

Estudo do comportamento mecânico de tijolos de solo-cimento cp-ii e solo-cimento cp-iii com fibra de sisal

Carolina Aquino Amador

Centro Universitário de Brasília - UniCEUB, Curso de Arquitetura e Urbanismo – FATECS, Brasília (DF), Brasil

carolina.aa93@hotmail.com

Marina Monteiro Abreu Flecha Ferreira

Centro Universitário de Brasília - UniCEUB, Curso de Arquitetura e Urbanismo – FATECS, Brasília (DF), Brasil

marinamafferreira@gmail.com

Maruska Tatiana N. da Silva Bueno

Centro Universitário de Brasília - UniCEUB, Departamento de Engenharia Civil - FATECS, Brasília (DF), Brasil

maruska.silva@uniceub.br

RESUMO: O estudo tem como objetivo avaliar o comportamento mecânico de tijolos de solo com cimento convencional e os de terra crua estabilizados com cimento “verde” e fibra de sisal. Deu-se início aos ensaios: caracterização do solo (granulometria, limite de liquidez e plasticidade), confecção dos tijolos solo-cimento convencionais, solo-cimento verde e solo-cimento verde com adição de fibra de sisal. Todos os tijolos foram confeccionados nos traços 1:8 e 1:6 e submetidos a análise de resistência média à compressão a cada 21 e 28 dias de cura respectivamente. O tijolo solo-cimento convencional apresentou resistência média nos traços 1:8 foi de 67,26 kN e 69,46 kN; 1:6 de 92,72 kN e 96,78 kN. Para a confecção do tijolo solo-cimento verde sua média no traço 1:8 foi de 80,59 kN e 64,01 kN; no traço 1:6 foi de 66,97 kN e 66,43 kN. Nos tijolos solo-cimento verde e fibra de sisal foram utilizados três diferentes comprimentos de fibra: 5mm, 10mm e 20mm. No traço 1:8 (5mm) a média foi de 67,12 kN e 63,8 kN; no traço 1:8 (10mm) foi de 46,69 kN e 52,89; no traço 1:8 (20mm) foi de 58,82 kN e 58,06 kN. No traço 1:6 (5mm) foi de 75,08 kN e 56,59 kN; no traço 1:6 (10mm) foi de 45,40 kN e 39,16 no traço 1:6 (20mm) foi de 42,99 kN e 40,74 kN. Os resultados confirmam aumento da resistência dos tijolos com uso do cimento CP-III. Por outro lado a adição da fibra de sisal aumentou apenas o volume da mistura, em comparação ao tijolo convencional.

Palavras-chave Solo-cimento; tijolo; fibra de sisal; cimento “verde”; sustentabilidade

1. INTRODUÇÃO

Historicamente, os primeiros materiais de construção utilizados foram aqueles ofertados pela natureza, como pedra, palha, galhos e troncos de árvores e, em dúvida, a terra. Com esses materiais o Homem foi capaz de produzir belíssimas obras de engenharia, como são testemunhos as magníficas pirâmides e tantos outros monumentos egípcios, gregos e persas. A criação do cimento romano, misturando cal e cinzas vulcânicas, resistente à ação da água propiciou e auxiliou a construção de obras que desafiavam não somente às décadas e aos séculos, mas aos milênios (Barbosa & Mattone, 2002).

Como o surgimento da industrialização, as tecnologias dos primórdios dos tempos se perderam, principalmente pela mídia atual, quando a indústria deseja vender um material, técnica ou tecnologia. Por outro lado, as novas tecnologias não atendem, aos critérios propostos por Codetec (1979) e Vargas et. al. (1994): baixo custo e recurso financeiro na sua implementação; capacitação acessível, sem necessita de mão de obra específica e especializada; menor geração de impacto ambiental e favorecer a integração com o ecossistema; autonomia local, autonomia das localidades na sua implementação, pois utiliza matérias primas e energias locais; absorvedora de mão-de-obra, neste caso a tecnologia deve se utilizar dos recursos mais abundantes na localidade da implantação; menos burocracia, de domínio público não havendo preocupações com pagamento de patentes ou royalties; adaptabilidade e simplicidade, de fácil entendimento e absorção, e sendo assimilada culturalmente com rapidez.

