement is feasible, since in the rheological study the material presented cohesive and homogeneous in both situations of substitutions, without segregation or exudation. In the hardened state tests, there was loss of axial compressive strength, but there was no change in tensile strength, suggesting that the physical and chemical characteristics of the saw powder balanced the mixture making it more ductile in the hardened, less brittle state and less absorbing.

KEY WORDS: Soil. Soil-Cement. Saw Dust. Sustainability.

RESUMEN

Debido al aumento de la producción y las exigencias del mercado, la industria del mueble pasó a producir más residuos, estos desechos generalmente se descartan de manera criminal degradando el medio ambiente. Esta investigación tuvo como objetivo analizar el comportamiento de la mezcla de aserrín al suelo cemento alto adensable en su estado fresco, buscando así correlacionar entre las mezclas el comportamiento mecánico. Para el análisis de los resultados se realizaron los siguientes ensayos: resistencia a la compresión simple ya la compresión diametral, y capacidad de sustitución de agua, conforme, las normas NBR 12025 (ABNT, 2012a), NBR 7222 (ABNT, 2011) y NBR 13555 (ABNT, 2012b) respectivamente, a los 28 días de edad. La utilización del polvo de sierra en el suelo cemento es viable, ya que en los ensayos de estudio reológico el material se ha presentado cohesionado y homogêneo en las dos situaciones de adiciones, sin segregación ni exudación. En los ensayos de estado endurecido, hubo pérdida de resistencia a la compresión axial, pero no hubo alteración en la resistencia a la tracción, sugiriendo que las características físicas y químicas del polvo de sierra equilibraron la mezcla haciéndola más dúctil en el estado endurecido, menos quebradiza y menos absorbente.

PALABRAS CLAVE: Solo. Suelo Cemento. Polvo De Sierra. Sostenibilidad.

INTRODUÇÃO

O *Medium Density Fiberboard* (MDF) ou placa de fibra de média densidade é composto por fibras de eucalipto e pinus, material muito utilizado na indústria de móveis por apresentar melhor acabamento e fácil manuseio, o que promove agilidade na produção, substituindo a madeira. Devido ao aumento da produção e as exigências do mercado, a indústria moveleira passou a produzir mais resíduos e por não haver locais apropriados para o descarte, esses rejeitos geralmente são descartados de maneira criminosa degradando o meio ambiente. “Atualmente várias empresas investem em equipamentos e formação de quadros técnicos para eliminar ou minimizar a cultura do desperdício e consolidar a cultura da redução de perdas e reciclagem dos resíduos” (DANTAS FILHO, 2004, p.1), contudo, a quantidade de resíduos gerados ainda é grande, conforme matéria publicada por Filho (2004) que estima que a produção anual de serragem esteja em torno de 620 mil toneladas, material que pode ser reutilizado na construção civil. Uma das maneiras de reutilização é a substituição de parte do solo por serragem no solo-cimento.

A utilização do solo como matéria prima data desde 9.000 a 10.000 anos atrás, seus primeiros exemplares foram encontrados no Turquemenistão, estima-se que foram construções instituídas em conjunto com as primeiras sociedades agrícolas, sendo o Adobe e a Taipa, as estruturas mais comuns (TORGAL; JALALI, 2010).

A durabilidade das construções em Terra Crua pode ser demonstrada pelas Muralhas da China (Figura 1), construídas há 4 mil anos somente com terra batida, a mesma, teve posteriormente o assentamento de pedras em algumas partes do seu entorno aumentando ainda mais a vida útil da edificação (SILVA, 1991).

Figura 1: Muralhas da China, China



Fonte: Torgal; Jalali, 2010.

Figura 2: Edifícios em adobe, Shibam, Iémen



Fonte: Macleod, 2015.

Atualmente, 50% da população mundial vive em construções de terra, a cidade de Shibam no Iémen (Figura 2) é um dos exemplos de cidade altamente adensada, que foi construída com plano diretor o qual tinha como preceito a verticalização, as construções são de quatro a oito pavimentos, construídos com terra crua, tiveram seu início datado dos anos 300 d.C, a técnica construtiva utilizada para alcançar um número maior de pavimentos é o alargamento da base

e estreitamento do topo, como observa-se na Figura 2 (MACLEOD, 2015; TORGAL; JALALI, 2010).

