

RECICLAGEM DO RESÍDUO PROVENIENTE DO SULFATO FERROSO HEPTAHIDRATADO EM TIJOLOS ECOLÓGICOS SOLO-CIMENTOS

RECYCLING OF RESIDUE FROM THE HEPTAHIDRATING FERROUS SULPHATE IN ECOLOGICAL BRICKS SOLO-CEMENTS

ANA LUIZA SIMONCELLO SILVA¹, INGRID CARVALHO PRIMO², JACKSON FRADE DE VASCONCELOS³, RAYLAN VINÍCIUS ALVES MARTINS⁴, ANA PAULA MARQUES DE OLIVEIRA MACHADO⁵, WILLIAM ARGOLO SALIBA^{6*}

1. Aluna do curso de graduação em Engenharia Química da Faculdade Única de Ipatinga; 2. Aluna do curso de graduação em Engenharia Química da Faculdade Única de Ipatinga; 3. Aluno do curso de graduação em Engenharia Química da Faculdade Única de Ipatinga; 4. Aluno do curso de graduação em Engenharia Química da Faculdade Única de Ipatinga; 5. Professora do curso de Engenharia Química da Faculdade Única de Ipatinga; 6. Professor do curso de Engenharia Química da Faculdade Única de Ipatinga.

* Rua Salermo 299, Bethânia, Ipatinga, Minas Gerais, Brasil. CEP: 35164-779. engenhariaquimica@unicaipatinga.com.br

Recebido em 25/11/2018. Aceito para publicação em 09/01/2019

RESUMO

A lei 12.305, promulgada em agosto de 2010, institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos. Essa por sua vez, dispõe sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e atribui as responsabilidades dos geradores sejam eles, diretos ou indiretos, órgãos públicos ou privados. Portanto, fazendo alusão a esse decreto, o presente trabalho delinea sobre o gerenciamento do resíduo sólido, que é gerado após um processo unitário de filtração realizado na produção de sulfato ferroso heptahidratado. A viabilidade proposta no decorrer deste artigo presume utilizar o resíduo do sulfato ferroso como substituinte parcial do solo empregado nos tijolos ecológicos solo-cimentos. Sendo assim, objetiva uma redução econômica durante a produção dos tijolos, além de dinamizar um descarte apropriado para o resíduo. Portanto, através das análises físico-químicas, do solo e do resíduo, foi possível observar que, eles possuíam características similares, logo, foi comprovada a efetividade da utilização do despejo nos tijolos ecológicos solo-cimentos.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduo do sulfato ferroso heptahidratado, tijolos solo-cimentos.

ABSTRACT

Law 12,305, enacted in August 2010, establishes the National Policy on Solid Waste. This, in turn, provides guidelines on integrated management and assigns the responsibilities of the generators, whether direct or indirect, public or private bodies. Therefore, alluding to this decree, the present work outlines the management of the solid residue, which is generated after a unitary process of filtration carried out in the production of ferrous sulfate heptahydrate. The feasibility proposed in the course of this article presumes to use the ferrous sulphate residue as a partial substituent of the soil used in the ecological soil-cements. Therefore, it aims at an economic reduction

during the production of the bricks, besides dynamizing an appropriate disposal for the residue. However, through physical-chemical analyzes, soil and residue, it was possible to observe that they had similar granulometric characteristics, thus, it was proved the effectiveness of the use of the dump in ecological soil-cement bricks.

KEYWORDS: residue of ferrous sulfate heptahydrate. single-cement bricks.

1. INTRODUÇÃO

Um dos pontos centrais para a humanidade é a busca incessante por bem estar, fato que está inteiramente ligado ao desenvolvimento da tecnologia e expansão das indústrias. Entretanto, esse crescimento acentuado pode acarretar em ações incoerentes que deixam marcas irremediáveis na natureza¹.

Nas últimas décadas um dos maiores problemas ambientais encontrados no Brasil, é a gestão de resíduos. O aumento desenfreado da produção de despejos, sejam sólidos ou líquidos, oriundos de diversas fontes geradoras, significa um desafio cotidiano para as empresas responsáveis pela sua geração e descarte^{2,3}.