Sabe-se que a utilização de tijolos de solo-cimento atende aos diversos critérios sustentáveis e isso deve estimular principalmente se estiverem aliados aos materiais não convencionais ecologicamente corretos, com os utilizados neste trabalho: o cimento “verde” e a fibra de sisal. Existem diversos tipos de tijolos confeccionados com argila, argila xistosa e silicato de calico ou cimento, específicos para cada ocasião. Conhecê-los é essencial para a obtenção de melhores resultados nas obras. Atualmente, existem tijolos feitos de cinzas volantes, que são resíduos de fumaça, sendo uma alternativa ecológica aos materiais tradicionais, e com o aumento do incentivo às práticas de responsabilidade ambiental, os tijolos tradicionais começaram a ser substituídos por blocos adobe e de terra comprimida, conhecidos também por tijolos ecológicos. Não apenas o material que é feito, mas também seu formato, espessura e tamanho influenciam sua configuração e uso do tijolo. Entre os mais conhecidos são: tijolo maciço; tijolo de cerâmica; tijolo laminado; bloco de concreto; tijolo refratário; bloco de terra comprimida e tijolo de vidro.

Na construção civil o uso de fibras tem sua importância no aumento da resistência de materiais, como o solo, argamassas e concretos. Hoje as fibras naturais estão sendo as mais estudadas para o uso nas construções, pelo fato de serem materiais renováveis, biodegradáveis, terem alta disponibilidade, baixo custo, e por não possuírem o petróleo como matéria prima. Algumas fibras já estão sendo muito utilizadas pelo seu alto desempenho nas misturas, como as fibras de sisal e as de coco. A fibra de sisal vem da planta *Agave sisalana*, família *Agavaceae* originária do México. O sisal é uma planta utilizada para fins comerciais e utilizada na confecção de cordas, tapetes, sacos, vassouras, artesanato, acessórios e também como componente automobilístico. Segundo Batista (2009), uma fibra

sintética demora até 150 anos para se decompor no solo, enquanto a fibra de sisal, em meses, torna-se um fertilizante natural. principais características das fibras de sisal: alta tenacidade se compara com outras fibras naturais; excelente resistência à abrasão e ao calor; textura excepcional, que permite grande aderência de contato; excelentes propriedades térmicas, acústicas e mecânicas; rusticidade e beleza natural; excelente biodegradabilidade em qualquer ambiente (Cotesi do Brasil, 2014). A fibra de sisal é classificada quanto a sua classe em: longa (comprimento acima de 0,90m), média (comprimento entre 0,70m e 0,90m) e curta (comprimento entre 0,60 e 0,70m) (Batista, 2009).

Segundo Abiko (1980), cimento é um material pulverulento, calcário, que misturado com água forma uma pasta plástica que dá pega e endurece podendo aglomerar uma boa proporção de materiais inertes, com propriedades hidráulicas e pozolânicas, como areia, solo, cascalho e pedregulho. Os tipos de cimento fabricados diferem entre si em função da adição de matérias-primas. O cimento verde é uma opção que pode aumentar o potencial sustentável do tijolo. É uma técnica proposta por pesquisadores da Universidade de São Paulo (USP) que permite dobrar a produção de cimento sem aumentar a emissão de CO₂. Para isso ocorreram mudanças na base de preparo do cimento, e a ideia foi aumentar o uso de materiais não reativos, no caso o calcário moído e a argila, que permitem a redução das emissões do Dióxido de Carbono, mantendo a mesma resistência do produto convencional, e podendo ser usado em todos os usos do cimento convencional, exceto aqueles que necessitam de concreto especial USP (2013). Portanto, o uso do cimento verde no tijolo solo-cimento é aceitável e admissível.

