



## A INFLUÊNCIA DA “CURA COM MISTURA SOLTA” NO PREPARO DO KRAFTTERRA PARA A PRODUÇÃO DE BLOCOS DE TERRA COMPACTADA

**Fernando Luis Campanella<sup>1</sup>; Márcio Albuquerque Buson<sup>2</sup>; Rosa Maria Sposto<sup>3</sup>**

(1) Universidade de Brasília – ENC/FT/UnB; Campus Universitário Darcy Ribeiro, ENC/FT, 70910-900, Brasília – DF, Brasil. Tel: (55 61) 3307-2301; nanocampanella@hotmail.com

(2) Universidade de Brasília – TEC/FAU/UnB; Campus Universitário Darcy Ribeiro ICC Norte Bloco A - FAU, 70910-900, Brasília – DF, Brasil. Tel: (55 61) 3307-2450; mbuson@unb.br

(3) Universidade de Brasília – ENC/FT/UnB; Campus Universitário Darcy Ribeiro, ENC/FT, 70910-900, Brasília – DF, Brasil. Tel: (55 61) 3307-2301; rmspoto@unb.br

**Palavras-chave:** kraftterra, cura com mistura solta, reciclagem

### RESUMO

A produção de Blocos de Terra Compactada – BTCs – com a incorporação de fibras longas de papel Kraft proveniente da reciclagem de sacos de cimento vem sendo estudada em pesquisa de doutorado na Universidade de Brasília.

Dentre as análises propõe-se o estudo da redução da quantidade de cimento e o uso de solo com percentual de argila mais elevado ao comumente utilizado na produção do BTC visando uma incorporação mais eficiente das fibras da polpa de celulose ao solo com conseqüente melhora no desempenho final dos BTCs após a secagem, à semelhança do que ocorre nos adobes ao se incorporar palha ou estrume curtido de gado.

Os blocos e tijolos prensados de solo estabilizado com cimento, popularmente conhecidos e comercialmente designados de solo-cimento, vêm sendo largamente utilizados em construções pelo Brasil. Seu processo de fabricação é simples e muito semelhante em todo o mundo. Misturam-se as quantidades e proporções adequadas de solo arenoso, cimento e água e logo em seguida à etapa de mistura procede-se a compactação em máquinas manuais ou hidráulicas.

Entretanto, um estudo sobre dosagem de solo melhorado com cimento feito por Pitta e Nascimento (1983) indica que se a mistura úmida “solo + cimento” for deixada solta por algum tempo antes de ser prensada, o solo – principalmente os mais finos – tem suas características de granulometria transformadas produzindo melhores condições de compactação e influenciando nas propriedades físico-mecânicas finais.

O presente estudo apresenta a comparação entre o desempenho de BTCs de kraftterra com e sem o período de cura com a mistura solta.

### 1. INTRODUÇÃO

Com a intensa industrialização, o advento de novas tecnologias, o crescimento populacional e o aumento de pessoas em centros urbanos e diversificação do consumo de bens e serviços, os resíduos se transformaram em graves problemas urbanos com um gerenciamento oneroso e complexo considerando-se o seu volume e massa acumulados (Ângulo et al, 2001).

Dentre os mais sérios problemas da atualidade enfrentados pela gestão ambiental pode-se destacar o impacto do ambiente construído provocado principalmente pela grande geração de resíduos sólidos da Indústria da Construção Civil – ICC – e posterior descarte na natureza.

A Indústria da Construção Civil gera atualmente uma grande quantidade de resíduos sólidos, o que proporciona um enorme impacto ambiental pelo fato desse entulho de obra ser em grande parte descartado na natureza sem qualquer aproveitamento, tratamento ou beneficiamento. Dentre esses materiais provenientes das construções encontra-se o papel

*kraft* oriundo dos sacos de cimento, que em sua grande maioria não são reaproveitados ou reciclados.