Segundo o Instituto CRATerre, as construções em Terra Crua são encontradas mais frequentemente em países com clima ameno, sem muitas chuvas, porém a relação da construção em Terra Crua e do clima, ainda não é concreta. As técnicas construtivas deste material estão subdivididas em: Monolíticas: Taipa, terra armada e terra moldada; por unidades: Adobe, Bloco de Terra compacta (BTC); e por enchimento: Tabique ou taipa de mão, pau a Pique (barro armado); além dos diferentes métodos construtivos ainda há a classificação segundo sua característica em estado fresco:

Compactado: é o solo cimento mais convencional que tem, e necessita de compactação para estabilizar e atingir as características desejadas. Vibrado: pode ser chamado de solo cimento plástico, é semelhante ao concreto convencional, na produção, e seu adensamento ocorre a partir de vibrações. Auto Adensável: o solo cimento auto adensável requer menos energia para a sua aplicação, pois o seu adensamento é realizado por ação do seu próprio peso (SEGANTINI; ALCÂNTARA, 2017, p.885; LLAJARUNA, 2016, p.15).

Atualmente, o desenvolvimento da estabilização dos solos tem passado por sucessivas tentativas de facilitar sua utilização nos canteiros de obra, Alcântara (1995) apresenta um estudo sobre solo estabilizado com cal e Berté (2012) baseando-se no concreto auto adensável e suas facilidades de manipulação desenvolveu um estudo experimental de solo cimento auto adensável (SCAA). Este material pode ser utilizado em canteiro de obra de maneira prática, dispensando parte do uso da força motora, além de ter a possibilidade de ser industrializado e ter suas características medidas e controladas quantitativamente e qualitativamente, o que o torna um material alternativo consolidado.

As vantagens ambientais de utilização do SCAA são inúmeras, mesmo não sendo renovável é mais ecológico por: não poluir pelo transporte (está próxima a obra); o descarte pode ser reutilizado na própria obra, mesmo os estabilizados (aterros); tem baixa energia embutida. 14 Ton. de CO₂ são economizados trocando a alvenaria comum por blocos de terra. Como exemplo, 100.000 Ton. de CO₂ deixariam de ser produzidos se a Inglaterra substituísse 5% dos blocos de concreto por blocos de terra (TORGAL; JALALI, 2010).

Portanto, nesta pesquisa serão avaliados os traços de SCAA com adição de pó de serra proveniente da indústria moveleira, procurando explorar parâmetros de dosagem onde a mistura encontre seu estado ótimo, ou seja, sem segregação ou exsudação, que seja homogênea e auto adensável. Para tanto, haverá a avaliação dos mesmos em 3 níveis: caracterização dos materiais, experimentos em estado fresco e estado endurecido a fim de corroborar com o objetivo geral.

OBJETIVO:

O objetivo desta pesquisa é analisar o comportamento da mistura de serragem ao solo cimento alto adensável em seu estado fresco e endurecido, procurando assim correlacionar entre as misturas o comportamento reológico e mecânico, a fim de alcançar melhores resultados de resistência. Além de obter uma solução ecológica para a utilização da serragem da indústria moveleira na construção civil.

MATERIAIS E MÉTODOS:

A metodologia utilizada para a elaboração desta pesquisa foi baseada em revisão bibliográfica e ensaios experimentais no laboratório de Materiais de Construção Civil na Universidade Estadual de Ilha Solteira (UNESP), onde substituiu-se parte do solo do traço de solo cimento alto adensável referencial por serragem proveniente da indústria moveleira. As substituições foram feitas em teores de 5% e 10% de serragem pela quantidade de solo. A definição da composição implicou uma relação água/cimento de 2 para cada amostra, demonstradas na tabela 1.

Tabela 1: Quantidade de materiais utilizados para cada amostra

Teor de substituição por Serragem	Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Água 1 (Kg)	Água 2 ¹ (Kg)	Solo (Kg)	Serragem (ml)	Aditivo (kg)
SERM 0%	1,50	1,46	2,00	1,50	7,5	0,0	0,045
SERM 5%	1,50	1,46	2,00	1,50	7,12	312,5	0,045
SERM 10%	1,50	1,46	2,00	1,50	6,75	625	0,045

Fonte: Próprio autor.

Antes de confeccionar a massa de solo cimento auto adensável com serragem, houve a caracterização físico/química dos materiais utilizados, feita através de revisão bibliográfica segundo Berté, (2012) e Alcântara (1995) e a areia segundo Pereira (2014). No laboratório foram caracterizados os demais materiais quanto à granulometria (ABNT, 1988); massa específica aparente (ABNT, 2016b); e avaliação de perda de água livre ou adsorvida, demonstrando a afinidade da mesma com os diferentes materiais.