2. OBJETIVOS DA INVESTIGAÇÃO

A inclusão de critérios da sustentabilidade, como, economicamente viável, socialmente justo, e ecologicamente correto, é altamente recomendável. Baseado em todo o pressuposto, esta pesquisa busca compreender o comportamento de tijolos de solo misturado aos cimentos CP II-32, CP-III e variadas proporções de fibra de sisal, tendo em vista avaliar parâmetros de resistências destes materiais. Assim, o presente estudo tem como objetivo geral comparar a eficiência mecânica dos tijolos de terra crua estabilizados com cimento convencional e tijolos de terra crua estabilizados com cimento do tipo CP-III, dito cimento “verde” e terra crua, cimento verde e fibra de sisal em variadas porcentagens. Como objetivos específicos o estudo propõe-se a: obter o traço ideal para a confecção dos tijolos de terra crua e cimento convencional e dos tijolos de terra crua e cimento do tipo CP-III; analisar a resistência à compressão dos tijolos confeccionados com a mistura citada anteriormente e com os tijolos confeccionados com terra crua e cimento do tipo CP-III, confeccionados com variadas porcentagens de fibra de sisal; comparar a resistência à compressão dos tijolos de terra crua e cimento convencional com tijolos provenientes da mistura da terra crua e dos materiais não convencionais (Cimento do tipo CP-III e as fibras de sisal); obter um traço ideal para as resistências à compressão dos tijolos confeccionados com base nos valores observados na bibliografia para tijolos de solo e cimento convencional e os confeccionados com materiais não convencionais.

3. METODOLOGIA

Primeiramente, escolheu-se o solo da região Asa Norte, mais precisamente SQN 508, Brasília – DF para a realização dos experimentos, caracterizou-se o material de acordo com as normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), através de ensaios de granulometria, limites de liquidez e plasticidade. Após caracterização, o solo foi secado e peneirado em peneira de 4,8mm e usado para a confecção dos tijolos solo-cimento convencional, tijolos solo-cimento “verde” e tijolos solo-cimento “verde” com adição de fibra de sisal, feitos com a ajuda de uma prensa manual para tijolos ecológicos, nos traços 1:10, 1:8 e 1:6 (cimento:solo).

A confecção dos tijolos solo-cimento convencional e solo-cimento “verde” seguiu as etapas: o cimento é adicionado ao solo peneirado na quantidade de acordo com o traço desejado, misturado a seco, com a ajuda de uma betoneira, até adquirir uma coloração uniforme e adicionou-se água aos poucos até se atingir a umidade ideal. Para verificar se a mistura está com uma boa quantidade de água é realizado um procedimento em que toma-se uma porção da mistura e aperta-se várias vezes entre os dedos e a palma da mão, até formar um bolo firme. Deixa-se cair o bloco numa superfície dura de uma altura razoável (Fig. 1), isso é feito para ver se o bloco se parte em pequenos pedaços, porém, se o bloco se partir em partes maiores, este continua seco e precisa-se adicionar mais água.



Figura 1. Procedimento para determinação de umidade
Fonte: Téchne, 2004

Para os tijolos solo-cimento “verde” e fibra de sisal, após a mistura feita foi adicionada a fibra já cortada no tamanho escolhido, 5mm, 10mm e 20mm (Fig. 2), aos poucos na betoneira. O tamanho da fibra foi escolhido de acordo com análise do trabalho Izquierdo (2011), que propõe um tamanho médio de 12cm para uma melhor resistência no caso de utilização do CP II-32. A porcentagem de fibra escolhida foi de 0,5%, segundo também análise do trabalho de Arruda Filho et al (2011). Os tijolos foram modelados em prensa manual e em tempo de cura de 7 dias em estufa. Foram moldados 3 tijolos para cada mistura proposta.



Figura 2. Tijolo em prensa manual

4. RESULTADOS

4.1 Caracterização do solo escolhido

Os resultados do ensaio de granulometria do solo, apresentados na Tabela 2, permitem concluir que o solo apresenta maiores proporções de material arenoso na mistura. A utilização do defloculante proporciona a separação dos materiais mais finos, os siltes das argilas. As curvas dos solo com e sem defloculante (Tabela 1 e Figura 3) mostram de uma maneira mais clara qual é a maior proporção de partículas dos solos, se mais fino ou grosso, com este resultado pode-se perceber que se o solo se apresentar mais fino, ele tem mais argila e silte na mistura e se não mais material arenoso. Observa-se que com o defloculante há maior proporção de material fino (menores diâmetros).