Apesar de representar crescimento tecnológico, geração de empregos, aumento do Produto Interno Bruto (PIB), a indústria se correlaciona de forma proporcional aos impactos ambientais. Independente do objeto de trabalho, algumas companhias geram despejos, com destaque àquelas que compõem o setor químico⁴. De acordo com a composição do resíduo, muitos podem conter substâncias altamente tóxicas que demoram anos para se decompor. Logo, faz-se necessário um estudo englobando as políticas abrangentes sobre esse assunto visto que, o descarte incorreto pode acarretar em diversos danos à natureza, como

contaminações do solo, efluente e ar⁵.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente, em 2010 foi promulgada a Lei 12.305, que intitula a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, ordenando sobre a competência da gestão dos despejos⁶. Portanto, para otimização dos impactos acarretados, deve-se procurar o melhor caminho, como a reciclagem, o reaproveitamento, a reutilização, o tratamento ou até mesmo a minimização da sua produção^{7,8,9,10}.

Portanto, tendo em vista o problema socioambiental, em parceria com uma empresa, este trabalho visa propor a reciclagem do resíduo químico proveniente do processo de produção do sulfato ferroso heptahidratado. Uma das etapas constituintes desse processo, é a filtração. Durante essa operação unitária, ocorre a formação do despejo que, posteriormente é descartado em aterros. Esse procedimento além de ter um custo elevado, representa um grande impacto ambiental.

Para obter melhores soluções, foram realizadas análises com o intuito de determinar a composição do resíduo, que confirmaram a presença do enxofre inorgânico na amostra. Este elemento em determinada concentração e forma, é altamente nocivo à natureza e a saúde¹¹.

Logo, diante desse cenário, após estudos e leituras, o presente artigo objetiva analisar a viabilidade da destinação do despejo como substituinte parcial do solo (principal matéria-prima) empregado na fabricação de tijolos solo-cimentos¹².

A versatilidade é uma das principais características dos tijolos ecológicos solo-cimentos^{13,14}. É possível encontrá-lo no mercado agregando distintos despejos, como por exemplo, entulhos da construção civil, rejeitos da extração do quartizito, cinzas vulcânicas, gesso, bagaço da cana-de-açúcar, resíduos da mineração, pós de vidro e de mármore, lodo, sílica e casca de coco^{15,16,17,18,19,20}.

A produção dos tijolos ecológicos é menos agressiva ao meio ambiente pois, não possui queima e a etapa de cura é feita ao ar livre. O tempo necessário para conclusão desse passo, pode variar de acordo com cada fabricante, geralmente ocorre entre 15 e 28 dias. O solo, sua principal matéria-prima, na maioria das unidades produtoras é oriundo de escavações de aterros²¹.

Contudo, a economia final em uma obra que utiliza o tijolo ecológico pode chegar em até 40% visto que, há uma diminuição no tempo de construção, logo, o custo com mão-de-obra também será menor, além de utilizar poucos materiais secundários, como cimentos e madeiras. Assim, ao final da obra, a geração de entulhos é praticamente nula^{22,23,24}.

2. MATERIAL E MÉTODOS

No presente trabalho a metodologia foi desenvolvida em duas etapas:

Etapa I – Reconhecimento da composição do

resíduo sólido do sulfato ferroso heptahidratado.

Etapa II – Análise granulométrica do resíduo e do solo.

Caracterização da composição do resíduo

Para caracterização da composição do resíduo do sulfato ferroso heptahidratado (Figura 01), fracionou-se cinco quilos do despejo. As análises químicas foram realizadas com diferentes equipamentos, empregados de acordo com cada tipo de elemento que seria analisado.

Para constatação da presença de enxofre inorgânico na amostra, foi empregado um analisador da marca Leco, modelo TruSpec S. Os ferros totais foram observados pela técnica da abertura da amostra, através do espectrofotômetro de massa. Enquanto os demais elementos apresentados, foram verificados mediante a técnica de espectrometria de fluorescência de raio X.