Para a confecção da massa, foi quantificado referencialmente para corpos de prova de 5cm de diâmetro e 10cm de altura confeccionados em PVC. Os materiais secos foram pesados em balança digital e a água foi medida em recipiente graduado. A misturada foi realizada na betoneira, onde foi colocada a areia, o cimento, o solo, o pó de serra, a água que se dividia em água 1 (2,0L) sem adições e a água 2 (1,5L) misturada com aditivo ViscoCret 20HE da fabricante SIKA. Os materiais secos foram colocados na betoneira e rapidamente misturados (1 minuto); descansou por 30 segundos; adicionando-se a água 1 (2litros) constantemente enquanto a betoneira girava durante 1 minuto em velocidade baixa; parou a betoneira afim de limpar as extremidades, misturou a água 2 (1,5 litros + aditivo) e bateu por mais 1 minuto em velocidade média, a fim de conseguir uma boa homogeneidade (Figuras 3 e 4).

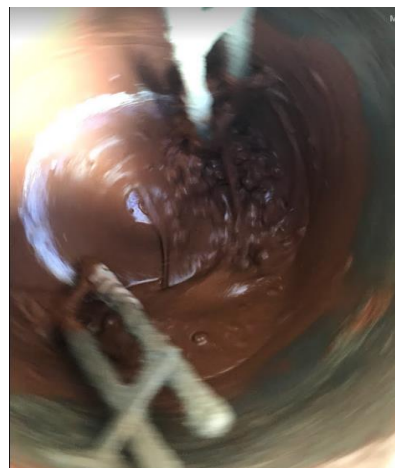
¹ Água 2: Dissolveu-se o aditivo na água antes da mesma ser adicionada à massa.

Figura 3: Massa Ref. batida por 1m com água 1 em velocidade baixa



Fonte: próprio autor, 2017.

Figura 4: Massa Ref. batida 1 min. Com água 2 em velocidade máxima



Fonte: próprio autor, 2017.

Após a mistura houve a realização do teste de espalhamento através do *slump flow*, medindo os diâmetros de espalhamento (indicativo do índice de consistência) com trena graduada através de seção transversal e longitudinal; teste de vazão mássica através do teste de funil, teste de segregação através do ensaio de peneiramento (4,76mm) segundo os métodos adotado em Alcântara (2004), feito isso, moldou-se 8 corpos de prova (CP) para cada traço, totalizando em 24 corpos de provas, os quais se auto adensaram pelo peso próprio do solo cimento com serragem.

Figura 5: ensaio de segregação por peniramento, massa 10% de serragem



Fonte: próprio autor, 2018.

Figura 6: medição do índice de consistência, massa 10% de serragem



Fonte: próprio autor, 2018.

Os corpos de prova foram curados ao ar livre durante um período de 3 dias, depois foram colocados em sacos plásticos e curados em câmara úmida durante 28 dias. Em seguida deste intervalo, foram submetidos aos ensaios de resistência à compressão axial, compressão

diametral e absorção de água, conforme as normas NBR 12025 (ABNT, 2012a), NBR 7222 (ABNT, 2011) e NBR 13555 (ABNT, 2012b) respectivamente, aos 28 dias de idade.

Aos 26 dias, os corpos de prova foram retirados da câmara úmida, separados para os ensaios de absorção, compressão diametral e axial sendo que, para este último, os CPs foram escareados. Para a realização do ensaio de absorção foram pesados e colocados em estufa a 105°C por 24 horas para posteriormente serem submetidos aos ensaios descritos acima.

Materiais:

Solo: O solo utilizado é o Podzólico² /Argissolo Vermelho Amarelo, comumente encontrado no Oeste paulista e em outras regiões do Brasil, foi caracterizado por Berté, 2012 pag. 53 como um solo que “possui grão de Argila, Silte, areia fina e areia média” (Tabela 1) considerando ainda que a “distribuição granulométrica dessas partículas favorecem a homogeneidade, a densidade e conseqüentemente a resistência mecânica”. Os mesmos autores caracterizaram o solo segundo ABNT (1988) –Solo análise Granulométrica- Métodos e Ensaios, ABNT (1984c)- Solo – Determinação de Liquidez, ABNT (1984d) Solo – Determinação do Limite de Plasticidade (Tabela 2).

O material utilizado na construção com solo cimento consiste, em sua fase mineralógica, a quantidade de siltes, argilas, material arenoso e água, servindo de parâmetro para um bom solo.

Tabela 2: Porcentagens das frações quanto à distribuição granulométrica do solo utilizado e caracterização.

