

Tijolo ecológico fabricado com resíduos de pet



<https://doi.org/10.56238/tecnolocienagrariabiosoci-005>

Antônio C. Marangoni

Departamento de Ciências Exatas, Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG

E-mail: antonio.marangoni@uemg.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9463-9830>

Rafael J. Marangoni

Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo - USP, e-mail:

E-mail: rafaeljmarangoni@usp.br

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3560-2691>

Omar J. de Lima

Departamento de Ciências Exatas, Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG

E-mail: omar.lima@uemg.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5230-440X>

RESUMO

Este trabalho visa à fabricação de tijolos modulares composto de uma mistura ternária de solo, cimento e resíduos de garrafa PET. O objetivo é fabricar tijolos de forma ecológica, com a reutilização de

resíduos PET. Foi utilizado solo proveniente da cidade de Franca-SP, cimento CP V ARI e PET triturado. Para a determinação de um traço homogêneo estudou-se a inclusão de diferentes teores do resíduo (3,5%; 5,5% e 7,5%), estes foram prensados em uma prensa hidráulica ECO BRAVA, com a finalidade de obter uma ótima compactação, visando melhor desempenho na fabricação dos tijolos, a cura se deu por meio de molha aspersão manual e ocorreu em local coberto, protegido da chuva, sol e do vento excessivo para que a umidade contida no tijolo não evapora-se prematuramente, todas as peças confeccionadas foram submetidas a ensaios de compressão simples e absorção de água, no decorrer do trabalho avaliamos a resistência de cada traço e chegamos à conclusão de que a melhor dosagem foi na inclusão de 3,5% de resíduos PET no tijolo, contudo os outros traços também atendem as normas de fabricação. Esta pesquisa permite relacionar a construção sustentável e o reaproveitamento de resíduos industriais, com isso os resultados comprovaram a eficiência da utilização e do direcionamento destes resíduos.

Palavras-chave: Solo-cimento, PET, Tijolos modulares.

1 INTRODUÇÃO

Baseado na necessidade de um novo conceito de preservação ambiental, desenvolvemos este trabalho com intuito de analisar tijolos fabricados a partir de misturas ternárias solo, cimento e PET, tendo por finalidade obter um material que equilibre suas resistências mecânicas, (compressão simples e absorção de água) aos tijolos tradicionais, a partir da obtenção de solo com características compatíveis a necessidade de sua fabricação, oferecendo maior durabilidade aliado ao seu processo de cura que é de irrigação manual num período de sete dias seguintes a sua fabricação, respeitando as necessidades ambientais comparadas a outros métodos de fabricação, utilizando ideal dosagem de resíduos sólidos triturado e peneirado. Relacionada à questão do material e abrangendo o assunto, verifica – se total necessidade do setor da construção civil, sob um fator que justifica tal pesquisa.

Em função de seu baixo custo e impacto ambiental ameno, verifica-se a necessidade por novas soluções construtivas, bem como a busca pelo desenvolvimento sustentável e materiais derivados de



resíduos sólidos, além da confecção de novas ferramentas para otimizar o desperdício em canteiros de obras, conscientizando colaboradores diretamente interligados a este processo, e segue como grande desafio para engenheiros, arquitetos, especialista no assunto e a própria sociedade que está envolvida na necessidade da descoberta por novos materiais.

O principal objetivo atribuído a esse sistema construtivo é viabilizar os processos de fabricação, com um custo inferior as demais obras de mesma proporção, estabelecendo qualidade visual às novas arquiteturas e benefício ambiental e social.

Comprovando sua eficiência o solo é um material apropriado as mais diversas aplicações em construções, devida sua abundância e facilidade de obtenção, podendo ser empregado em soluções arquitetônicas relatadas ao longo da história que por sua vez preserva estabilidade estrutural e cultural.

O tijolo pode ser considerado o componente pré-moldado mais antigo e mais empregado, utilizado no ramo da construção civil, já que sua evolução se deu a partir dos blocos de barro secos ao sol, obtidos a partir da queima de argila com isso surgiu várias tipologias derivadas do solo.

Assim o uso de tijolos solo-cimento que são confeccionados em prensas hidráulicas aparece como solução viável de aplicação através de técnica simples e está em total conformidade com os descritivos informados nesta introdução, permite desenvolvimento de componentes e sistemas construtivos, que faz um diferencial simples e efetivo neste seguimento, em sequência verifica – se algumas vantagens:

- Eficiência construtiva, já que os tijolos são encaixados e utilizam pouca argamassa ao serem assentados;
- Sistema modular desenvolvido com furos internos, permitindo a passagem de tubulações e treliças;
- Menor impacto ambiental, pois dispensa a queima;
- Quando fabricado no local de execução da obra fica descartado o custo com logística, obtendo – se uma considerável economia no transporte;
- Utilização de resíduos sólidos, que seria descartado sem utilização no meio ambiente.

Contudo pesquisar e compreender este experimento pode indicar novos rumos à construção civil nacional, já que esta boa prática tende a crescer, com base no conceito de busca por novas tecnologias voltadas a carência de preservação ambiental, redução de custo e sustentabilidade.

Partindo do princípio dos fatores mencionados anteriormente, o principal objetivo desta pesquisa foi analisar a resistência na inserção do material PET junto à construção do tijolo solo-cimento, tendo como parâmetro as normas referentes à confecção dele, além da viabilidade de sua execução e benefícios ecologicamente favoráveis.



2 O SOLO

Pode ser definido exclusivamente como um material extraído da camada superficial da terra podendo ser facilmente desagregável, contém em suas propriedades diversos minerais, alguns sob forma de areia (partículas pequenas, duras e resistente) outros sob forma de argila (silicatos hidratados de alumínio, da qual o barro é constituídos) e alguns sob a forma de silte (partículas de proporções mais fina que areia e que geralmente são sedimentadas sob forma de camadas pulverizadas) CEBRACE (1981). Devido sua origem e formação os solos podem ou não apresentar algum tipo de material orgânico, mas na aplicação solo-cimento é interessante dar preferência as composições na qual o material orgânico esteja ausente.

Em algumas regiões conforme publicação os solos simplesmente recebem o nome de terra ou terra crua e isso é um equívoco, já que o termo técnico apropriado para tal referência é solo.

Devido à ampla diversidade dos solos existentes, somente alguns tipos podem ser utilizados nas construções solo-cimento, sendo assim é de extrema importância escolher corretamente o solo para uso nos ensaios granulométricos, dessa forma o solo deve apresentar algumas características básicas, ser facilmente desagregável e que contenha grãos com tamanhos de mesma proporção.

Os solos que contêm frações de argila ou silte são desaconselháveis, este primeiro mesmo sendo um componente importante em função das suas propriedades aglomerantes, apresenta boa resistência inicial de material, mas pode sofrer trincas, fissuras e rachaduras após secagem em consequência de uma retração, além de reduzir sua resistência. A fração argilosa (fração fina), que está presente nos componentes de um solo é a principal responsável pelo preparo da mistura antes de ser prensado e em função da resistência mecânica de um tijolo após sua conformação.

É possível encontrar uma distribuição granulométrica na fração arenosa, proporcionando assim alta densidade no processo de prensagem da mistura e este se torna responsável pela redução ou não teor do cimento, além das propriedades mecânicas do tijolo SUPERTOR (1989).

Por ser um material inerte a areia caracteriza-se em função de sua boa resistência e contribui para uma melhor estabilidade. Segundo H.R.B método de classificação do solo, este solo pertence ao tipo A 2 – 4.