A fibra dessas embalagens, o papel *kraft*, tem excelentes propriedades físicas e mecânicas. Esse papel é fabricado seguindo as especificações rígidas exigidas pelos fabricantes e usuários de sacos multifoliados. Estas especificações exigem uma celulose sulfato de alta resistência, de fibra longa, que é geralmente empregada pura. O Brasil possui alguns fabricantes de papel *kraft*, como a Empresa Itapajé (Maranhão) e a Empresa Portela (Pernambuco), que utilizam as fibras do bambu, da espécie *Bambusa vulgaris*, que produz fibra longa de alta resistência física, capaz de garantir excelente entrelaçamento, para produzir um dos melhores sacos multifoliados do mundo.

Após a utilização do cimento, o saco, constituído por material com tão boas características físicas e mecânicas, acaba não sendo aceito pelas empresas de reciclagem de papel por se encontrar “contaminado” pelo cimento. Há, porém, potencial de seu aproveitamento na produção de novos componentes construtivos com sensível melhoria das propriedades técnicas, econômicas e de sustentabilidade.

O Brasil apresenta um grande desafio na área social, um enorme déficit habitacional. No enfrentamento dessa questão, a participação da comunidade científica dá-se especialmente no desenvolvimento de alternativas tecnológicas, que devem considerar aspectos técnicos, econômicos, sociais, culturais e ambientais. Faz-se necessário ampliar o conhecimento de alternativas para a habitação de interesse social destinadas aos agentes da construção, quer sejam cooperativas ou auto-construtores, de modo a oferecer um produto de boa qualidade e que seja econômico-sustentável.

A importância do aproveitamento de resíduos para a produção de componentes para habitações – sejam estas de interesse social ou não – deve-se basicamente à possibilidade de desenvolvimento de materiais de boa qualidade e baixo custo a partir de subprodutos industriais, disponíveis localmente, através da investigação de suas potencialidades.

Trabalha-se em pesquisa de doutorado na FAU/UnB com a hipótese de que é possível o desenvolvimento de componentes econômico-sustentáveis de terra crua com a incorporação de papel *kraft* reciclado de sacos de cimento para a produção de blocos de terra compactada – BTCs – para a vedação vertical, estrutural ou não, de habitações de interesse social.

Barbosa et al (2002) comentam que os tijolos prensados de terra crua são uma forma “moderna” de uso da terra como material de construção. Isto porque terra, material milenar, só passou a ser utilizada na forma comprimida por equipamentos na década de 1950, quando o pesquisador colombiano G. Ramires teve a idéia de criar uma prensa manual para fabricação de tijolos. Esta ficou mundialmente conhecida como prensa CINVA-RAM, sendo o primeiro nome o do organismo de habitação popular do Chile onde Ramires trabalhava. No Brasil, a Associação Brasileira de Cimento Portland realizou muitos trabalhos com o que se chamou *solo-cimento*. Foi inclusive desenvolvida uma prensa para fabricação de *tijolos de solo-cimento* com apoio do Banco Nacional de Habitação. No entanto, nesse processo, o equipamento, moldando três tijolos ao mesmo tempo, não conseguia dar uma pressão conveniente à terra. Conseqüentemente, para se obter resistências adequadas foi necessário o uso de taxas de cimento de 8, 10, 12 e até mesmo 15%. Tais teores de ligante estabilizante passam a pesar significativamente nos custos do material construtivo.

No Distrito Federal, para a produção de tijolos prensados de solo estabilizado com cimento usualmente utiliza-se solos arenosos e o traço mais empregado para a produção é 1:8 (em volume), ou seja, uma parte de cimento para oito partes de solo. Já foi constatada a produção de tijolos de solo-cimento com um traço de 1:6. Com essas proporções chega-se a valores muito elevados para o teor de cimento na mistura, o que eleva consideravelmente os custos das construções.