Fração	Porcentagem (%)	Limite de Liquidez	Limite de Plasticidade	Índice de Plasticidade
Argila	32,3			
Silte	11,4			
Areia fina e média	54,7			
	1,6	25,4	17,8	7,6

Fonte: Berté, 2012.

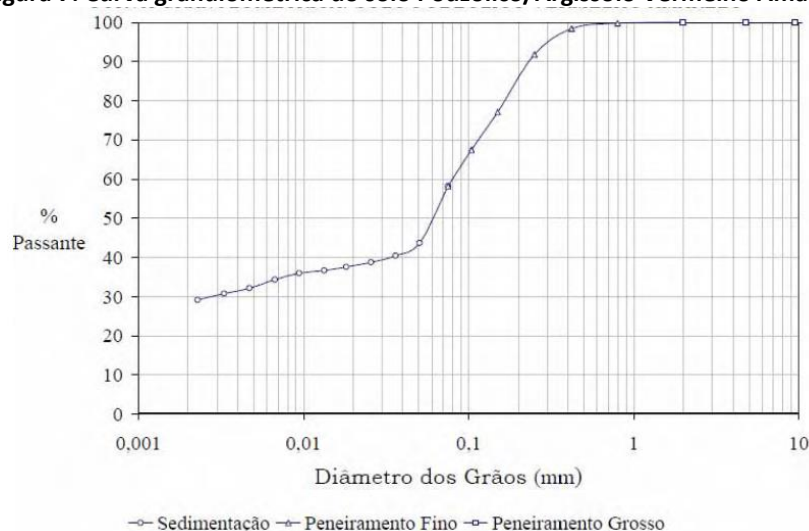
Ao compararmos o solo utilizado neste trabalho (Tabela 2), o qual foi caracterizado por Berté (2012) com as características gerais de análise descritas para a construção de obras de solo cimento por Doat et al. (1979) e Guettala et al. (2006), temos que para a estabilizados com cimentos são recomendados solos com maior teor de areias (50 a 70%) do que de argila, visto que a plasticidade é classificada como fraca, o que facilita a reação da pasta cimentante, embora deva haver 20 a 25% de concentração de argilas e siltes para a realização da função coloidal (BRITO, 2006; TORGAL; JALALI, 2010).

Nos ensaios visuais, pode-se observar um solo de cor avermelhada, o que indica o a presença de óxidos de ferro; a ausência de cheiro, descartando a possibilidade de altos índices de matéria orgânica; e ao ser esfregado nas mãos percebeu-se um solo mais áspero, o que indica a presença de material arenoso.

² Esta nomenclatura de Podzolic foi substituída em 2006 por Argissolo, pelo Sistema Brasileiro de classificação de solos da EMBRAPA,

Quanto aos limites de Liquidez (LL), descritos por Doat et al. (1979), o valor está abaixo do necessário para ser recomendado pelo autor, quanto ao limite de plasticidade (LP) e Índice de plasticidade (IP), estão dentro das recomendações, porém, a classificação de plasticidade é fraca. Para Michel (1976) apud Torgal; Jalali, 2010, p.309, “os solos com mais aptidão para serem estabilizados, apresentam baixos índices de plasticidade”. Contextualizando com a aplicação do solo cimento auto adensável as características de LL, LP, e IP não são tão determinantes neste tipo de material, pois, o principal requisito de desempenho do SCAA é a condição de fluidez da mistura fresca, a fim de se alto adensar através do peso próprio e da gravidade.

Figura 7: Curva granulométrica do solo Podzólico/Argissolo Vermelho Amarelo



Fonte: Berté, 2012.

A curva granulométrica (Figura 7) demonstra um solo com boa distribuição, partindo de 0,0025mm a 10,0mm, o que significa que o mesmo tem maior teor de areia e uma fração de argila o que favorece o adensamento da mistura.

Água: A água utilizada na amostra é proveniente do abastecimento público da cidade de ilha Solteira, potável, seu tratamento é feito pelo Departamento de Água e Esgoto (DAE) da mesma cidade. Ela fornece ao solo cimento auto adensável a plasticidade necessária para sua característica newtoniana em conjunto com o plastificante.

De acordo com Horpbilsuk (2003), a relação de água/cimento pode ser considerada uma referência à compressão mecânica para o solo cimento, (...), sabendo que a água influencia na resistência mecânica devido à possível interferência na estrutura do solo e que a porosidade influencia a resistência mecânica em função das partículas que não estão em contato (LLAJARUNA, 2016, p.14).