Figura 01. Resíduo do Sulfato Ferroso Heptahidratado. **Fonte:** Autores, 2018.

Análises granulométricas

Para confecção dos tijolos um dos fatores primordiais é a capacidade de homogeneização entre os materiais manipulados, fazendo-se então necessário o teste de granulometria, onde as amostras do solo e do resíduo, foram previamente trituradas e peneiradas manualmente^{25,26,27,28,29}.

Nas análises granulométricas foi utilizada uma peneira automática da marca Contenco. Ambas amostragens empregadas foram de 500g e o tempo de vibração foi equivalente à dois minutos (Figura 2).



Figura 2. Etapa de Peneiramento do Resíduo e do Solo. **Fonte:** Autores, 2018.

Neste teste foram operadas sete peneiras com distintas aberturas, 4.75/4 mm ou 4 tyler/mesh, 2.00/10 mm ou 9 tyler/mesh, 600/30 mm ou 28 tyler/mesh, 425/40 mm ou 35 tyler/mesh, 300/50 mm ou 48 tyler/mesh, 180/80 mm ou 80 tyler/mesh e 150/100 mm ou - tyler/mesh, respectivamente.

3. RESULTADOS

Os resultados apresentados a seguir, englobam dados referentes às caracterizações físicas e químicas do despejo estudado, bem como, a exemplificação do processo em que discorre a geração.

Estudo do processo de geração do resíduo

A realização do estudo foi desempenhado a partir do processo de produção do sulfato ferroso heptahidratado, esse produto por sua vez, é comercializado na maioria dos casos através da adição com o ácido fosfórico, caracterizando-se como um complemento mineral, sendo empregado na fabricação de medicamentos e até mesmo aplicado nas indústrias de processamento para rações de animais.

Para fabricação do sulfato ferroso heptahidratado, o processo inicial ocorre em modo batelada. As matérias primas, pó de ferro, ácido sulfúrico e água, são dispostas em reatores e podem discorrer pelo período de seis à oito horas.

É de suma importância ressaltar que, durante essa etapa a água é fornecida para o sistema através de um armazenador e sua vazão é regulada por válvulas manuais. O pó de ferro é adicionado no início e não há variação da sua quantidade no decorrer tempo. Em relação ao ácido sulfúrico, esse é colocado por meio de gotejamento através de canalizações projetadas dentro dos reatores. Durante o tempo espacial, funcionários qualificados acompanham e fazem constantes análises do pH. O término é determinado quando a solução obtém um pH igual a 0 e Baumé 43.

Após o processo de batelada, o produto é destinado para um filtro prensa, cujo objetivo é a remoção das partículas sólidas indesejadas presentes na solução. Essa etapa dura em média duas horas. No

filtro é acoplado uma bomba que possui a finalidade de realizar a sucção da solução líquida que é filtrada. Logo, a torta resultante dessa operação unitária é o resíduo compreendido no decorrer deste estudo.

Em seguida, o fluido filtrado é encaminhado para a etapa de cristalização, que consiste na obtenção dos cristais, ou seja, a solidificação da solução que é a forma em que o sulfato ferroso heptahidratado é comercializado. Para que tal fenômeno ocorra, a variação de temperatura se torna o principal parâmetro dessa operação unitária. Quando o líquido é transferido para o equipamento cristalizador, sua temperatura é considerada elevada, portanto, ele fica confinado por um período de dez à doze horas.

Após alcançar a temperatura e o estado ideal, o produto é despejado em banheiras, que são compartimentos contendo várias perfurações em sua parte inferior, as funções desses furos é favorecer a secagem e permitir que o líquido separe gravitacionalmente dos cristais. Logo, os cristais que são o sulfato ferroso, ficam retidos dentro da banheira e o líquido que escorre é captado por uma tubulação destinando-o para ser reaproveitado no processo.

O sistema descrito não ocorre de forma contínua e estima-se que o ciclo total dura em média 24 horas, gerando 600 kg do despejo.

Composição química do resíduo do sulfato ferroso heptahidratado

Na Tabela 01, estão representados os elementos presentes no resíduo, bem como as quantificações expressas em percentuais.