Tabela 1. Porcentagem granulométrica

Tipo de Solo	% constituinte
Pedregulho Grosso (20mm <d<60)	0,0
Pedregulho Médio (6mm<d<20mm)	7,9
Pedregulho Fino (2mm<d<6mm)	10,9
Areia Grossa (0,6mm<d<2mm)	13,4
Areia Média (0,2mm<d<0,6mm)	30,5
Areia Fina (0,06mm<d<0,2mm)	26,3
Silte (0,02mm<d<0,06mm)	10,5
Argila (d<0,002mm)	0,4

Tabela 2. Porcentagem com e sem defloculante

Com Defloculante		Sem Defloculante	
d (mm)	% Passa	d (mm)	% Passa
50,80	100,0	50,80	100,0
38,10	100,0	38,10	100,0
25,40	100,0	25,40	100,0
19,10	100,0	19,10	100,0
9,52	97,0	9,52	100,0
4,76	93,4	4,76	100,0
2,00	84,2	2,00	100,0

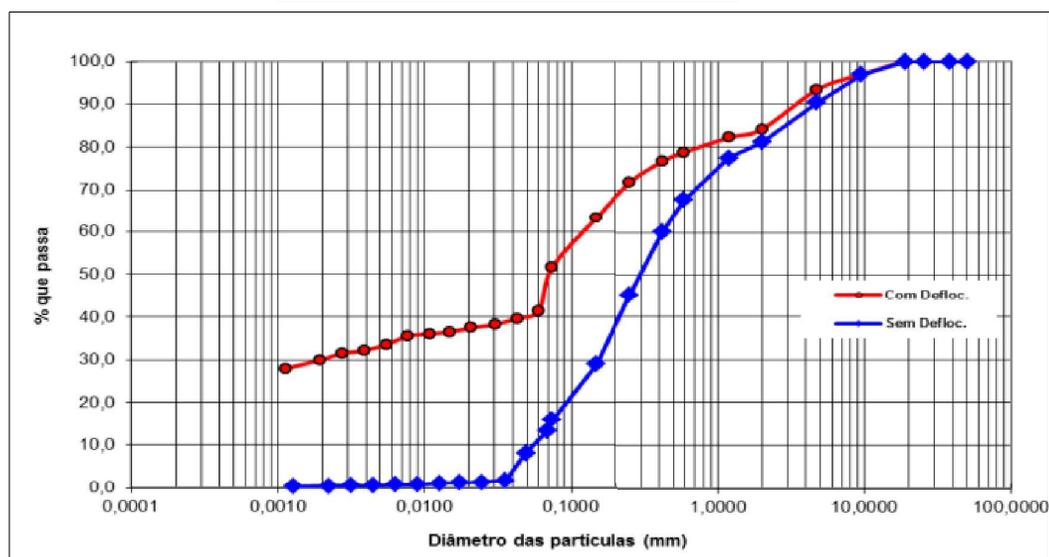


Figura 3. Curva granulométrica do solo com e sem defloculante

4.2 Resistência a compressão dos tijolos

A norma NBR 10834 exige que, para os tijolos de solo-cimento, a média não seja inferior a 2 MPa e apresentar valor individual menor ou igual a 1,7 MPa. Os resultados apresentados nas Tabelas 3 a 5 referente aos tijolos confeccionados, nos traços 1:8 e 1:6, curados do lado de fora da câmara úmida num ambiente coberto, capeados e imersos na água por 24 horas, segundo norma, e rompidos por inteiros. Para estas misturas as resistências alcançadas atenderam as exigências da norma técnica. (Fig. 4 e 5)



Figura 4. Tijolo em prensa



Figura 5. Tijolo 1 rompido.

As misturas de solo com o CP III nos traços 1:8 e 1:6 (Tabelas 4 e 5), apresentaram resistência mecânica também conforme exigências da Norma técnica.

Tabela 3. "Tensão Máxima (mPa) para tijolo solo-cimento convencional - Traço 1:8" e 1:6"

Traço 1:8	Força Máxima (kN)	Tensão Máxima (mPa)	Rompimento (dias)
1	58,37	1,8	
2	58,65	1,8	
3	74,97	2,3	21
4	77,06	2,4	
5	66,05	2,1	
6	69,46	2,2	
7	71,37	2,2	28
8	70,95	2,2	
Traço 1:6	Força Máxima (kN)	Tensão Máxima (mPa)	Rompimento (dias)
1	88,41	2,8	
2	102,89	3,2	21
3	86,86	2,7	
4	90,48	2,8	
5	93,11	2,9	28
6	106,74	3,3	

Tabela 4. “Tensão Máxima (MPa) para tijolo solo-cimento “verde” - Traço 1:8”