Dentre as análises de caracterização do novo compósito previstas na referida pesquisa de doutorado comparecem as variáveis de estudo da “redução e/ou eliminação do estabilizante cimento” e o “uso de um solo com percentual de argila mais elevado ao comumente utilizado na produção do BTC”. Essas variáveis visam, ao mesmo tempo, a análise de um material resistente, de custo final mais barato, ecologicamente mais correto e com uma incorporação mais eficiente às fibras da polpa de celulose com conseqüente melhora no desempenho final após a secagem.

Tratando-se de um novo compósito o seu processo de preparo deve ser intensamente estudado e avaliado. O mesmo irá variar conforme o processo construtivo a ser utilizado para a fabricação dos componentes e elementos. Para os blocos e tijolos prensados de solo estabilizado com cimento, BTCs ou tijolos de solo-cimento, o processo de fabricação é simples e muito semelhante em todo o mundo. Misturam-se as quantidades e proporções adequadas de solo arenoso, cimento e água. Logo em seguida procede-se a compactação da mistura em máquinas manuais ou hidráulicas.

Entretanto, um estudo sobre dosagem de solo melhorado com cimento feito por Pitta e Nascimento (1983) indica que se a mistura úmida “solo + cimento” for deixada solta por algum tempo antes de ser compactada, o solo – principalmente os mais finos – tem suas características de granulometria transformadas, produzindo melhores condições de compactação e influenciando nas propriedades físico-mecânicas finais.

## **2. OBJETIVO**

Análise comparativa do desempenho entre amostras de kraftterra com o processo de preparo contendo um período de cura com a mistura solta e outras amostras sem esse período. Foram comparadas as médias dos valores máximos da tensão de ruptura à compressão simples das várias amostras estudadas.

## **3. METODOLOGIA**

Para a produção dos corpos-de-prova utilizou-se como referencia os procedimentos descritos na NBR 12024 (Solo-cimento – Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos) (ABNT, 1992b), mas com alguns ajustes para melhor adequação ao estudo proposto.

Para a moldagem dos corpos-de-prova foram utilizados cilindros pequenos de Proctor e soquete pequeno (diâmetro  $\pm 100$  mm e altura  $\pm 127$  mm). Os CPs foram moldados em 3 camadas com 26 golpes do soquete por camada. Foram realizadas duas seqüências de ensaios com 5 CPs para cada tipo de amostra (com e sem o período de cura com mistura solta). Um dos CPs de cada seqüência foi curado fora da câmara úmida, em ambiente sem ventilação e com umidade relativa do ar em torno dos 50%. No total foram ensaiados 20 CPs.

A norma recomenda que assim que moldados os corpos-de-prova devem ser colocados numa câmara úmida à temperatura aproximada de 23°C e umidade relativa do ar não inferior a 95%, semelhante às câmaras úmidas utilizadas para a cura de concreto. Contudo, ao proceder dessa maneira com corpos-de-prova produzidos com uma mistura com um solo bastante argiloso e com baixo teor de cimento os mesmos apresentaram grande fragilidade e baixíssima resistência já ao serem transportados, o que não refletia a situação mínima esperada para as amostras.

Optou-se por manter os corpos-de-prova durante o período de cura em uma câmara úmida com umidade relativa do ar controlada bem abaixo do recomendado na norma. Trabalhou-se com a câmara úmida do Laboratório de Geotecnia da UnB onde são guardadas amostras de solo. Essa câmara mantém uma umidade relativa do ar constante em torno dos 75% e temperatura por volta dos 25°C.

Após o período de cura de 7 dias foram realizados os ensaios de compressão simples seguindo os procedimentos descritos na NBR 12025 (ABNT, 1990). Seguindo o

recomendado por Pitta e Nascimento (1983) em estudo técnico da ABCP sobre dosagem de solo melhorado com cimento, também foram propostos alguns ajustes nos procedimentos para as amostras em questão. Esses autores sugerem que a imersão em água dos corpos-de-prova deve ser eliminada das especificações no caso de solo melhorado com cimento, independentemente do tipo de solo a ser estabilizado. A NBR 12025 (ABNT, 1990), no item 5.1.3, diz que após o período de cura os corpos-de-prova devem ser submetidos à imersão por 4 horas. É possível relatar que em alguns ensaios anteriores em que a imersão foi utilizada os corpos-de-prova se mostraram bem menos resistentes e mais frágeis que antes da imersão. Nesse trabalho os ensaios foram realizados sem incluir a imersão em água.