Quadro 1 - Classificação H.R.B (Highway Research Board) ou A.A.S.H.O. (American Association State Highway Officials)

Tabela 3.01: Classificação TRB – AASHTO (DNER, 1996).

| CLASSIFICAÇÃO GERAL | MATERIAIS GRANULARES (35% OU MENOS PASSANDO NA PENEIRA Nº. 200) | | | | | | | MATERIAIS SILTO-ARGILOSOS (MAIS DE 35% PASSANDO NA PENEIRA Nº. 200) | | | |
|---|--|-----------|------------|--|-----------|-----------|-----------|--|---------|-----------------|---------------------------------|
| | A - 1 | | A - 3 | A - 2 | | | | A - 4 | A - 5 | A - 6 | A - 7 A - 7 - 5 A - 7 - 6 |
| Classificação em Grupos | A - 1 - a | A - 1 - b | | A - 2 - 4 | A - 2 - 5 | A - 2 - 6 | A - 2 - 7 | | | | |
| Granulometria: % passando na peneira: Nº. 10 (2,0 mm.) Nº. 40 (0,42 mm.) Nº. 200 (0,074mm.) | 50 máx. | | 51 mín. | | | | | | | | |
| | 30 máx. | 30 máx. | 10 máx. | 35 máx. | 35 máx. | 35 máx. | 35 máx. | 36 mín. | 36 mín. | 36 mín. | 36 mín. |
| | 15 máx. | 25 máx. | 10 máx. | 35 máx. | 35 máx. | 35 máx. | 35 máx. | 36 mín. | 36 mín. | 36 mín. | 36 mín. |
| Característica da fração passando na peneira no. 40: Limite de Liquidez (%) Índice de Plasticidade (%) | | | | 40 máx. | 41 mín. | 40 máx. | 41 mín. | 40 máx. | 41 mín. | 40 máx. | 41 mín. |
| | 6 máx. | 6 máx. | NP | 10máx. | 10 máx. | 11 mín. | 11 mín. | 10 máx. | 10 máx. | 11 mín. | 11 mín. |
| Índice de Grupo (IG) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 máx. | 4 máx. | 8 máx. | 12 máx. | 16 máx. | 20 máx. |
| Materiais constituintes | Fragmentos de pedra, pedregulho fino e areia | | Areia fina | Pedregulhos ou areia siltosas ou argilosas | | | | Solos siltosos | | Solos argilosos | |
| Comportamento como subleito | Excelente a bom | | | | | | | Sofrível a mau | | | |

* O IP do grupo A - 7 - 5 é igual ou menor do que o LL menos 30; se maior será A - 7 - 6 .

Fonte: DNER

O Solo-cimento segundo a NBR 12254 (1990) é uma mistura homogênea de solo, cimento e água, quando compactada e após a cura úmida da mistura, resulta em um produto com características de alta resistência mecânica e excelente durabilidade.

Esta tecnologia vem se desenvolvendo a cada novo dia, tem por finalidade suprir boa parte das necessidades de instalações econômicas nas áreas suburbanas das regiões rurais do Brasil. No início dos anos 60 o solo-cimento passou a ser mais aplicado e estudado no mundo, segundo MERCADO (1990) após os anos 70 passou a ser objetivo de intensas pesquisas e estudos. As principais pesquisas foram realizadas na Associação Brasileira de Cimento Portland ABCP (1986), Centro de Pesquisas e Desenvolvimento do Estado da Bahia (CEPED) e pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). O uso do solo-cimento no Brasil vem desde 1948, contribuindo na satisfação de tais necessidades encontrando-se hoje bastante evoluída. Uma abordagem histórica do material e sua aplicação na fabricação de alvenarias com a adição de cimento ao solo permite obter uma mistura com as seguintes vantagens:

- Sua absorção e a perda de umidade não causam variações volumétricas nos produtos fabricados;
- Um material que não se deteriora quando está em contato com água;
- Aumento da sua resistência à compressão;
- Devido sua menor permeabilidade é mais durável.



3 FATORES QUE COMPROVAM E DEFINEM A QUALIDADE DA MISTURA SOLO-CIMENTO

Segundo GRANDE (2003) o método de mistura, o teor de cimento, o tipo de solo, compactação e a umidificação do solo, são os fatores principais na qualidade do solo-cimento. Com base nestes fatores o solo se destaca por oferecer maior influência, e se a sua quantidade for inferior a necessária, este produto não atenderá as normas pré estabelecidas para confecção do mesmo.

Sob os métodos de mistura vale salientar que existe uma quantidade de variáveis e parâmetros a serem esclarecidos e observados. As misturas efetuadas em laboratório tem elevada durabilidade e maior resistência em relação as misturas efetuadas nos canteiros de obra.

A resistência a compressão do material pode reduzir em até 50%, devido ao local em que é realizado a mistura, a eficiência dos equipamentos e as condições ambientais.

ABCP (1985) determina os procedimentos adequados para efetuar a produção de tijolos com mistura de solo-cimento, são eles:

- Manipulação correta do solo preparando este através de peneiramento destorroamento e pulverização;
- Manipulação correta da mistura executando a homogeneização de umidade e homogeneização seca;
- Execução da moldagem através de uso efetivo.

4 CIMENTO PORTLAND

Conforme dados fornecidos ABCP (1986) sobre referências do cimento, este se remonta por volta de 4.500 anos, porém o grande passo que culminou para seu desenvolvimento se deu em torno de 1756, onde um inglês chamado John Smeaton elaborou um produto contendo uma alta resistência obtida através da calcinação de calcários moles e argilosos. No ano de 1924 outro inglês denominado Joseph Aspdin efetuou uma queima entre pedras calcárias e argila, obtendo um pó fino, com isso ele observou que a secagem desta mistura não se dissolvia em água, a partir daí esta mistura foi patenteada no mesmo ano por seu construtor, denominou-se cimento Portland por apresentar propriedades, cor e durabilidades semelhantes a algumas rochas encontradas na ilha Britânica de Portland.

O cimento Portland é um produto constituído de alguns itens que quando moídos e calcinados se tornam um pó. Em sua fórmula está presente alguns componentes como a argila, minério de ferro e calcário, tem alta capacidade de aglomeração e quando misturado à água inicia um processo de hidratação ocorrida por consequência destes materiais, sofrem alterações causando endurecimento da mistura e o fator determinante para o endurecimento é o calor liberado durante o processo de hidratação.



Figura 1 - Processo de aglomeração do cimento



Fonte: www.revistaprisma.com.br

Em ABCP (1985) foi relatado, que por volta de 1888, o comendador Antônio Proost Rodovalho iniciou um trabalho de fabricação do cimento em uma fábrica instalada na fazenda de sua propriedade na cidade de Sorocaba – SP, suas tentativas foram em vão, mas o fracasso do empreendimento se deu em função da distância dos centros consumidores e não a qualidade do produto, já que a função da sua pequena produção, não tinha compatibilidade de mercado com outros cimentos importados da época, contudo de 1897 a 1904, Rodovalho operou sua empresa lançando o cimento com a marca Santo Antônio, Retornou em 1907, mas enfrentou problemas com qualidade e interrompeu suas atividades definitivamente em 1918.

Vários outros empreendedores fundaram outras fábricas ao longo do país na mesma época, porém culminaram em meras tentativas, até que em 1924 no bairro de Perus na cidade de São Paulo, criou – se a fábrica do cimento Portland, considerada um marco industrial do cimento Brasileiro, em 1926 foram produzidas as primeiras toneladas, mas o consumo de cimento em território nacional ainda era dominado por cimentos importados, que dominou mercado em algumas décadas seguintes e extinguiu – se nos dias atuais.