Traço 1:8	Força Máxima (kN)	Tensão Máxima (mPa)	Rompimento (dias)
1	83,10	2,6	21
2	78,07	2,5	
3	66,68	2,1	28
4	61,35	1,9	

Tabela 5. “Tensão Máxima (MPa) para tijolo solo-cimento “verde” - Traço 1:6”

Traço 1:6	Força Máxima (kN)	Tensão Máxima (mPa)	Rompimento (dias)
1	72,26	2,3	21
2	67,05	2,1	
3	61,66	1,9	
4	73,03	2,3	28
5	68,93	2,1	
6	57,34	1,8	

Os resultados dos ensaios de tensão de tijolos de traço 1:8 com fibra de 5,0, 10 e 20mm, são apresentados na Tabela 6, e mostram que com o aumento do tamanho da fibra de 5,0 para 10 e 20mm, a tensão máxima diminuiu. Para o traço de 1:6 nas mesmas condições de quantidade de fibra em variados tamanhos (5,0, 10 e 20mm) o comportamento em relação a resistência dos tijolos foi similar ao observado para o caso do traço 1:8 (Tabela 7).

Tabela 6. “Tensão Máxima (MPa) para tijolo solo-cimento “verde” com adição de fibra de sisal (5 mm, 10 mm e 20 mm) - Traço 1:8”

Traço 1:8(5mm)	Força Máxima (kN)	Tensão Máxima (mPa)	Rompimento (dias)
1	67,35	2,1	21
2	66,9	2,1	
3	49,43	1,5	28
4	78,18	2,4	
Traço 1:8(10mm)	Força Máxima (kN)	Tensão Máxima (mPa)	Rompimento (dias)
1	46,50	1,4	21
2	46,89	1,4	
3	51,89	1,6	28
4	53,89	1,7	
Traço 1:8(20mm)	Força Máxima (kN)	Tensão Máxima (mPa)	Rompimento (dias)
1	54,37	1,7	21
2	61,40	1,9	
3	60,70	1,9	
4	62,36	1,9	28
5	56,33	1,7	
6	55,51	1,7	

Tabela 7. “Tensão Máxima (mPa) para tijolo solo-cimento “verde” com adição de fibra de sisal (5 mm, 10 mm e 20 mm) - Traço 1:6”

Traço 1:6(5mm)	Força Máxima (kN)	Tensão Máxima (mPa)	Rompimento (dias)
1	69,87	2,2	21
2	78,42	2,4	

3	76,97	2,4	
4	37,84	1,2	
5	46,24	1,4	28
6	69,79	2,2	
7	72,50	2,3	
Traço 1:6(10mm)	Força Máxima (kN)	Tensão Máxima (mPa)	Rompimento (dias)
1	43,39	1,3	21
2	47,42	1,5	
3	37,05	1,1	28
4	41,28	1,3	
Traço 1:6(20mm)	Força Máxima (kN)	Tensão Máxima (mPa)	Rompimento (dias)
1	43,15	1,3	
2	41,30	1,3	21
3	44,52	1,4	
4	45,81	1,4	
5	43,02	1,3	28
6	40,09	1,2	
7	34,07	1,0	

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com as figuras 6, 7 e 8 os resultados com cimento CPIII para 21 dias foram os mais satisfatórios, no entanto essa resistência diminuiu com o passar dos dias, isso ocorreu também com a adição da fibra. Aos 28 dias a resistência do tijolo com cimento CP III foi em torno de 7% a menos que o tijolo confeccionado com cimento CII - 32.

Figura 6. Relação de resistências em KN e as misturas com cimento CII-32, CP III e CPIII com fibra de 5,0mm

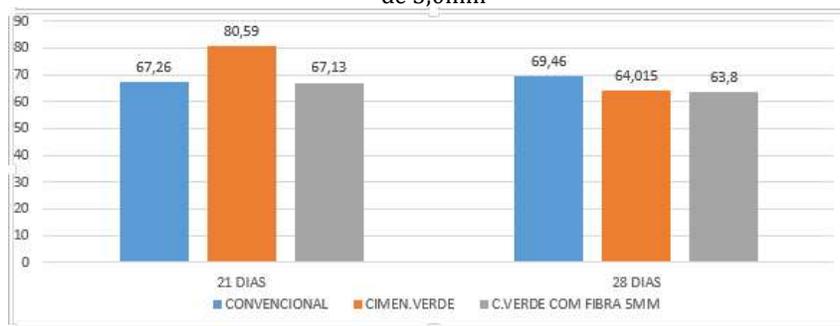
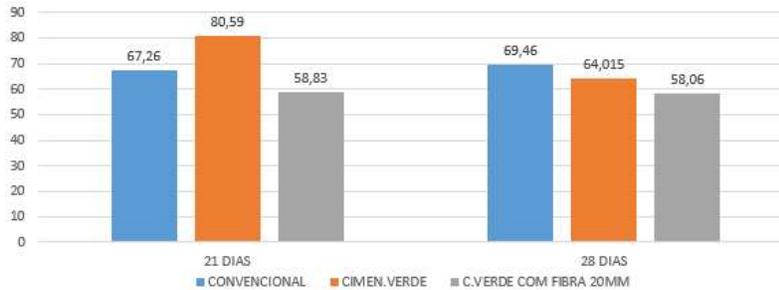


Figura 7. Relação de resistências em KN e as misturas com cimento CII-32, CP III e CPIII com fibra de 10,0mm



Figura 8. Relação de resistências em KN e as misturas com cimento CII-32, CP III e CIII com fibra de 10,0mm



Já os resultados apresentados para o cimento CIII - cura de 28 dias- foram os mais satisfatórios, porém com a adição da fibra de 5,0mm os resultados foram melhores do que os observados para o traço 1:8 com o mesmo tamanho de fibra. Isso é positivo porque com menos cimento e fibras menores tem-se maior resistência aos 21 dias. E ainda, para o traço em estudo (1:6) com o aumento do tamanho da fibra ocorreu a diminuição da resistência dos tijolos. (Figuras 9, 10 e 11)

Figura 9. Relação de resistências em KN e as misturas com cimento CII-32, CP III e CIII com fibra de 5,0mm (Traço 1:6)

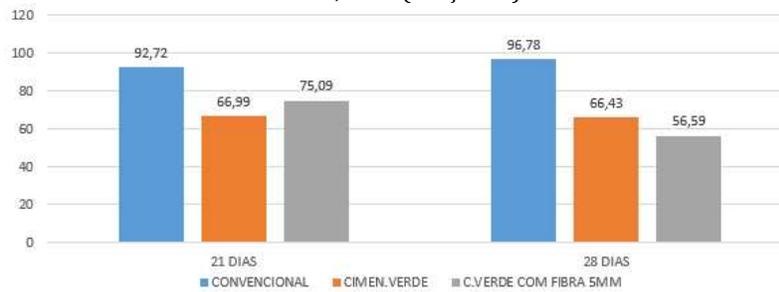


Figura 10. Relação de resistências em KN e as misturas com cimento CII-32, CP III e CIII com fibra de 10,0mm (Traço 1:6)

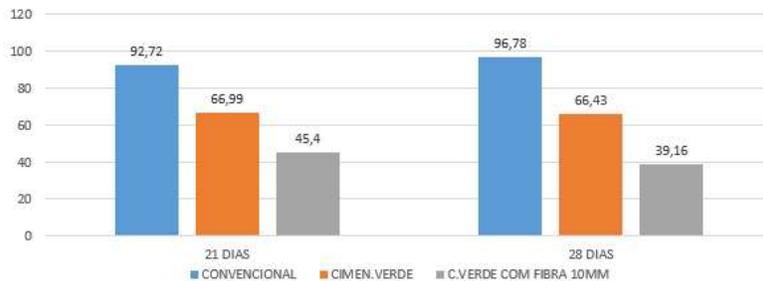
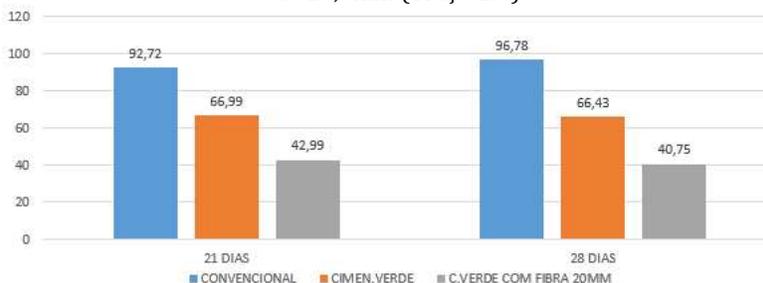