Superplastificante: O aditivo superplastificante utilizado foi o ViscoCret 20HE da fabricante SIKA, o qual atua através da adsorção superficial e do efeito estérico, promove a separação e a dispersão das partículas de aglomerante, proporcionando a desfloculação do sistema, um maior contato da água com as partículas do cimento auxilia na trabalhabilidade da argamassa gerando uma pasta mais fluida.

Cimento Portland: O cimento Portland utilizado nos testes foi o cimento CII- 32Z (cimento com adição de Pozolonas), segundo Kloss (1996) “Este cimento é um tipo de cimento que contém adição de Pozolanas (6% a 14%)”. As pozolanas contém um elevado teor de sílica em forma reativa, capaz de reagir na presença de água em temperatura normal, formando compostos com propriedades aglomerantes com menor permeabilidade conferida pelas reações entre o produto hidratado do cimento e as substâncias das pozolanas (TRENTIN, 2015).

Agregado miúdo: o agregado miúdo utilizado na pesquisa foi a Areia Fina Natural proveniente do Porto Nossa Senhora Aparecida e Pedreira Três Irmãos, de Andradina – SP com grau de finura 2,03, indicando ser uma areia fina, e a massa específica aparente é de 2,59 g/cm³, diâmetro máximo de 2,36mm, absorção de 0,34% e o material pulverulento de 48%.

Serragem: as serragens utilizadas são provenientes da cidade de Fernandópolis- SP e foram extraídas de uma fábrica de móveis. Ela é o resíduo final da produção de móveis confeccionados em MDF, MDP, aglomerados e laminados em geral.

Através do ensaio de granulometria podemos observar que a serragem ou pó de serra tem uma granulometria muito fina, estando abaixo dos níveis granulométricos do solo e das areias, seu diâmetro máximo fica na ordem de 600milimicras.

Avaliação do Comportamento perante a água:

Quanto à avaliação de comportamento perante água, um procedimento experimental baseou-se na adição de 10% de água (em relação ao peso dos finos) ao solo e pó de serra. A mistura e homogeneização dos materiais foram feitas manualmente, seguindo o seguinte procedimento: pesou a serragem (40g) e o solo (40g) e adicionou manualmente 10% da massa de água (4g), em seguida misturou os materiais e o mesmo foi novamente pesado (44g) e colocado na estufa de infravermelho para a secagem.

Observou visualmente durante o procedimento do pó de serra que a absorção da água foi lenta, isso ocorre aparentemente por causa do tamanho das partículas que aprisionavam as bolhas de água, não permitindo a hidratação do material, dando um indicativo que a absorção é lenta. Porém observou-se que, após alguns minutos de mistura, a serragem absorveu a água livre. Além disso, ficaram retidas pequenas bolhas de água no fundo do recipiente, circundadas por pó muito fino antes de ser levada a estufa de infravermelho.

Já com o solo, ao ser adicionada a água houve absorção imediata pelo material, o material tornou úmido e homogêneo, diferente da serragem. Isto forneceu um indicativo de que o solo é mais ávido à água, e que o mesmo se comporta de maneira esperada, absorvendo-a com mais rapidez.

Tabela 3: Avaliação da água frente aos materiais

Avaliação da água frente aos materiais				
Material	Tempo			
	15 min	30 min	45 min	60 min
Solo	249,10 g	248,40 g	248,30g	248,30g
Serragem	267,50 g	265,50 g	264,20g	263,69g

Fonte: Próprio autor, 2018.

Compreende-se pela tabela 3 que a serragem, por ter partículas muito finas, demora mais para absorver a água.

RESULTADOS

Após a mistura dos materiais, foram realizados ensaios do estado fresco, conforme já foi elencado acima. A tabela 4 apresenta os resultados dos ensaios de espalhamento e o teste da vazão mássica. Nos ensaios levou em consideração o traço referência (sem adição) e a substituição de 5 e 10% do solo por pó de serra.

Tabela 4: Ensaio de espalhamento slump flow e vazão mássica

Ensaio de espalhamento Slump-Flow				Ensaio de Vazão Mássica (V Funil)			
Diâmetro de espalhamento	Mistura			T. escoamento (s) Vazão Mássica (g/s)	Mistura		
	Ref.	5%	10%		Ref.	5%	10%
D ₁ (mm)	310	360	340	3,41 407,62	4,02 333,33	3,55 357,75	
D ₂ (mm)	310	355	290				
médio (mm)	310	357,5	315				

Fonte: Próprio Autor.