Atualmente o mercado de cimento nacional dispõe de vários tipos de cimento Portland e estes buscam atender as necessidades das obras civis devido sua utilização e sua variedade na composição, apresentamos a seguir alguns tipos:

- Cimento Portland Comum (CP I)
- Cimento Portland Composto (CP II)
- Cimento Portland de alto forno (CP III)
- Cimento Portland pozolânico (CP IV)
- Cimento Portland de alta resistência inicial (CPV-ARI)
- Cimento Portland resistente a sulfatos (CB RS)
- Cimento Portland para poços petrolíferos (CP - BC)



- Cimento Portland branco (CP B)

Seguindo referências da Votorantim¹ cimentos e NBR 5733, (1991) este cimento contém elevado teor de resistência inicial e desforma rápida, esta propriedade se deve a utilização da dosagem de argila na produção de clínquer e calcário, além de um processo de moagem bem mais fino, dessa forma quando reage à água o CPV ARI eleva suas resistências com uma maior velocidade de cura.

Este produto pode ser encontrado em embalagens de 40 e 50 quilos ou pode ser encontrado a granel.

Conforme ABCP (1985) este cimento é recomendado na fabricação preparo de argamassa e concreto e alguns artefatos de cimento em indústrias de pequeno e médio porte. Sua utilização esta direcionada a elementos arquitetônicos, pré-fabricados e pré-moldados, blocos para pavimentação, meio-fio, concreto de alto desempenho, postes, lajes, tubos e blocos para alvenaria.

Segundo ABCP (1985), O cimento CP V – ARI, supera e em muito os valores de resistência a compressão normativos com outros cimentos.

Basea-se em três etapas fundamentais a fabricação do cimento Portland, são elas:

- Mistura e moagem da matéria – prima (calcários, margas e brita de rochas);
- Produção do clínquer (forno rotativo a 1400° C + arrefecimento rápido);
- Moagem do clínquer e mistura utilizando gesso.

Resume-se num sentido amplo o processo de fabricação do cimento Portland nas seguintes fases:

- Extração de matéria – prima (calcário, argila e gipsita);
- Britagem (calcário);
- Moagem em seu estado cru da matéria – prima (calcário e argila – farinha de 0,15 mm);
- Moagem do cimento (clinker + gipsita + dentre outras substâncias);
- Dosagem (farinha de calcário e argila);
- Clinkerização;
- Armazenamento em silos.

Referência obtida em ABCP (1985) Baseado nas pesquisas e necessidade de aplicação para este trabalho o uso do cimento CPV-ARI foi determinado em função de suas características e aplicações e por atender a necessidade de construção de elementos pré-moldados de concreto e artefatos de cimento curados por aspersão de água. Os tijolos confeccionados com este produto exibem um maior índice de impermeabilidade, boa durabilidade e baixo índice de retração volumétrica, O cimento ocupa uma quantidade de 5% a 10% da massa do solo, para este experimento utilizamos 7,56% de cimento, ou seja, de um total de 75 kg, foi inserido 5,77 kg de cimento CP V- ARI.

¹ Fonte: <http://www.votorantimcimentos.com.br/htms-ptb/Produtos/Cimento.htm>



5 POLI TEREFALATO DE ETILENO (PET)

Segundo ABIPET (2011), o Poli Tereftalato de Etileno (PET) é um poliéster ou polímero termoplástico, surgiu nos estados unidos e posteriormente na Europa no início dos anos 70, chegou ao Brasil em 1988 e a partir de 1993 passou a ter forte expressão no mercado de embalagens, embora seja muito conhecido nos dias atuais através das garrafas plásticas, o material iniciou sua trajetória na indústria têxtil sendo o melhor e o mais resistente plástico usado na fabricação de garrafas, embalagens para refrigerantes, fracos, águas, sucos, óleos comestíveis, medicamentos, cosméticos, produtos de higiene e limpeza, destilados, isotônicos, cervejas entre outros.

Este material proporciona alta resistência mecânica a impactos e eficiente resistência química suportando o contato com agentes agressivos, possui excelente barreira contra gases e odores, por isso é capaz de conter os mais diversos produtos com total higiene e segurança, mantendo maior restrição do produto a ser consumido.

A embalagem de PET tem mostrado ser o recipiente ideal para indústrias de bebidas em todo o mundo, reduzindo custos de transporte e produção, evitando desperdícios em todas as fases do processo de produção e distribuição. Através dos benefícios proporcionados para a indústria e varejo, o PET oferece ao consumidor um produto selado, moderno e mais acessível, democratizando mercados e permitindo que todas as classes alcancem esta alta qualidade, tudo isso faz com que as embalagens de PET, seja uma alternativa moderna e eficiente, atendendo os anseios do consumidor respeitando as necessidades ambientais.

Atualmente a expansão da indústria recicladora está estabelecida por todo território nacional, demandando uma nova atividade de pesquisa, conhecido como Censo da Reciclagem de PET no Brasil, baseando em um estudo completo sobre este importante segmento industrial, gerador de empregos e que se destina adequadamente a uma grande quantidade de embalagens de PET pós-consumo. Através do censo, será possível ter um panorama completo sobre o universo de empresas dedicadas à reciclagem do PET, número de empregos gerados, demandas para o produto reciclado e concentrações geográficas.

A oitava edição do Censo aponta Crescimento de 4,25% na Reciclagem do PET nacional.



Quadro 2 - 8º censo da reciclagem de PET no Brasil



Fonte: ABIPET

Esta edição do Censo confirma a Reciclagem de PET como uma atividade em ascensão, foram coletadas cerca 294 mil toneladas de embalagens de PET, no ano de 2011. A correta destinação dessas garrafas foi garantida, sendo totalmente recicladas e utilizadas em novos produtos aqui mesmo, no Brasil.

Já em 2012 a reciclagem de embalagens de PET no Brasil, deu um salto e cresceu 12,6% em volume, passou de 294 mil toneladas em 2011 para 331 mil toneladas no ano passado. Com esse resultado, o País atingiu um índice de reciclagem de 59%, mantendo excelente posicionamento como um dos maiores recicladores de PET do mundo, superando os Estados Unidos e até mesmo a média registrada na Europa.

Estes números foram divulgados pela ABIPET durante o 9º censo da reciclagem do PET no Brasil que ocorreu nos dias 26 e 27 de junho de 2013, na cidade de São Paulo. Os números afirmam que existe grande demanda pelo PET reciclado.

Segundo o presidente da ABIPET Auri Marçon, o Brasil precisa investir em coleta seletiva para que a indústria não seja prejudicada. Em alguns períodos do ano as empresas recicladoras continuam com ociosidade chegando a 30 % de sua produção, pois não encontram embalagem pós-consumo para reciclar, uma solução encontrada seria a execução por parte das prefeituras em implantar coletas seletivas e separação de embalagens recicláveis, para elevar a recuperação de material reciclado.

As aplicações para o uso final do PET reciclado em 2012 foram:

- Têxteis 38,2 %;
- Resinas insaturadas e alquídicas 23,9 %;
- Embalagens de alimentos e não alimentos 18,3 %;
- Laminados de chapas 6,4 %;



- Fitas de arquear 5,5 %;
- Tubos 1,5 %;
- Outros 6,1 %.

A transformação do PET reciclado pode acontecer de maneiras diferentes dependendo do produto que irá ser fabricado com a matéria-prima reciclada. Vários setores da economia utilizam produtos que levam o material reciclado, desta forma estamos sempre em contato com algum item feito de PET reciclado.

- Casa: Roupas, cabides, travesseiros, mantas, tapetes, carpetes, bicho de pelúcia, cordas de varal, vassouras em todos eles existe PET reciclado.
- Comunicação: Alguns modelos de celular utiliza o PET reciclado.
- Construção civil: Caixas d'água, tubos, conexões, torneiras, piscinas, telhas, tintas e vernizes.
- Escritório: Réguas, relógio de parede, porta lápis e canetas.
- Indústria automobilística: Os carpetes dos carros nacionais são produzidos com 100 % de PET reciclado entre eles de destacam a forração do teto, tampa de bagageiro, para-choques e elementos aerodinâmicos.
- Material esportivo: Bolas, chuteiras, bancos de estádios, uniforme dos jogadores, redes do gol e no gramado utiliza-se uma manta para drenagem da água de chuva este produto é 100 % reciclado.
- Sinalização: Placas indicativas de direção, luminosos e sinalização horizontal.
- Transporte coletivo: Os bancos de ônibus, trens, metrô e a carenagem interna do metrô contém PET reciclado.