Figura 11. Relação de resistências em KN e as misturas com cimento CII-32, CP III e CIII com fibra de 20,0mm (Traço 1:6)



6. CONCLUSÃO

Mediante a análise dos resultados, pode-se afirmar que o uso do cimento CP-III aumentou a resistência dos tijolos de terra crua, sendo assim, essa pesquisa foi bastante satisfatória, pois a utilização segura de materiais menos poluentes somente acontecerá com confiança após as pesquisas com tais materiais. Sabe-se a importância e necessidade de melhores técnicas com custo/benefício apropriados, porém em torno deste conceito, ainda é preciso buscar soluções sustentáveis. O uso do solo misturado a um tipo de cimento menos poluente, com desempenho no que diz respeito a resistência igual ou melhor que o uso de um cimento mais poluente é sem dúvida uma resposta importante nas soluções que visam misturas de solo e cimento. Quanto a adição da fibra de sisal ao traço de solo e cimento “verde”, percebeu-se que ocorreu apenas o aumento no volume da mistura, em comparação aos tijolos solo-cimento CIII-32 sem fibra. Para este caso, a intenção era a melhora da resistência dos tijolos, porém como o cimento utilizado foi o CP III, acredita-se que alguma propriedade deste material pode ter alterado este resultado. No entanto, foi válido levantar esses resultados para que assim não se tenha dúvida do desempenho quanto ao comportamento de uma mistura aos moldes desta pesquisa.

Enfim, em avaliação aos objetivos propostos nesta pesquisa, percebeu-se que as eficiências mecânicas dos tijolos estabilizados com cimento convencional foram muito próximas aos estabilizados com cimento “verde”, porém a segunda solução é mais viável devido a necessidade de atender aos critérios de sustentabilidade, principalmente no aspecto ambiental. Quanto aos traços ideais, para que o desempenho de novas pesquisas seja satisfatório, o tipo de solo deve ser o mais próximo possível do escolhido neste trabalho devido a heterogeneidade do material. Todavia, não existe um traço ideal para estudos com solos, devido às diversas características destes materiais que mudam de local para local. Pode se usar um norteador, como o desta pesquisa, sempre atentando-se para as características intrínsecas de cada solo, que altera os resultados de eficiência mecânica destes materiais, mesmo quando estabilizados.

REFERÊNCIAS

- ABIKO, A., K. *Tecnologias Apropriadas: Tijolos e Paredes Monolíticas de Solo-Cimento*. Dissertação (de Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1980. Consultado em: 14.04.2014
- BARBOSA, N. P., MATTONE, R. com Terra Crua. I Seminário Ibero Americano de Construção com Terra, 2002. Consultado em: 15.02.2014
- FILHO, N.A, DANTAS, C, P, LEAL, A, F., BARBOSA, N, P, SILVA, G, C, MAVINIEUX V. A.. Resistência mecânica de compósitos cimentícios leves utilizando resíduos industriais e fibras de sisal, 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662012000800012&script=sci_arttext. Consultado em: 15.02.2015
- BATISTA, A. F. Fibras Naturais. Casa do Produtor Rural – ESALQ/USP. Piracicaba, 2009. Disponível em: <http://agro.unitau.br:8080/dspace/bitstream/2315/187/1/CR+677+Fibras+naturais+++Utiliza%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Consultado em 13.04.2014
- CODETEC – Unicamp. Considerações sobre Tecnologia Apropriada. Campinas, 1979. Darrow, K., Pam, R. *Appropriate Technology Sourcebook*. Volunteers in Asia Publications, 1976. Consultado em: 13.04.2015
- COTESI DO BRASIL Com Ind de Fios e Participações Ltda. Conceição do Coité – BA. Disponível em: <http://www.cotesi.com.br/sisal.html>. Consultado em 13.04.2014
- IZQUIERDO, Indara Soto “Uso de fibra natural de sisal em blocos de concreto para alvenaria estrutural”, 2011. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-05042011-164738/pt-br.php> Consultado em 13.03.2015
- USP. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. AGENCIA USP DE NOTÍCIAS. 2013. Disponível em: <http://www.usp.br/agen/?p=134582>. Consultado em: 31/03/2014
- VARGAS, M. Para uma Filosofia da Tecnologia. Editora Alfa Omega, São Paulo, 1994. Consultado em: 15.05.2014