Os valores de umidade ótima das duas amostras de kraftterra foram definidos com e sem o período de cura com a mistura solta seguindo os procedimentos da NBR 12023 - Solo-cimento - Ensaio de compactação (ABNT, 1992a). Os valores de umidade ótima de compactação das amostras variaram muito pouco ficando em torno dos 31%.

Ensaio de compressão simples foram realizados com os corpos-de-prova resultantes dos ensaios de compactação para definir qual seria o percentual ideal de umidade para se conseguir o melhor desempenho quanto à compressão simples. Para os dois tipos de amostras os resultados apresentaram os maiores valores de tensão de ruptura com os corpos-de-prova que haviam sido compactados com umidade próxima dos 26%. Ou seja, cerca de 5 pontos percentuais abaixo da umidade ótima de compactação.

Em seguida os corpos-de-prova de kraftterra com e sem o período de cura com mistura úmida solta foram moldados com umidade o mais próximo possível dos 26%. As misturas foram feitas com solo argiloso (cerca de 45% de argila, 42% de areia e 13% de silte), 6% de cimento e 6% de fibras de papel Kraft (em massa). Os sacos de cimento foram triturados com água em um liquidificador industrial e após a retirada do excesso de umidade foram misturados ao solo e ao cimento. No caso da mistura solta a mistura foi deixada à umidade ambiente por 24 horas antes de ser compactada. A compactação dos corpos-de-prova sem o período de cura com mistura solta foi feita logo após o preparo do compósito.

#### 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os ensaios de compressão simples dos corpos-de-prova cilíndricos moldados com o kraftterra sem e com o período de cura com a mistura solta apresentaram valores médios de resistência máxima em torno dos 1,50 MPa para os dois tipos de amostras. Na tabela 1 são apresentados os resultados dos ensaios de determinação da resistência à compressão, notando-se a semelhança de comportamento entre as duas seqüências ensaiadas.

**Tabela 1** – Resistência à compressão e umidade de compactação.

"SEM" O PERÍODO DE CURA COM MISTURA SOLTA			
Corpo de Prova	Resistência à compressão (MPa)	Umidade (%)	Tipo de cura (umid. relat.)
47	2,30	26,14	Ambiente fechado (50%)
48	1,60	26,64	Câmara úmida (75%)
49	1,50	25,99	Câmara úmida (75%)
50	1,37	25,63	Câmara úmida (75%)
51	1,48	25,60	Câmara úmida (75%)
"COM" O PERÍODO DE CURA COM MISTURA SOLTA			
Corpo de Prova	Resistência à compressão (MPa)	Umidade (%)	Tipo de cura (umid. relat.)
52	1,58	26,81	Câmara úmida (75%)
53	1,51	26,93	Câmara úmida (75%)
54	1,53	26,90	Câmara úmida (75%)
55	1,38	26,80	Câmara úmida (75%)
56	2,25	26,85	Ambiente fechado (50%)

Os valores de resistência à compressão simples variaram entre 1,37 MPa a 1,60 MPa, com média em torno dos 1,50 MPa. Os corpos-de-prova moldados com as amostras com o período de cura com mistura solta apresentaram uma resistência média à compressão de 1,50 MPa e os moldados com o kraftterra sem o período de cura com a mistura solta chegaram a uma média de 1,49 MPa.