Segundo EXAME² (2012) ocorreu um importante avanço ambiental, surgindo a primeira garrafa PET no Brasil, sendo esta 100% reciclável. Esta tecnologia foi apresentada pelo Guaraná Antarctica, e teve como principal objetivo elevar os índices sobre a reciclagem no País. Contudo a garrafa PET independente de marca, modelo, formato ou fabricante pode ser reciclada.

Este tipo de produção tem como proporção cada cinco toneladas de PET recicladas, uma tonelada prensada pode representar uma quantia de aproximadamente 20.000 garrafas e isso faz com que seja liberado 30 m³ de área em aterros sanitários.

No ano de 2012 este projeto conseguiu reduzir 1,3 milhões de quilos deste material reciclado, e o fabricante já inseriu cerca de 50 milhões de garrafas PET 100% reciclada no mercado, isto equivale a 100 milhões de litros da bebida guaraná Antarctica.

² Fonte: <http://exame.abril.com.br/revista-exame/edicoes/1029/noticias/a-estrela-do-pet-verde>



6 MATERIAL E MÉTODOS

O solo utilizado na fabricação dos tijolos solo, cimento e PET foi coletado na cidade de Franca – SP e segundo classificação da Classificação H.R.B (Highway Research Board) ou A.A.S.H.O. (American Association State Highway Officials) trata – se de um solo A 2 - 4. Dentro da classificação as suas características geotécnicas são representativas dos solos existentes em mais de 50% da área do Estado de São Paulo e solos com características semelhantes ao A 2 - 4 também são encontrados nas áreas no centro sul do Brasil.

O cimento utilizado ao longo desta pesquisa foi o cimento Portland CPV-ARI. Sua escolha ocorreu devido as suas características atender as necessidades de cura mais rápida e melhor resistência aliado as suas peculiaridades. Por ser bastante utilizado na construção de elementos pré-moldados de concreto e artefatos de cimento, o CPV-ARI apresenta excelente grau de acabamento e os tijolos confeccionados com este produto são mais impermeáveis e com isso tem durabilidade maior que o restante, isto nos proporciona um tempo menor de cura quando comparado ao tradicional cimento Portland CP II.

Obteve-se o resíduo de PET através de uma empresa que coleta e recicla este material. Após a coleta os resíduos (garrafas) foram processados em um triturador de mandíbulas e peneirados em peneiras de malha quatro milímetro, visando obter um material granulado e uniforme como mostra a figura 2.

Figura 2 - Poli Tereftalato de Etileno (PET)



Fonte: Autores

A água utilizada na confecção dos tijolos foi coletada junto à rede de saneamento básico na cidade de Franca - SP.

Foram utilizados os seguintes equipamentos e aparelhos na fabricação do tijolo solo, cimento e PET e nos ensaios dos materiais e do tijolo, que estão especificados pela norma que fixa as condições exigíveis para a fabricação do mesmo a NBR 10833, (1989): balança, jogo de peneiras, estufa, jogo de cilindros, peneira, jogo de peneiras, estufa, jogo de cápsulas de alumínio, carriola, cápsula de porcelana



e soquete, régua, aparelho de casa grande e acessórios, tábua de vidro jateada, formas de aço e borrifador de água.

Para obter uma ótima homogeneização da mistura solo, cimento e o PET, após pesados foram inseridos em uma betoneira com capacidade de 400 litros executando a homogeneização e após a mistura foi efetuada a umidificação da mesma, assim obtemos uma ótima homogeneização e umidade ideal da mistura.

Na produção dos tijolos solo, cimento e PET, foi utilizada uma prensa hidráulica da marca Eco-máquinas, modelo eco-bravo, sua capacidade de compactação é de 6 toneladas segundo o fabricante, produz tijolos de encaixes universais vazados, suas dimensões apresentam-se em 12,5 cm de largura, 25 cm de comprimento e 7 cm de altura e sua capacidade de fabricação são de 1600 tijolos/dia.

Para os ensaios de compressão simples dos tijolos solo, cimento e PET, foi utilizada uma máquina universal da marca EMIC, modelo MCT 30/6, com capacidade de 300 kN.

Foram realizados ensaios laboratoriais para a caracterização do solo, resíduos do PET e as composições entre solo-resíduo e escolha de alguns traços envolvendo solo, cimento e PET.

Para fabricação do tijolo solo, cimento e PET, foram elaboradas três amostras, conforme descrito na tabela 1 a porcentagem de cada traço e os componentes utilizados na fabricação do tijolo solo, cimento e PET.

Tabela 1 - Porcentagem dos componentes do tijolo

| Porcentagem de Cada Item P/ Confeção do Tijolo | | | | |
|--|-------|-----------|--------|---------|
| Amostra | PET % | Cimento % | Solo % | TOTAL % |
| A3 | 3,5 | 7,56 | 88,94 | 100 |
| A5 | 5,5 | 7,56 | 86,94 | 100 |
| A7 | 7,5 | 7,56 | 84,94 | 100 |

Fonte: Autores

Foram seguidas rigorosamente as normas da ABNT, para a execução dos ensaios do solo, resíduos PET e do tijolo solo, cimento e PET, utilizando-se as seguintes normas NBR 6459 (1984), NBR 7170 (1983), NBR 7180 (1984), NBR 7181 (1984), NBR 7182 (1986), NBR 7217 (1987), NBR 10833 (1989) e NBR 12023 (1990).

A análise granulométrica do solo tem influência direta na qualidade e no custo da fabricação do tijolo solo-cimento, sendo mais indicados para sua confecção os solos com características arenosas, solos que contenham matéria orgânica não são indicados, pois estes podem prejudicar ou alterar a hidratação do cimento. Os ensaios para a determinação da composição granulométrica do solo e do resíduo em estudo foram realizados seguindo as indicações da NBR 7181 (1984) e NBR 7217 (1987).

Foi utilizado 500 gramas de solo para efetuar a análise granulométrica, o solo foi destorroado e peneirado em uma sequência de nove peneiras com granulações diferentes.



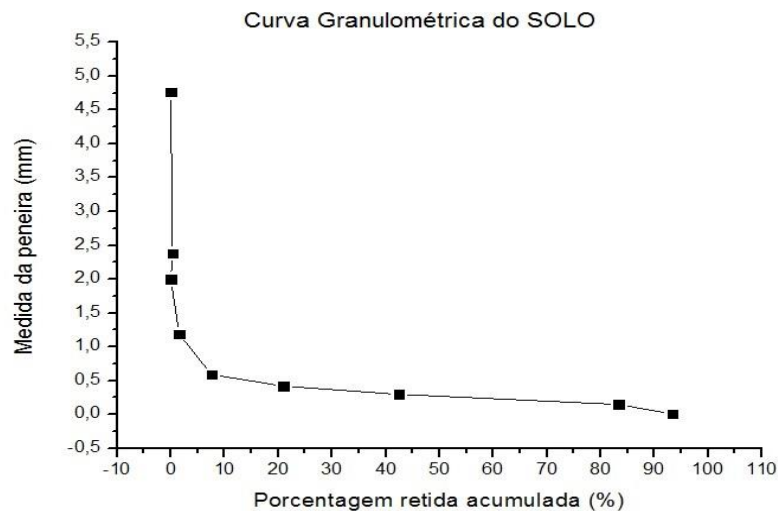
Para executar o peneiramento grosso do solo utilizou três peneiras de 4,76 - 2,38 e 2,00 mm e para o peneiramento fino do solo seis peneiras 1,19 – 0,59 – 0,42 – 0,297 – 0,149 e 0,074 mm, conforme tabela 2 e gráfico 1.