Tabela 01. Caracterização da Composição Química do Resíduo do Sulfato Ferroso Heptahidratado

Componentes	Participação (%)
SiO ₂	15,8
Al ₂ O ₃	0,4
Mn	0,45
P	0,134
CaO	0,06
MgO	0,37
FeO	8,53
FeT	23,49
Orgânicos	38,41
S Inorgânico	13,32

Fonte: Autores, 2018

Conforme intitulado na tabela acima, um dos componentes presentes no resíduo é o enxofre inorgânico, abrangendo 15,8% da massa total. Destacam-se em maior proporção os ferros totais com 23,49% e os orgânicos com 38,41%.

Análises granulométricas

A certificação da distribuição granulométrica do solo e do resíduo, foi concluída através da técnica de peneiramento automático e os resultados são apresentados na Figura 03 e 04.

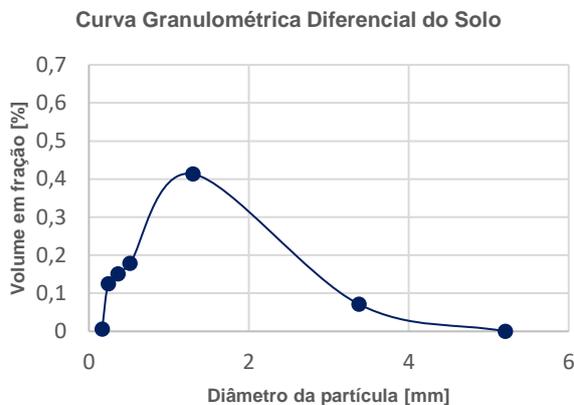


Figura 03. Análise Granulométrica Diferencial do Solo. **Fonte:** Autores, 2018

A Figura 03 é referente a análise granulométrica diferencial do solo, indicando a porcentagem do volume de material acumulado em cada faixa e no qual, pode-se concluir que a curva ilustrada apresenta uma distribuição heterogênea, onde 40% das partículas totais possuem diâmetro médio de 1,3mm, caracterizando um solo predominantemente arenoso.

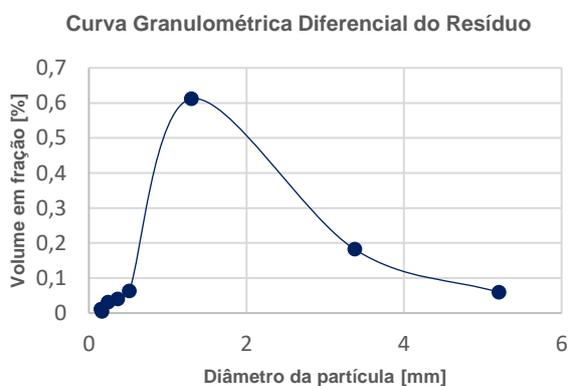


Figura 04. Análise Granulométrica Diferencial do Resíduo. **Fonte:** Autores, 2018

A Figura 04 apresenta a curva da análise diferencial do resíduo, essa por sua vez, indica uma distribuição intermediária em relação as dimensões, revelando, portanto, que 60% das partículas que compõe o resíduo, assim como o solo, também possuem diâmetro médio de 1,3 mm, apresentando assim características arenosas.

Compatibilidade

Tendo em vista que, tanto o solo, quanto o resíduo, apresentaram granulometrias similares, ou seja, para ambos a faixa de percentual retido das

partículas foi equivalente, logo, a maior concentração dos materiais se encontram com o mesmo diâmetro médio de 1,3mm.

Portanto, através desse resultado pôde-se inferir a compatibilidade entre solo e resíduo pois, como se enquadram em maior parte na mesma espessura, conseqüentemente a homogeneização ocorre de forma uniforme, que é um fator relevante, podendo interferir na resistência mecânica do tijolo.

É importante frisar que, o modo como o despejo se apresenta fisicamente, tipo arenoso, também contribuiu de forma significativa para tal afinidade entre as matérias-primas do tijolo ecológico.