Analisando a tabela 4, observou-se que houve um aumento do espalhamento utilizando 5% de pó de serra, este caso pode estar relacionado pela diminuição dos fatores que contribui para coesão, como o decréscimo dos efeitos da inércia. Porém, já com 10% de pó houve uma retração no espalhamento médio, explica-se pelo fato de o material adicionado, em maior quantidade, criar uma maior coesão, pois com o aumento da superfície específica, há a necessidade de uma maior quantidade de água para envolver os componentes, demandando mais água para voltar ao estado de maior fluidez. No geral, a princípio (adição 5% pó) houve um alívio das forças de inércia, indicando o crescimento do espalhamento, em seguida aumentou as forças viscosas (adição 10% pó). Na figura 8 e 9, o ensaio de espalhamento não apresentou exsudação e nem segregação, indicando um material coeso e uniforme, coerente com a possível interação físico-química entre o pó de serra, a água e o solo.

Figura 8: Ensaio de consistência 5% de pó



Fonte: Próprio Autor.

Figura 9: Ensaio de consistência 10% de pó



Fonte: Próprio Autor.

Para o escoamento confinado, o ensaio do V-funil, mostra a influência de possíveis flocos na competitividade de acesso ao funil ou de choques inter-granulares de modo que as condições de viscosidade puderam contribuir no comportamento das misturas no escoamento confinado (ALCÂNTARA, 2004). A diminuição da vazão mássica explica um maior choque interno entre os grãos, demonstrando a dificuldade do material de passar pelo funil. Por outro lado, na substituição de 10% houve um aumento da vazão mássica, contrariamente à diminuição progressiva, explicado pela diminuição do fator que contribui pelo choque, ou seja, o solo. No geral, o material manteve o fluxo sem obstruções ou interrupção.

Além dos ensaios supracitados, o ensaio para verificar a segregação foi feita pelo peneiramento, com utilização do conjunto de peneira 4,78 mm (peneira + fundo). Para mistura 5%, houve uma melhor homogeneidade, pois, tendo como referência 2kg do material, temos 550g do mesmo retida, já na mistura de 10% 960g do material ficou retido, mostrando assim, uma mistura mais coesa do que o primeiro caso, sujeita à maior formação de flocos. As duas misturas apresentaram resultados satisfatórios no que condiz a sua reologia.

Todavia, é necessária a análise do material também em seu estado endurecido. Na tabela 5 temos os resultados à compressão axial, compressão diametral e suas relações.

Tabela 5: Resultados dos ensaios do CPs em estado endurecido

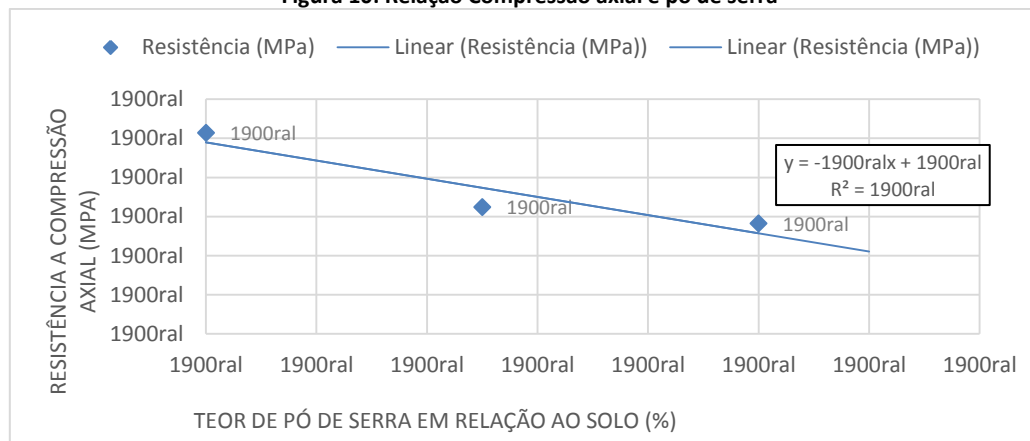
Compressão axial (MPa)	Mistura		
	Ref.	5%	10%
	2,50	1,80	1,32
	2,29	1,94	1,46
	2,71	1,11	1,46
Média Compressão Axial (MPa)	2,57	1,62	1,41
Desvio Padrão Compressão Axial	0,21	0,44	0,08
Coefficiente de Variação Axial (%)	8,18	27,48	5,72
Compressão diametral (MPa)	Ref.	5%	10%
	0,55	0,35	0,30
	0,37	0,21	0,53
	0,44	0,60	0,60
Media Compressão Diametral (MPa)	0,45	0,39	0,48
Desvio Padrão Compressão Diametral	0,09	0,19	0,15
Coefficiente de Variação Diametral (%)	19,61	51,22	32,92
Relação Tração/Compressão	0,18	0,24	0,34

Fonte: Autor, 2018.