Tabela 2 - Análise granulométrica do solo

| DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA - NBR 77181 PENEIRAMENTO (SOLO) | | | | |
|---|------|--------|-------|--------------------|
| PENEIRA N° | PESO | RETIDO | % | % RETIDA ACUMULADA |
| 4 (4,76 mm) | 500 | 0 | 0 | 0 |
| 8 (2,38 mm) | 500 | 1,3 | 0,26 | 0,26 |
| 10 (2,00 mm) | 500 | 0 | 0 | 0 |
| 16 (1,19 mm) | 500 | 6,3 | 1,26 | 1,52 |
| 30 (0,59 mm) | 500 | 29,7 | 5,94 | 7,46 |
| 40 (0,42 mm) | 500 | 67,6 | 13,52 | 20,98 |
| 50 (0,297 mm) | 500 | 107,3 | 21,46 | 42,44 |
| 100 (0,149mm) | 500 | 204,7 | 40,94 | 83,38 |
| 200 (0,074 mm) | 500 | 49,7 | 9,94 | 93,32 |
| PRATO | | 33,4 | 6,68 | 100 |

Fonte: Autores

Gráfico 1 - Curva granulométrica do solo



Fonte: Autores

A norma NBR 7182 (1986) prescreve o método para determinar a relação entre o teor de umidade e a massa específica de solos quando compactados de acordo com os processos especificados. A umidade ótima é um parâmetro muito importante nos trabalhos realizados com solos, pois propicia melhores condições de trabalho e máxima compactação do material, proporcionando maiores valores de densidade, resistência e certamente maior durabilidade. Segundo Grande (2003) o teor de umidade é muito importante quanto à porcentagem de cimento, pois exerce grande influência nas características



de resistência física e de absorção de água. Os ensaios de compactação foram realizados em conformidade com as normas NBR 7182, (1986) e NBR 12023, (1992).

Para efetuar o ensaio de compactação foram utilizados 4 kg de solo destorroado totalizando quatro amostras e aproximadamente 8% de água p/ cada, cerca de 320 ml. Para este procedimento usou – se um cilindro pequeno e soquete, o solo foi compactado no interior do cilindro aplicando 26 golpes por camada, dividido em três camadas iguais.

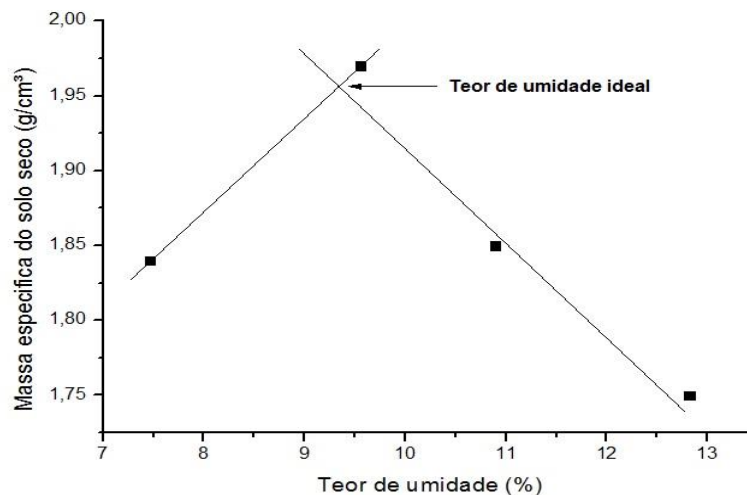
Ao final dos procedimentos, as quatro amostras criadas foram inseridas em uma estufa com temperatura aproximada de 110°C deixado em repouso por um período de 24 h e ao término deste período concluiu – se que o solo é do tipo A 2- 4, segundo o método de classificação H.R.B, resultados na tabela 3 e gráfico 2.

Tabela 3 - Ensaio de compactação do solo e teor de umidade

| ENSAIO DE COMPACTAÇÃO DE SOLOS | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|
| COMPACTAÇÃO | | | | |
| Amostra | 01 | 02 | 03 | 04 |
| Cilindro nº | 11348 | 11348 | 11348 | 11348 |
| Volume do cilindro - VC (cm ³) | 993,8 | 993,8 | 993,8 | 993,8 |
| Tara do cilindro - Tc (g) | 2130 | 2130 | 2130 | 2130 |
| Massa do cilindro + solo úmido - Mch (g) | 4095 | 4275 | 4180 | 4170 |
| Massa do solo úmido - Mh= Mch-Tc (g) | 1,965 | 2,145 | 2,05 | 1,958 |
| Massa espec. do solo úmido - p= Mh/Vc (g/cm ³) | 1,98 | 2,16 | 2,06 | 1,97 |
| Massa espec. do solo seco - ps= ph*FC (g/cm ³) | 1,84 | 1,97 | 1,85 | 1,75 |
| TEOR DE UMIDADE | | | | |
| Cápsulas nº | 250 | 258 | 269 | 409 |
| Cápsulas c/ solo úmido → Csh (g) | 81,9 | 79,5 | 81 | 69 |
| Cápsulas c/ solo seco → Css (g) | 79,2 | 76,1 | 77,2 | 64,7 |
| Massa da água → Ma = Csh-Css(g) | 2,7 | 3,4 | 3,8 | 4,5 |
| Tara da cápsula → Tca (g) | 43 | 40,5 | 42,3 | 29,6 |
| Massa do solo seco → Ms = Css - Tca | 36,2 | 35,6 | 34,9 | 35,1 |
| Teor de umidade → H%=(Ma.100) / Ms (g) | 7,46 | 9,55 | 10,89 | 12,82 |
| Fator de correção → FC = 100 q (100+H%) | 0,93 | 0,91 | 0,9 | 0,89 |

Fonte: Autores

Gráfico 2 - Curva ensaio de compactação do solo



Fonte: Autores



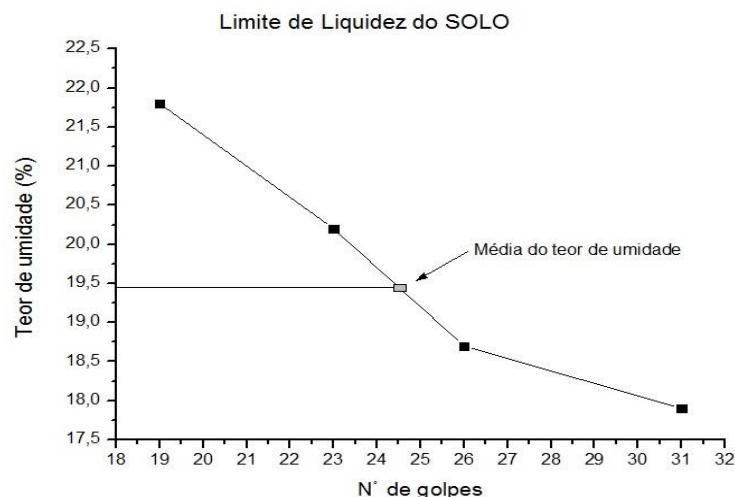
Atterberg, (1911) relata os limites de plasticidade e liquidez que delimitam o intervalo de consistência do solo, em que o limite de plasticidade quantifica o teor de umidade do qual o solo passa de estado plástico para o estado semissólido, desse modo este solo não pode ser moldado e passa a ser quebradiço, já o limite de Liquidez é a quantidade de umidade do solo quando este muda do estado líquido para o estado plástico, momento em que perde sua capacidade de fluir. Então ambas as mudanças ocorrem de forma gradual em função da variação de umidade, valores elevados podem dificultar a secagem e o destorroamento. A ABCP (1985) recomenda que o limite de liquidez seja inferior a 45% e que o índice de plasticidade seja inferior a 18%. Na determinação dos limites de consistência foram utilizadas as normas NBR 6459 (1984) e NBR 7180, (1984), os resultados estão expostos na tabela 4 e no gráfico 3.