Cabe ressaltar os valores médios de tensão máxima de ruptura obtidos com os corpos-de-prova curados fora da câmara úmida, em ambiente com a metade da umidade recomendada pela NBR12024 (ABNT, 1992b), ou seja, com umidade relativa do ar próxima dos 50%. A média dos valores máximos de tensão de ruptura à compressão simples passou de 1,5 MPa para próximo dos 2,30 MPa. A cura em um ambiente com menor umidade ao recomendado pelas normas proporcionou um aumento nos valores de resistência à compressão simples da ordem de 50%.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados apresentados mostram que a inclusão do procedimento de “cura com mistura solta” não influencia no desempenho do novo compósito kraftterra para a produção de blocos de terra compactada quanto à resistência à compressão simples. O que nos leva a não recomendação desse procedimento no preparo do kraftterra para a produção de BTCs.

O ensaio de compactação também mostrou que o melhor desempenho do kraftterra quanto à resistência a compressão é obtido com uma mistura com umidade aproximada de 5 pontos percentuais abaixo da umidade ótima de compactação. Esse dado é importante, pois a influência da quantidade de água ou percentual de umidade na mistura é bastante expressiva para a resistência final e durabilidade dos componentes construtivos.

Esse trabalho também apresentou informações sobre ajustes e adequações nos procedimentos recomendados em normas da ABNT que justificam um estudo mais detalhado para a proposição de novos procedimentos quanto às condições de cura e preparo dos corpos-de-prova antes dos ensaios de ruptura quando do uso de solos argilosos. Considera-se que a utilização da câmara úmida ao se proceder aos ensaios de compressão simples vai a favor da segurança. Contudo não é aceitável um grau de segurança tão elevado ao ponto de descaracterizar o real desempenho de um material, no caso um solo mais argiloso e com um percentual baixo de estabilizante.

Para esse tipo de material devem ser realizados estudos para a proposição de novos procedimentos para ensaios de compressão simples, bem como para a moldagem e cura de corpos-de-prova. Sendo que essa recomendação se faz valer caso o uso de solo argiloso para a produção de BTCs, ou outro processo construtivo, seja comprovado adequado e viável quanto aos aspectos construtivos, econômicos e ambientais.

Tal comprovação pode ocorrer com a pesquisa de doutorado em desenvolvimento na FAU/UnB que propõe o estudo de solos “estabilizados” com polpa de celulose proveniente da reciclagem de sacos de cimento. Um dos solos em estudo é o argiloso.

## BIBLIOGRAFIA

ÂNGULO, Sérgio C.; ZORDAN, Sérgio; e JOHN, Vanderley M. (2001): **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil**. Evento: IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na construção civil - materiais reciclados e suas aplicações. CT206 - IBRACON. São Paulo - SP.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (1990): **NBR 12025 – Solo-cimento: Ensaio de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (1992a): **NBR 12023 – Solo-cimento: Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (1992b): **NBR 12024 – Solo-cimento: Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro.

BARBOSA, Normando Perazzo; MATONNE, Roberto; MESBAH, Ali (2002): **Blocos de Concreto de Terra: Uma Opção Interessante Para a Sustentabilidade da Construção**. Anais do 44º Congresso Brasileiro de Concreto, Belo horizonte – MG. Disponível na página eletrônica do SEBRAE – Biblioteca On Line, em <http://www.biblioteca.sebrae.com.br/>. Acesso em 05/2007.

PITTA, Márcio Rocha; e NASCIMENTO, Aurinilce A. Port (1983): **Dosagem de solo melhorado com cimento por modificações físicas, químicas e mecânicas do solo original**. Estudo Técnico ET-53 da Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP, São Paulo.

#### **AUTORES**

Fernando Luis Campanella: graduando da Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília. Integrante do Grupo PET/ENC/UnB - Programa de Educação Tutorial.

Márcio Albuquerque Buson: arquiteto e professor do Departamento de Tecnologia da FAU/UnB. Mestre pela FAU/UnB em Tecnologia da Arquitetura. Doutorando em Tecnologia da Construção na FAU/UnB com tema sobre arquitetura de terra.

Rosa Maria Sposto: engenheira civil e professora da ENC/UnB. Doutora pela USP. Desenvolve pesquisas com habitação de interesse social, gestão e reciclagem de resíduos da construção civil e qualidade e sustentabilidade de materiais e processos.