Ponderando a tabela 5, houve uma diminuição da resistência média à compressão axial, a qual pode ser explicada por dois fatores. Primeiramente, que a hidratação do cimento ficou comprometido pela retenção de parte água pelo pó de serra, podendo influenciar negativamente na resistência final do SCAA. Sua granulometria pode influenciar na absorção de água da pasta e comprometer a resistência final do corpo de prova, visto que materiais mais finos são mais absorvedores e podem influenciar na formação da pasta. Além disso, “a madeira possui componentes como a hemicelulose, os açúcares, taninos e lignina que afetam a cura e as resistências mecânicas do produto final de compósitos a base de cimento-madeira” (DANTAS FILHO, 2004, p.207). Os açúcares presentes na madeira retardam o tempo de pega e dificulta a hidratação do cimento por formar elementos complexos organometálicos sobre os grãos, tais ações inibitórias podem interferir na resistência final do compósito (CARVALHO, 2000). Outro fator importante é que ao adicionar um material com massa específica menor, ou seja, ao trocar o solo que apresenta massa específica aparente de $1,2 \text{ g/cm}^3$ por pó de serra com $0,25 \text{ g/cm}^3$, é acrescido um material de menor massa que o solo, o material em si torna-se menos resistente.

Avaliando a relação tração/compressão (Figura 10) houve um aumento de 89% com relação à referência, indicando que com a adição do pó de serra o material se torna menos quebradiço, ou seja, menos frágil proporcionando assim uma maior deformação antes de sua ruptura.

Figura 10: Relação Compressão axial e pó de serra



Fonte: Próprio Autor, 2018.

Pelo gráfico, o coeficiente de determinação (R^2) fornece um bom indicativo de que a relação entre a resistência à compressão diametral pela compressão axial é relacionada à adição de pó de serra. A tabela 6 apresenta valores que indicam a estabilização do solo cimento quanto ao equilíbrio das propriedades de absorção de água, já que as misturas com pó de serra proporcionaram uma diminuição no teor de umidade, isto também pode ser explicado pelo fato do solo ter uma higroscopia maior que o do pó de serra.

Tabela 6: Resultados dos ensaios do CPs em frente a umidade aos 28 dias

	Mistura		
	Ref.	5%	10%
Umidade (%)	26,66	27,30	28,70
	33,79	27,50	29,41
Média	30,23	27,40	29,06

Fonte: Próprio Autor, 2018.

Portanto, com a retirada do solo, o pó de serra demandaria um tempo maior para absorver a água, como demonstrado na avaliação de perda de água descrita acima.

CONCLUSÃO

A utilização do pó de serra no solo cimento apresentou-se coeso e homogêneo nas duas situações de adições, sem segregação e nem exsudação. Nos ensaios de estado endurecido, houve perda da resistência à compressão axial pelo fato de substituir um material com massa específica menor e este absorver a água de hidratação do cimento, porém com facilidade de correção na reformulação do traço. Todavia, não houve alteração na resistência a tração, sugerindo que as características físicas e químicas do pó de serra equilibraram a mistura, tornando-a mais dúctil no estado endurecido, menos quebradiça e menos absorvedora. Além disso, pode-se ressaltar características gerais como sua boa capacidade de isolamento acústico e térmico; possibilidade de dosagem racional para alcance de resistências especificadas em

projeto com grande precisão e baixa variabilidade; disponibilidade de matérias-primas em praticamente todos os locais. Isto nos leva a crer que o pó de serra vem de encontro com as mesmas variáveis ambientais do solo cimento e torna-se um elemento capaz alcançar as exigências ecológicas atuais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, M.A.M. **Bétons auto-plaçants et fibrages hybrides: Composition, rhéologie et comportement mécanique.** Toulouse, 2004, INSA, 192 p.