Tabela 4 - Ensaio de consistência - Limite de liquidez

| Limite de Liquidez | | | | |
|--|------|------|------|------|
| Cápsulas nº | 500 | 505 | 510 | 514 |
| Cápsulas c/ solo úmido → Csh (g) | 48,3 | 45,8 | 43,7 | 53,3 |
| Cápsulas c/ solo seco → Css (g) | 45,0 | 43,2 | 41,7 | 50,0 |
| Massa da água → Ma = Csh-Css(g) | 3,3 | 2,6 | 2 | 3,3 |
| Tara da cápsula → Tca (g) | 26,6 | 29,3 | 31,8 | 31,6 |
| Massa do solo seco → Ms = Css - Tca | 18,4 | 13,9 | 9,9 | 15,1 |
| Teor de umidade → H%=(Ma.100) / Ms (g) | 17,9 | 18,7 | 20,2 | 21,8 |
| Número de golpes | 31,0 | 26,0 | 23,0 | 19,0 |

Fonte: Autores

Gráfico 3 - Curva do limite de liquidez do solo



Fonte: Autores

O limite de plasticidade foi determinante nas especificações conforme norma NBR 7170 (1984) e a partir dos valores encontrados pela média, os teores de umidade são correspondentes a alguns



cilindros de solos com dimensões e gabaritos acompanhando um determinado desvio de 5% em relação à média, conforme tabela 5.

Tabela 5 - Ensaio de consistência – Limite de plasticidade

| Limite de Plasticidade | | | | | |
|---|------|------|------|-------|-------|
| Cápsulas nº | 250 | 258 | 269 | 408 | 507 |
| Cápsulas c/ solo úmido → Csh (g) | 29,0 | 44,8 | 45,2 | 26,6 | 33,6 |
| Cápsulas c/ solo seco → C _{ss} (g) | 28,4 | 44,3 | 44,6 | 26,3 | 33,2 |
| Massa da água → Ma=C _{sh} -C _{ss} (g) | 0,6 | 0,5 | 0,6 | 0,3 | 0,4 |
| Tara da cápsula → Tca (g) | 24,2 | 40,5 | 40,5 | 24,2 | 30,6 |
| Massa do solo seco → Ms = C _{ss} - Tca | 4,2 | 4,1 | 4,1 | 2,1 | 2,6 |
| Teor de umidade → H%=(Ma.100) / Ms (g) | 14,3 | 14,6 | 14,6 | 14,29 | 15,38 |

Fonte: Autores

Limite de liquidez → LL = 19%

Limite de plasticidade → LP = 14%

Índice de plasticidade → IP = LL - LP → IP = 5%

Para análise do PET foi utilizada a NBR 7217 (1987), norma que determina a composição granulométrica de materiais agregados e suas normas complementares.

Foi utilizado 200 gramas de PET para efetuar a análise granulométrica do PET triturado e peneirado em uma sequência de nove peneiras com granulações diferentes. Para executar o peneiramento grosso do PET utilizou - se cinco peneiras de 38,1 – 19,1 – 9,52 – 4,76 e 2,38 mm e para o peneiramento fino do PET quatro peneiras de 1,19 – 0,59 – 0,297 e 0,149 mm, os resultados estão expostos na tabela 6 e no gráfico 4.

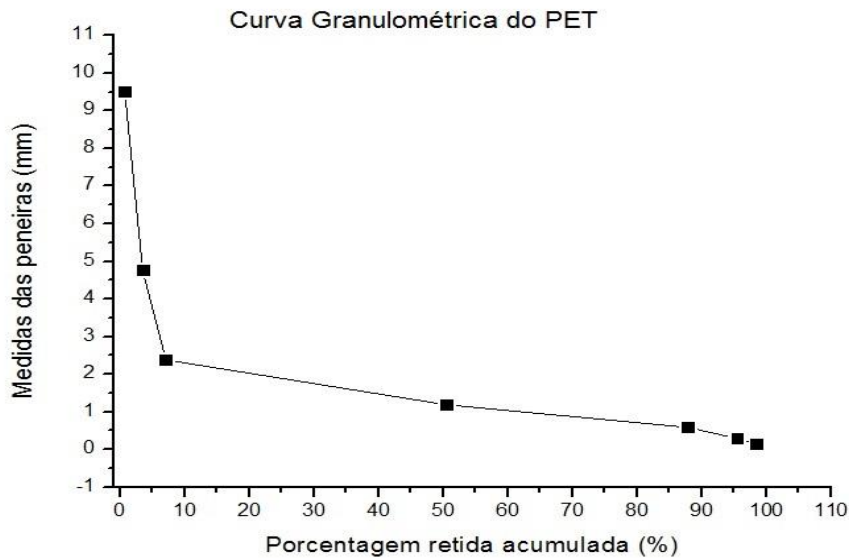
Tabela 6 - Análise granulométrica do PET

| DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA - NBR 7217 PENEIRAMENTO (PET) | | | | |
|---|---------------|--------|------|--------------------|
| PENEIRA Nº | PESO (Gramas) | RETIDO | % | % RETIDA ACUMULADA |
| 1.1/2" (38,1 mm) | 200 | 0 | 0 | 0 |
| 3/4" (19,10 mm) | 200 | 0 | 0 | 0 |
| 3/8" (9,52 mm) | 200 | 1,5 | 0,75 | 0,75 |
| 4 (4,76 mm) | 200 | 5,5 | 2,75 | 3,5 |
| 8 (2,38 mm) | 200 | 7,2 | 3,6 | 7,1 |
| 16 (1,19 mm) | 200 | 86,8 | 43,4 | 50,5 |
| 30 (0,59 mm) | 200 | 74,6 | 37,3 | 87,8 |
| 50 (0,297 mm) | 200 | 15,3 | 7,65 | 95,45 |
| 100 (0,149 mm) | 200 | 6 | 3 | 98,45 |
| PRATO | | 3,1 | 1,55 | 100 |

Fonte: Autores



Gráfico 4 - Curva granulométrica do PET



Fonte: Autores

Na etapa seguinte da pesquisa foram produzidos os tijolos para execução dos ensaios mecânicos, fabricados em três diferentes traços estudados de 3,5; 5,5 e 7,5 % de PET, o método de produção seguiu todas as especificações da norma NBR 10833 (1989), todos os materiais foram peneirados, separados e pesados em sacos plásticos em três lotes A3, A5 e A7, para melhor manuseio dos mesmos.

Utilizou-se uma prensa hidráulica modelo Eco-Brava para a produção dos tijolos com as seguintes dimensões 12,5 cm x 25 cm x 7 cm (largura x comprimento x espessura) que possui em encaixes para a amarração dos componentes na execução da alvenaria.

A mistura foi preparada através de uma betoneira que permitiu obter uma mistura mais homogênea e um teor de umidade ideal para prensagem dos tijolos.

Os tijolos foram manufacturados com cimento CP-V ARI, por ser um cimento mais fino e com maior quantidade de clínquer que contribuiu para melhoria do comportamento mecânico dos tijolos. Foram produzidos 100 tijolos, em três lotes com as mesmas dimensões de acordo com os procedimentos descritos na NBR 10833 (1989).