4. CONCLUSÃO

Desta forma, é possível concluir a partir das análises físico-químicas do resíduo originário da produção de sulfato ferroso heptahidratado que, ele apresenta características compatíveis na produção do tijolo ecológico, podendo ser utilizado como substituto parcial do solo nesse processo.

Logo, pôde-se estimar uma redução dos custos no processo de fabricação do tijolo, além de proporcionar e estimular o agir sustentável, visto que, o resíduo passa a ser descartado de uma forma adequada, seguindo a legislação em vigor, conseqüentemente reduzindo os impactos ambientais.

REFERÊNCIAS

- [1] Derisio JC. Introdução ao controle de Poluição Ambiental. 2. ed. São Paulo, São Paulo: Signos. 2000. 164 p.
- [2] TERA. Os perigos dos resíduos sem tratamento para o meio ambiente. 2016. Disponível em: <<http://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/os-perigos-dos-residuos-sem-tratamento-para-o-meio-ambiente>> Acesso em: 11 abril 2018.
- [3] Mikhailova I. Sustentabilidade: evolução dos conceitos teóricos e os problemas da mensuração prática. Revista Economia e Desenvolvimento, Rio Grande do Sul, n.16, p. 22- 41, 2004.
- [4] Sartori S, Latrônico F, Campos LMS. Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: uma taxonomia no campo da literatura. São Paulo: Editora Ambiente & Sociedade, 2014. 1-22 p. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/asoc/v17n1/v17n1a02.pdf>> Acesso em: 12 setembro 2018
- [5] Bellen HMV. Indicadores de Sustentabilidade: uma análise comparativa. Rio de Janeiro: FGV, 2005. 256p.
- [6] Ministério do Meio Ambiente. Gestão de Resíduos: Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/a3p/eixos-tematicos/gest%C3%A3o-adequada-dos-res%C3%ADduos>> Acesso em: 6 junho 2018.
- [7] Portal Resíduos Sólidos. Reutilização de resíduos sólidos. 2013. Disponível em: <<https://portalresiduosolidos.com/reutilizacao-de-residuos-solidos/>> Acesso em: 09 abril 2018.