ALCÂNTARA, M. A. M. **Estabilização química de solos para fins rodoviários: técnicas disponíveis e estudo de caso para três solos de Ilha Solteira.** 1995. Dissertação (Mestrado em Geotecnia), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

ALCÂNTARA, M. A. M; MATSUURA, F. L. **Estudo de variação das propriedades do solo-cimento auto adensável no estudo endurecido em função das condições de exposição após a cura.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 57, 2015, Bonito. Anais... Bonito: Ibracon, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR7185-Solo - Determinação da massa específica aparente, in situ, com emprego do frasco de areia.** Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 12025: Solo cimento - ensaio de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos – método de ensaio.** Rio de Janeiro, 2012a.2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 13555: Solo cimento- determinação de absorção d'água.** Rio de Janeiro, 2012b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 7222: Concreto e argamassa- Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 7181: Solo - análise granulométrica - método de ensaio.** Rio de Janeiro, 1988. 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 6459: Solo - determinação do limite de liquidez – método de ensaio.** Rio de Janeiro, 1984c.6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 7180: Solo - determinação do limite de plasticidade - método de ensaio.** Rio de Janeiro, 1984d. 3p.

BERTÉ, S. D. D. **Otimização do solo-cimento auto adensável.** 2012. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2012.

BERTÉ, S. D. D; ALCÂNTARA, M. A. M. **Estudo do comportamento do solocimento auto adensável.** Revista Eletrônica de Engenharia Civil, Goiânia, v. 7, n. 2, p. 37-52, 2013.

BRITO, J. **Características do Solo para a Execução de Taipa.** Parte I. Revista construção. Magazine, p.42-45, 2006.

DANTAS FILHO, Flavio Pedrosa. **Contribuição ao estudo para aplicação do pó de serra da madeira em elementos de alvenaria de concreto não estrutural.** 2004. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

DOAT, P.; HAYS, A.; HOUBEN, H.; MATUK, S.; VITOUX, F. **Construire em terre.** France CRAterre- École d'Architecture de Grenoble, 1979.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA (Embrapa). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006, p.306.

GUETTALA, A.; ABIBSI, A.; HOUARI, H. Durability Study of Stabilized Hearth Concrete under Both Laboratory and Climatic Conditions Exposure. **Construction and Building Materials**, v.20, p.119-127, 2006.

HORPBILSUK, S.; MIURA N.; NAGARAJ, T. S. Assessment of strength development in cement-admixed high water content clays with Abram's law as a basis. **Geotechnique Journal**, Bangalore, v. 53, n. 4, p. 439-444, 2003.

KLOSS, C. L. **Materiais para Construção Civil**, 2 ed. CEFET-PR, 1996.

LLAJARUNA, M. A. V. **Estudo do Solo- Cimento auto adensável para a fabricação de tijolos de pó de mármore e resíduo de construção**. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2016.

MACLEOD, Finn. **Manhattan do deserto: Shibam, a antiga cidade de arranha-céus do Iêmen**. Archdayli, 2015. Disponível: <https://www.archdaily.com.br/br/771385/manhattan-do-deserto-shibam-a-antiga-cidade-de-arranha-ceus-do-iemem>. Acesso em 27/05/2018.

MICHEL, J. **Etude sur la Stabilisation et la Compressin dès Terres**. Pour Leur Utilisation dans la Constrution. Annales de l'Institut Technique de Batiment et des Travaux Publics. Série Matériaux,1976. p.22-35.

PEREIRA, ADRIANA MARIA. **Análise da viabilidade da utilização da cinza do bagaço de cana-de-açúcar como aglomerante para a produção de matrizes cimentantes**. 2014. 207 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2014.

SANTOS, RAQUEL DO CARMO. JORNAL UNICAMP. **Serragem substitui materiais da construção civil**. Ed. 275, 2004. Disponível em: http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/ju/dezembro2004/ju275pag8a.html. Acesso em: 26/05/2018.

SEGANTINI, A. A. S.; ALCÂNTARA, M. A. M. **Solo-cimento e solo-cal**. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE CONCRETO - IBRACON (Org.). **Materiais de construção civil e princípios básicos de ciência e engenharia de materiais**. 3.ed. São Paulo: IBRACON, v.2, p. 885-921, 2017

SIKA S.A. **Inovation & Consistency**. São Paulo: SIKA, 2012.

SILVA, SA.M. **Habitação em solo cimento**. In: Simpósio de engenharia civil, 3., 1991, Ilha Solteira. Anais... Ilha Solteira: UNESP, 1991. p.21-34.

TORGAL, F.P.; JALALI, S. **A sustentabilidade dos materiais de Construção**. Ed. Tec Minho. Coimbra, Portugal, 2010.

TRENTIN, Thiago Francisco Silva. **Análise estrutural de tubos de concreto armado com resíduo de borracha de pneu**. 2014. 104 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia, 2014.