6.1 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E DA ABSORÇÃO DE ÁGUA DO TIJOLO

O ensaio de compressão simples foi realizado na máquina universal, como não existem normas para tijolos solo, cimento e PET, adotamos as seguintes normas NBR 10836 (1994) que trata da determinação à compressão em blocos vazados de solo-cimento sem função estrutural e a norma NBR 8492 (1984) trata da determinação de tijolos maciços de solo-cimento essas foram as normas utilizadas para os ensaios de compressão e absorção dos tijolos confeccionados.



Foram separadas 3 amostras contendo 13 tijolos para cada uma, todos os tijolos foram marcados de maneira a ser identificados, dos 13 tijolos, 10 tijolos foram utilizados no ensaio de compressão e 3 tijolos usado no ensaio de absorção de água.

Segundo NBR 8492 (1984) cortou - se o tijolo ao meio e perpendicular à sua maior dimensão, ligando-as com uma camada fina de pasta de cimento Portland de 2 a 3 mm de espessura, pré-contraída permanecendo em repouso aproximadamente de 30 minutos aguardando o endurecimento da pasta, após esta etapa executou – se o capeamento das faces com pasta de cimento Portland para regularizar a superfície dos tijolos, após o endurecimento da pasta os tijolos foram imersos em água por um período de 24 horas.

A norma NBR 10836 (1994) pede apenas o capeamento das faces dos tijolos e a imersão em água pelo mesmo período, após esse procedimento foram realizados os ensaios na máquina universal.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tijolos confeccionados com teor de 7,5% apresentaram uma pequena diferença na resistência mecânica comparado aos outros dois traços utilizado, os tijolos com teores menores mostram maior homogeneidade da mistura solo, cimento e PET, os traços de 3,5% e 5,5% de PET obtivemos um tijolo mais resistente, os resultados dos três traços atenderam a norma de fabricação NBR 10833, (1989) para o ensaio de compressão simples, cujos resultados estão discriminados nas tabelas 8, 9 e 10.

Tabela 8 - Resultados do ensaio de compressão - Amostra A3

| Determinação da resistência à compressão - Método de ensaio (NBR 8492) | | | | |
|---|---------------|----------------------------------|--|-------------------------|
| Amostra A3 | Carga (Kgf/s) | Área de seção (cm ²) | Tensão de Ruptura (Kgf/cm ²) | Tensão de Ruptura (MPa) |
| 1 | 10 | 156,25 | 3450 | 2,208 |
| 2 | 10 | 156,25 | 3300 | 2,112 |
| 3 | 10 | 156,25 | 3650 | 2,336 |
| 4 | 10 | 156,25 | 3550 | 2,272 |
| 5 | 10 | 156,25 | 3600 | 2,304 |
| 6 | 10 | 156,25 | 3550 | 2,272 |
| 7 | 10 | 156,25 | 3450 | 2,208 |
| 8 | 10 | 156,25 | 3700 | 2,368 |
| 9 | 10 | 156,25 | 3340 | 2,138 |
| 10 | 10 | 156,25 | 3710 | 2,374 |
| Determinação da resistência à compressão - Método de ensaio (NBR 10836) | | | | |
| Amostra A3 | Carga (Kgf/s) | Área de seção (cm ²) | Tensão de Ruptura (Kgf/cm ²) | Tensão de Ruptura (MPa) |
| 1 | 10 | 312,5 | 8550 | 2,736 |
| 2 | 10 | 312,5 | 8400 | 2,688 |
| 3 | 10 | 312,5 | 8380 | 2,682 |
| 4 | 10 | 312,5 | 8600 | 2,752 |
| 5 | 10 | 312,5 | 8540 | 2,733 |
| 6 | 10 | 312,5 | 8580 | 2,746 |
| 7 | 10 | 312,5 | 8400 | 2,688 |
| 8 | 10 | 312,5 | 8350 | 2,672 |
| 9 | 10 | 312,5 | 8280 | 2,650 |
| 10 | 10 | 312,5 | 8380 | 2,682 |

Fonte: Autores



Tabela 9 - Resultados do ensaio de compressão - Amostra A5

| Determinação da resistência à compressão - Método de ensaio (NBR 8492) | | | | |
|--|---------------|----------------------------------|--|-------------------------|
| Amostra A5 | Carga (Kgf/s) | Área de seção (cm ²) | Tensão de Ruptura (Kgf/cm ²) | Tensão de Ruptura (MPa) |
| 1 | 10 | 156,25 | 3300 | 2,112 |
| 2 | 10 | 156,25 | 3250 | 2,080 |
| 3 | 10 | 156,25 | 3410 | 2,182 |
| 4 | 10 | 156,25 | 3420 | 2,189 |
| 5 | 10 | 156,25 | 3200 | 2,048 |
| 6 | 10 | 156,25 | 3150 | 2,016 |
| 7 | 10 | 156,25 | 3240 | 2,074 |
| 8 | 10 | 156,25 | 3050 | 1,952 |
| 9 | 10 | 156,25 | 3180 | 2,035 |
| 10 | 10 | 156,25 | 3410 | 2,182 |

| Determinação da resistência à compressão - Método de ensaio (NBR 10836) | | | | |
|---|---------------|----------------------------------|--|-------------------------|
| Amostra A5 | Carga (Kgf/s) | Área de seção (cm ²) | Tensão de Ruptura (Kgf/cm ²) | Tensão de Ruptura (MPa) |
| 1 | 10 | 312,5 | 7850 | 2,512 |
| 2 | 10 | 312,5 | 6600 | 2,112 |
| 3 | 10 | 312,5 | 7500 | 2,400 |
| 4 | 10 | 312,5 | 7800 | 2,496 |
| 5 | 10 | 312,5 | 7940 | 2,541 |
| 6 | 10 | 312,5 | 8150 | 2,608 |
| 7 | 10 | 312,5 | 7840 | 2,509 |
| 8 | 10 | 312,5 | 6900 | 2,208 |
| 9 | 10 | 312,5 | 7730 | 2,474 |
| 10 | 10 | 312,5 | 6850 | 2,192 |

Fonte: Autores

Tabela 10 - Resultados do ensaio de compressão - Amostra A7

| Determinação da resistência à compressão - Método de ensaio (NBR 8492) | | | | |
|--|---------------|----------------------------------|--|-------------------------|
| Amostra A7 | Carga (Kgf/s) | Área de seção (cm ²) | Tensão de Ruptura (Kgf/cm ²) | Tensão de Ruptura (MPa) |
| 1 | 10 | 156,25 | 2950 | 1,888 |
| 2 | 10 | 156,25 | 3150 | 2,016 |
| 3 | 10 | 156,25 | 3250 | 2,080 |
| 4 | 10 | 156,25 | 2900 | 1,856 |
| 5 | 10 | 156,25 | 3300 | 2,112 |
| 6 | 10 | 156,25 | 3360 | 2,150 |
| 7 | 10 | 156,25 | 2950 | 1,888 |
| 8 | 10 | 156,25 | 3000 | 1,920 |
| 9 | 10 | 156,25 | 3150 | 2,016 |
| 10 | 10 | 156,25 | 3400 | 2,176 |

| Determinação da resistência à compressão - Método de ensaio (NBR 10836) | | | | |
|---|---------------|----------------------------------|--|-------------------------|
| Amostra A7 | Carga (Kgf/s) | Área de seção (cm ²) | Tensão de Ruptura (Kgf/cm ²) | Tensão de Ruptura (MPa) |
| 1 | 10 | 312,5 | 6950 | 2,224 |
| 2 | 10 | 312,5 | 7300 | 2,336 |
| 3 | 10 | 312,5 | 6180 | 1,978 |
| 4 | 10 | 312,5 | 6780 | 2,170 |
| 5 | 10 | 312,5 | 6930 | 2,218 |
| 6 | 10 | 312,5 | 7450 | 2,384 |
| 7 | 10 | 312,5 | 7880 | 2,522 |
| 8 | 10 | 312,5 | 6400 | 2,048 |
| 9 | 10 | 312,5 | 6250 | 2,000 |
| 10 | 10 | 312,5 | 6890 | 2,205 |

Fonte: Autores

7.1 RESISTÊNCIA À ABSORÇÃO DE ÁGUA

Segundo as normas NBR 8492 (1984) e NBR 10836 (1994) que determina a resistência à compressão e também à absorção de água de tijolos solo-cimento, seguimos os procedimentos pedidos



nas normas citadas acima para a execução do ensaio, separamos três amostras de cada traço denominadas A3, A5 e A7, tendo como sequência o seguinte procedimento:

- Os tijolos foram inseridos em uma estufa na qual sua temperatura oscilava entre 105 °C a 110 °C até constância da massa, obtendo-se a massa seca dos tijolos.
- Os tijolos foram imersos em um recipiente com água à temperatura ambiente por um período de 24 horas.
- Após a retirada da imersão, os corpos de prova foram enxugados com um pano úmido, antes de decorridos três minutos, a partir daí obtém-se a massa saturada em g.