- [8] Brasil. Lei 12.305/10 Art 9º Política Nacional de Resíduos Sólidos. 02 de agosto de 2010. Presidência da República, Casa Civil.
- [9] Sebrae Nacional. Iniciativa Sustentável: O que são resíduos e o que fazer com eles. 2017. Disponível em: <http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-que-sao-residuos-e-o-que-fazer-com-eles_ca5a438af1c92410Vgn-VCM100000b272010aRCRD?origem=segmento&codSegmento=13> Acesso em: 17 junho 2018.
- [10] Vieiga VV. Análise de indicadores relacionados à reciclagem de resíduos sólidos urbanos no município de Florianópolis. Dissertação (Pós – Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.
- [11] 53º Congresso Brasileiro de Química, 2013, Rio de Janeiro. As reações do elemento enxofre no organismo humano. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/cbq/2013/trabalhos/6/3613-15382.html>> Acesso em: 09 abril 2018.
- [12] ____NBR 8491. Tijolo maciço de solo-cimento. Rio de Janeiro, 1984.
- [13] Pires IBA. A utilização do tijolo ecológico como solução para construção de habitações populares. Universidade de Salvador. 2010. Disponível em: <<http://conva-llis.com.br/site/wp-content/uploads/2016/02/Fabricar-o-tijolo-ecologico.pdf>> Acesso em: 01 maio 2018.
- [14] Ribeiro SV. Reutilização de resíduo de rocha ornamental na produção de tijolo solo-cimento. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências dos Materiais). Universidade Estadual do Norte Fluminense, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<http://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/Dissertacao-Simone-Valeria-Ribeiro-versao-final.pdf>> Acesso em: 20 agosto 2018.
- [15] ECOMÁQUINAS. Tijolos Ecológicos com resíduos sólidos, 2018. Disponível em: <<https://ecomaquinas.com.br/index.php/bra/tijolos-ecologicos-com-residuos-solidos>> Acesso em: 13 setembro 2018.
- [16] Ferraz ALN, Segantini AAS. Engenharia Sustentável: aproveitamento de resíduos de construção na composição de tijolos de solo-cimento, 2004. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC000000022004000100052&script=sci_arttext> Acesso em: 13 setembro 2018.
- [17] Lima RC. O. Estudo da durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, 2010. Disponível em: <http://www.coenge.ufcg.edu.br/publicacoes/Public_375.pdf> Acesso em: 30 de abril de 2018.
- [18] Silva MV. Desenvolvimento de tijolos com incorporação de cinzas de carvão e lodo provenientes de estação de tratamento de água. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências de tecnologia Nuclear- Materiais). Ipen, Autarquia Associada a Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011. Disponível em: <<file:///C:/Users/cassim/Documents/pesquisas%20Tcc/incorporaçãodecinzas.pdf>> Acesso em: 01 de maio de 2018.
- [19] Santos MP. Fabricação de solo-cimento com adição de resíduo de madeira provenientes da construção civil. 2009. Mestrado (Construção Civil). Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2009. Disponível em: <http://www.biblioteca-digital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/ISMS-7VZJYP/dissertacao_maxiliano_perdigao_dos_santos.pdf?sequence=1> Acesso em: 16 setembro 2018.
- [20] XI Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. 2014. Avaliação de Tijolos Ecológicos Compostos por Lodo de ETA e Resíduos da Construção Civil. Disponível em: <<https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos14/41220411.pdf>> Acesso: 4 maio 2018.
- [21] Motta CJ, Moraes WP, Rocha NG. Tijolo de Solo Cimento: Análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis. Exata, Belo Horizonte, p 13-26, 2014.
- [22] Ambiente Brasil. A questão ambiental e os resíduos industriais. Porto Alegre, 2005. Disponível em <<http://www.ambientebrasil.com.br/>> Acesso em: 17 junho 2018.
- [23] Fiais BB, Souza DS. Construção Sustentável com o tijolo ecológico. Revista Engenharia em Ação Uni Toledo. Araçatuba, São Paulo, v.2, n.1, p. 94-108, 2017. Disponível em <<http://ojs.toledo.br/index.php/engenharias/article/view/2559/154>> Acesso em: 10 setembro 2018.
- [24] Motta CJ, Moraes WP, Rocha NG. Tijolo de Solo Cimento: Análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis. E-xata, Belo Horizonte, p 13-26, 2014.
- [25] Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA. Propriedades do solo. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/solos/sibcs/propriedades-do-solo>> Acesso em: 28 agosto 2018.
- [26] Ker JC, Curi N, Schaefer CE, Torrado PV. Pedologia Fundamentos. 1. ed. Viçosa, Minas Gerais: SBCS, 2012. 343 p.
- [27] Portland Cement Association (PCA) 1959. Portland cement association (pca). Soil-cement laboratory handbook. Skokie, 1959. (SC65). Disponível em: <http://www.academia.edu/24886470/ASSOCIAÇÃO_BRASI-LEIRA_DE_CIMENTO_PORTLAND_DOSAGEM_DAS_MISTURAS_DE_SOLO-CIMENTO_NORMAS_DE_DOSAGEM_E_MÉTODOS_DE_ENSAIOS> Acesso em: 04 maio 2018.
- [28] Pressa MB. Resistência à compressão e absorção de água em tijolos solo-cimento. 2011. Monografia (Graduação em Engenheiro Agrônomo). Faculdade de Agronomia e Veterinária. Universidade de Brasília - UnB, Brasília, 2011. Disponível em: <http://bdm.unb.br/bitstream/10483/1798/1/2011_MarcelloBastosPresa.pdf> Acesso em: 20 agosto 2018.
- [29] Universidade de São Paulo, USP. Arquitetura e propriedades físicas do solo. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/plugin-file.php/917327/mod_resource/content/2/Apostila%20-%20Arquitetura%20e%20Propriedades%20Físicas%20do%20Solo.pdf> Acesso em: 9 setembro 2018.