Para calcular o valor da absorção em porcentagem utilizamos a seguinte equação do teor de umidade:

$$A\% = \frac{M1 - M2}{M1} \times 100$$

Fonte: NBR 10836 (1994)

A absorção média dos tijolos é obtida através da média dos valores individuais demonstrado na tabela abaixo:

Tabela 11 - Resultados do ensaio de absorção

| Amostra | M (Kg) | M1 (Kg) | M2 (Kg) | Água Absorvida (Kg) | Absorção de Água (%) | |
|---------|--------|---------|---------|---------------------|----------------------|-------|
| A3 | 1 | 3,020 | 2,810 | 3,307 | 0,497 | 17,68 |
| | 2 | 3,010 | 2,870 | 3,362 | 0,492 | 17,14 |
| | 3 | 2,990 | 2,790 | 3,291 | 0,501 | 17,95 |
| A5 | 1 | 3,010 | 2,780 | 3,302 | 0,522 | 18,77 |
| | 2 | 3,000 | 2,950 | 3,449 | 0,499 | 16,91 |
| | 3 | 3,04 | 2,890 | 3,410 | 0,520 | 17,99 |
| A7 | 1 | 3,010 | 2,860 | 3,385 | 0,525 | 18,35 |
| | 2 | 3,030 | 2,870 | 3,460 | 0,590 | 20,55 |
| | 3 | 3,050 | 2,880 | 3,417 | 0,537 | 18,64 |

Fonte: Autores

A tabela 11 demonstra os resultados do ensaio de absorção de água das três amostras, a norma pede que amostra ensaiada deva apresentar a média dos valores igual ou menor que 20% e para valores individuais igual ou menores que 22%, aos 28 dias de idade, as três amostras ensaiadas atendem a norma pois ficaram entre os valores que a norma exige, obtivemos os seguintes valores apresentados na tabela 12.



Tabela 12 - Média da absorção de água de cada traço

| Amostra | Nº | Absorção de Água (%) | Média (%) |
|---------|----|----------------------|-----------|
| A3 | 1 | 17,68 | 17,59 |
| | 2 | 17,14 | |
| | 3 | 17,95 | |
| A5 | 1 | 18,77 | 17,89 |
| | 2 | 16,91 | |
| | 3 | 17,99 | |
| A7 | 1 | 18,35 | 19,18 |
| | 2 | 20,55 | |
| | 3 | 18,64 | |

Fonte: Autores

8 CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi analisar o desempenho do material obtido a partir de garrafas PET descartável, que após ser triturada foi inserida ao tijolo solo-cimento, a partir desta mistura ternária sua fabricação foi executada utilizando uma prensa hidráulica de seis toneladas. Essa tecnologia possibilita correta análise científica para futuro desenvolvimento em sistemas de edificações.

Através de uma metodologia embasada em ensaios realizados em laboratório (análise granulométrica, ensaio de compactação, teor de umidade, limite de liquidez, limite de plasticidade e ensaio de absorção), foi possível chegar a resultados que permitem considerar a inserção d'água na mistura como fator preponderante. A quantidade de água inserida junto aos outros componentes (solo, cimento e PET) foi de suma importância para alcançar a consistência necessária. Nos primeiros ensaios utilizou-se 5 litros d'água para determinada proporção de solo, cimento e PET, após a prensagem observou-se que a consistência não havia atendido o esperado e o tijolo estava com umidade excessiva, dificultando até mesmo sua retirada do molde. Chegou-se a quantidade d'água ideal em 4 litros, para mesma quantidade de solo, cimento e PET.

Seguindo os rigorosos critérios das normas técnicas de fabricação de tijolos (ABNT), foi possível analisar a resistência mecânica obtida nos tijolos modulares solo, cimento e PET, contendo respectivamente 3,5%; 5,5% e 7,5% de resíduos de garrafa PET triturada.

A amostra A3 contendo 3,5% de resíduo PET triturado, demonstrou maior eficiência aos ensaios de ruptura dos tijolos.



REFERÊNCIAS

ABCP, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manual: prática recomendada. Publicação ABCP, São Paulo, 1985.

ABCP, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Solo-cimento na habitação popular. Publicação ABCP, 2 ed., 6p, São Paulo, 1995.

ABCP, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Dosagem das misturas de solo-cimento: normas de dosagem e métodos de ensaio. ABCP, São Paulo, SP, ET-35, 51p, 1986.

ABIPET, Associação Brasileira da Indústria do PET. Oitavo Censo da reciclagem do PET no Brasil Disponível em: <<http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarDownloads&categoria.id=3>>. Acesso em: 15 mai. 2013, 12:32:27.

ABIPET, Associação Brasileira da Indústria do PET. Nono Censo da reciclagem do PET no Brasil Disponível em: <<http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarDownloads&categoria.id=3>>. Acesso em: 10 jul. 2013, 19:57:32.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR 5733: Cimento Portland de alta resistência inicial: Especificação. Rio de Janeiro, 1991.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR 6459: Solo- Determinação do limite de liquidez: Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1884.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR 7170: Tijolo maciço cerâmico para alvenaria: Especificação. Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR 7180: Solo- Determinação do limite de plasticidade: Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR 7181: Solo- Análise granulométrica: Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR 7182: Solo- Ensaio de compactação: Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR 7217: Agregado - Determinação da composição granulométrica: Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR 8492: Tijolo maciço de solo-cimento determinação de resistência a compressão e da absorção d'água: Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR 10833: Fabricação de tijolo maciço e bloco vazado de solo-cimento com utilização de prensa hidráulica: Procedimento. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR 10836: Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural - Determinação da resistência à compressão simples: Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1994.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR 12023: Solo-cimento ensaio de compactação: Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR 12254: Execução de sub-base ou base de solo-cimento: Procedimento. Rio de Janeiro, 1990.

CEBRACE, CENTRO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÕES E EQUIPAMENTOS ESCOLARES. Solo-cimento na construção de escolas – SC01. 2ª ed. Rio de Janeiro, MEC/CEBRACE, 1981.

DNER ME 082/94, Solos – Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Ministério dos Transportes.

DNER ME 122/94, Solos – Determinação do Limite de Liquidez – Método de Referência e Método Expedido. Rio de Janeiro, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Ministério dos Transportes.

SUPERTOR, O tijolo de solo cimento. Catálogo de divulgação tecnológica. SUPERTOR – Máquinas e tecnologia em solo-cimento – Tijolos sem queima. (1989), Brasil.

GRANDE, F. M. (2003). Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa. São Carlos, 2003. 165 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

MERCADO, M. C. Solo-cimento: alguns aspectos referentes à sua produção e utilização em estudo de caso. São Paulo, 1990. 186 f. Dissertação (mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo.