

ALVENARIAS ECO EFICIENTES: ANÁLISE DO DESEMPENHO DO BLOCO DE SOLO-CIMENTO-CAL CONSIDERANDO VARIAÇÕES NAS QUANTIDADES DE RESÍDUOS DE VIDRO E LODO DE ETA

Caio Lucas dos Santos¹, Paulo dos Santos Batista²

¹Graduando de Engenharia Civil do Instituto Federal do Tocantins - IFTO. Bolsista do PIBIC/CNPq. E-mail: <caioxx926@gmail.com>

²Professor Doutor do Instituto Federal do Tocantins, Campus Palmas – IFTO. E-mail: <pbatista@ifto.edu.br>

Resumo: Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho mecânico de blocos de alvenaria prensados hidráulicamente e constituídos a partir da mistura pulverulenta e umedecida de solo arenoso, cal hidratada, cimento, vidro moído e lodo proveniente dos processos de tratamento de água. A pesquisa envolveu variações nas quantidades de resíduos e de aglomerantes sendo que tais alterações na composição do traço foram realizadas com o intuito de produzir um material com a máxima incorporação de resíduos, que apresentasse menor energia incorporada e com a finalidade de satisfazer os padrões exigidos pela NBR 8491 (2012), a qual estabelece resistência média mínima à compressão de 2,0 MPa. Assim, foram confeccionados 17 traços com 4 corpos de prova cada sendo que a proporção de aglomerante na mistura foi de 1:2 (cimento: cal) e a de solo arenoso atuou como componente de fechamento da mistura. Destaca-se o fato de que nem todos os traços planejados obtiveram êxito em sua moldagem o que evidenciou também resultados para a análise e estudo. Os dados obtidos após o período de cura úmida por 28 dias foram analisados pelo software de experimentos Protimiza Experimental Design que contém a metodologia de planejamento fatorial com o intuito de promover o aprimoramento das variáveis e à criação de superfícies de respostas. Dessa forma, definiu-se com base em procedimentos estatísticos, gráficos e representações, afim de se determinar as melhores condições otimizadas para que o traço atinja os padrões mínimos exigidos em norma com os respectivos fatores ecológicos atrelados.

Palavras-chave: Blocos de alvenaria; Cal; Lodo de ETA; Resíduos; Software de experimentos; Vidro moído.

1 INTRODUÇÃO

O Desenvolvimento Sustentável no âmbito da Indústria da Construção Civil se mantém atualmente com o intuito de promover a melhoria das técnicas construtivas de forma a preservar os recursos naturais. Assim, a inserção de novos materiais no mercado de infraestrutura que se mostrem alternativas viáveis e ecologicamente corretas quando comparadas aos métodos convencionais são soluções rigorosamente representativas e que expandem os olhares frente às possibilidades tecnológicas disponíveis ao setor. Nesse sentido, as alvenarias eco eficientes com a adição de resíduos inorgânicos em sua composição se enquadram nessa perspectiva sustentável devendo, portanto, especiais atenções no que se refere à análise do seu padrão de qualidade ao longo de sua vida útil. Além disso, é fundamental que haja estudos que envolvam o comportamento mecânico desses blocos, afim de atestar credibilidade e incentivar à fixação de tais práticas no mercado.

O aumento do consumo de recursos naturais, como forma de atender a manutenção da vida humana está intimamente associado com o desenvolvimento socioeconômico e crescimento demográfico que, por conseguinte promove a alteração da paisagem natural e do cenário urbano, através de um desequilíbrio ambiental. Contudo, o aumento de problemas ambientais relacionados a esse desequilíbrio, também tem proporcionado o surgimento de ações que procuram minimizar esses efeitos. Essas ações, principalmente fundamentadas na conscientização ambiental motivam atitudes como: reciclagem, reutilização e reaproveitamento de materiais e matérias-primas, redução do consumo, e traduzem-se em uma nova maneira de repensar o uso dos recursos naturais e da energia.

Neste aspecto, podemos destacar a indústria do vidro, um material 100% reciclável (TUCKER et al, 2018). De acordo com a ABIVIDRO em relação ao segmento de vidros o índice de reciclagem no Brasil vem crescendo. O vidro, é um material inorgânico, cortante, transparente e líquido, que encontra-se super-resfriado, constituído basicamente de sílica. Sua cor pode ser alterada pela introdução de outros óxidos na sua composição (CEBRACE, 2014). É uma substância estável quimicamente, sem ordenação atômica de longo alcance e por isso é amorfo (SHACHELFORD, 2008). Em condições de descarte, altamente inapropriadas, estima-se que o tempo para decomposição do vidro é indeterminado (SANEP, 2008). NETO (2018), afirma que os componentes de vidro provenientes de resíduos domésticos e comerciais são em sua maioria compostos de garrafas, artigos de vidro quebrados, lâmpadas incandescentes, potes de alimentos e outras tipologias de componentes. Nesse contexto, estima-se que cerca de 70% dos aterros estarão com sua capacidade reduzida no próximo milênio (SANTOS, 2009).

Outro fator a ser considerado, segundo CABRAL (2013) é de que muitos resíduos provenientes das Estações de Tratamento de Água (ETA's), têm sido lançados de maneira inadequada em corpos d'água mais próximos à estação, comprometendo as características do regime fluvial, podendo causar assoreamento do corpo hídrico e prejuízos ao ecossistema local. Sabe-se que os principais resíduos geradores nesse processo são a água de lavagem dos filtros e o lodo do fundo do decantador que apresenta maior volume de geração. Sendo assim, algumas empresas optam pelo armazenamento desse resíduo em *bag's* sem nenhuma alternativa de aproveitamento para sua destinação final, evidenciando a necessidade de ações para solucionar o seu descarte evitando práticas ambientalmente incorretas.

Nesse sentido, o trabalho em questão realizou uma pesquisa envolvendo a fabricação de solo-cimento-cal considerando variações nas quantidades de vidro moído provenientes de garrafas não retornáveis e lodo de ETA para a composição de uma alvenaria eco eficiente. Além disso, optou-se pela substituição parcial do cimento por cal hidratada comum afim de proporcionar menor energia incorporada ao conjunto. Foram confeccionados ao todo 17 traços com 4 corpos de prova cada, sendo que nem todos os experimentos planejados obtiveram êxito em sua moldagem. Após o período de 28 dias de cura úmida os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de resistência mecânica à compressão e absorção de água. Os dados coletados foram estruturados pelo software de experimentos Protmiza Experimental Design o qual proporcionou superfícies de respostas para a análise estatística de otimização das variáveis envolvidas no sistema (lodo, vidro e aglomerantes).

Como resultado, buscou-se estimar a correlação entre a quantidade de resíduos que poderão ser incorporados a essa matriz de solo cal e avaliar a influência dessas adições sobre a resistência mecânica, absorção de água e estabilidade dimensional do material para emprego na construção civil, tendo como objetivo obter valores de resistência em adequação com a NBR 8491 (2012) e próximos

ao dos blocos de vedação já comercializados no mercado.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

SEGANTINI e ALCÂNTARA (2010), afirmam que o tipo de solo empregado, o teor de cimento, o teor de umidade, assim como o tempo de cura e a idade da mistura constituem fatores determinantes para a qualidade do tijolo de solo-cimento. Além disso, os solos arenosos são os mais indicados para a produção do solo-cimento, pois proporcionam valores de resistência mecânica adequados aliados ao baixo consumo de cimento (SOUZA *et al*, 2008).

Sabe-se que o bloco de solo-cimento nada mais é do que a mistura homogênea em quantidades racionais de solo, cimento Portland e água. Sendo assim, o aglomerante hidráulico atua como agente químico de estabilização do solo a fim de aperfeiçoar seu desempenho. No Brasil, tem se desenvolvido pesquisas com ênfase à utilização de cal como alternativa de substituição do cimento em tijolos ecológicos. De acordo com FICHEROLA (2004), a presença de matéria orgânica, cloretos e sulfatos na composição da mistura de solo-cimento pode se comportar como um fator prejudicial no processo de cura e hidratação dos grãos de cimento, retardando-o, de forma a comprometer a resistência mecânica do bloco confeccionado. SILVA (2009) estudou a incorporação de lodo em solo-cimento-cal, testando percentuais de incorporação 3, 5, 8 e 10%. Segundo o autor, a cal foi adicionada com o objetivo de neutralizar a ação da matéria orgânica presente no solo e corrigir o pH do composto, pois o cimento não reage bem em pH baixo.

Em relação ao vidro, seu processo de reciclagem envolve trituração mecânica, promovendo a diminuição das partículas e aplicação de energia para conformação em novos produtos. Suas partículas, quando moídas apresentam características ácidas e, portanto, podem reagir com álcalis, sendo um importante agente pozolânico em materiais que empreguem cal na sua constituição. A introdução de material pozolânico, quando em quantidade adequada, garante um aumento do desempenho mecânico de materiais cimentícios em ensaios de compressão (BAUER, 2008). As reações pozolânicas são responsáveis pelo aumento progressivo da resistência mecânica nas misturas de solo-cal. Esse aumento acontece em virtude da reação entre cal, água e as diversas fontes de sílica, alumina e ferro presentes no solo, que resultam em produtos com características cimentantes (CAMPELLO *et al.*, 2000 *apud* LOVATO, 2004).

3 METODOLOGIA/ MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais empregados nesses estudos foram adquiridos por meio de doação ou cooperação técnica. O estudo foi realizado a partir de um planejamento fatorial de experimentos envolvendo a escolha das variáveis e dos níveis de investigação. O trabalho consistiu em uma pesquisa aplicada em que buscou-se avaliar mediante experimentos controlados o efeito da substituição parcial do solo

arenoso por uma combinação diversificada de resíduos inorgânicos: vidro moído de garrafas não retornáveis e lodo de ETA na composição dos tijolos de solo-cimento-cal. Adotou-se como metodologia uma abordagem quantitativa, visando o máximo de dados para formulação de um todo. A pesquisa quantitativa busca a validação das hipóteses mediante a utilização de dados estruturados, estatísticos, com análise de um grande número de casos representativos, recomendando um curso final da ação. Ela quantifica os dados e generaliza os resultados da amostra para os interessados (OLIVEIRA, 2011). A análise estatística dos resultados foi obtida a partir de um Delineamento Experimental Composto Rotacionado (DCCR) para 3 variáveis (RODRIGUES e IEMMA, 2006). As variáveis X1, X2 e X3 definidas respectivamente como vidro, lodo e cimento + cal contribuíram na articulação dos dados e na estruturação de resultados. Os materiais utilizados na mistura encontram-se descritos e detalhados a seguir:

3.1) Lodo

O lodo utilizado na pesquisa é proveniente da ETA-6 localizada no município de Palmas, TO, sendo um material adquirido por meio de doação da antiga empresa gerenciadora ODEBRECHT Ambiental Saneantins. O procedimento adotado compreendeu as etapas de trituração e moagem até a granulometria almejada. A maioria das Estações de Tratamento de Água (ETA's) brasileiras utilizam a técnica de tratamento Convencional (ou em Ciclo Completo) com vistas à clarificação e desinfecção da água captada em mananciais superficiais (IBGE, 2010). As etapas são descritas a seguir:

3.1.1) Clarificação

A clarificação é a etapa que consiste na remoção de partículas em suspensão ou dispersão coloidal sendo subdividida em: a) Coagulação; b) Floculação; c) Decantação ou Flotação; d) Filtração.

3.1.2) Desinfecção

A desinfecção consiste nas etapas finais do processo de tratamento e é fundamental para que a água possa ser levada pelas redes de distribuição. Consiste na inativação de microrganismos patogênicos por meio da adição de cloro e flúor (CABRAL, 2013). A Figura 1 a seguir ilustra os processos de tratamento de água e as principais etapas de geração de resíduos:

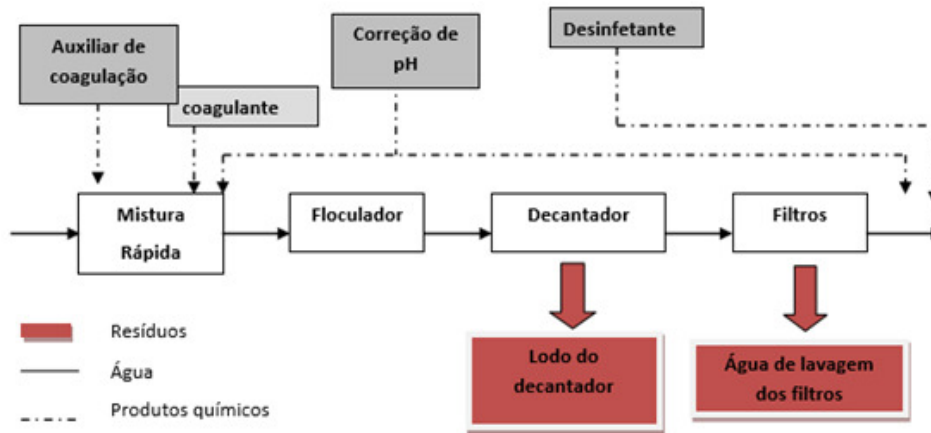


Figura 1 – Ilustração esquemática de uma ETA convencional com indicação dos locais de geração de resíduos
 Fonte: CORDEIRO (2001) adaptado por CABRAL (2013)

Nota-se, assim, que os principais resíduos gerados por esse processo de tratamento são os provenientes das etapas de Decantação e Filtração: o lodo e a água de lavagem dos filtros. Em relação ao volume total gerado, a quantidade produzida de lodo – constituído basicamente pelo agente floculante Sulfato de Alumínio, $Al_2(SO_4)_3$ – é rigorosamente maior do que a água de lavagem de filtros. Nesse sentido, deve-se pensar em formas variadas que contribuam para o direcionamento de seu uso e reaproveitamento, de maneira a evitar possíveis descartes prejudiciais ao meio ambiente.

3.2) Vidro

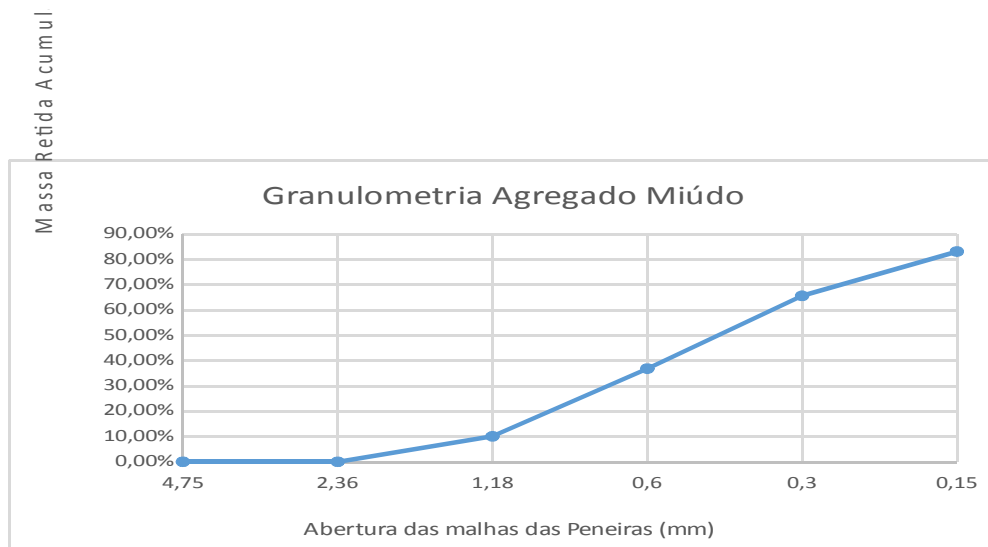
O vidro utilizado foi obtido a partir de garrafas não retornáveis. Seu processamento compreendeu as etapas de quebra, trituração e moagem, apresentando fina granulometria.

Tabela 1 - Ensaio de granulometria do vidro

| Abertura | Ret. Acumul.(%) |
|----------|-----------------|
| 4,75 | 0,00% |
| 2,36 | 0,00% |
| 1,18 | 10,05% |
| 0,6 | 36,81% |
| 0,3 | 65,55% |
| 0,2 | 83,07% |

Fonte: Autores (2018)

Gráfico 1 – Granulometria do vidro moído



Fonte: Autores (2018)

Módulo de finura = 1,96

Diâmetro máximo = 2,36 mm

3.3) Cimento Portland

O cimento Portland é o produto obtido pela pulverização e moagem do clínquer sendo constituído basicamente de silicatos hidráulicos de cálcio e eventualmente adições que modificam suas propriedades e facilitam seu emprego. Os constituintes fundamentais do cimento Portland são a Cal (CaO), a Sílica (SiO₂), a Alumina (Al₂O₃), o Óxido de Ferro (Fe₂O₃) entre outros. Tal mistura de argilas e calcário passam pelo processo de calcinação com temperaturas em torno de 1400°C com a formação de compostos anidros, silicatos, aluminatos, ferro aluminatos, cal livre e compostos alcalinos como ilustra a Figura 2 a seguir:

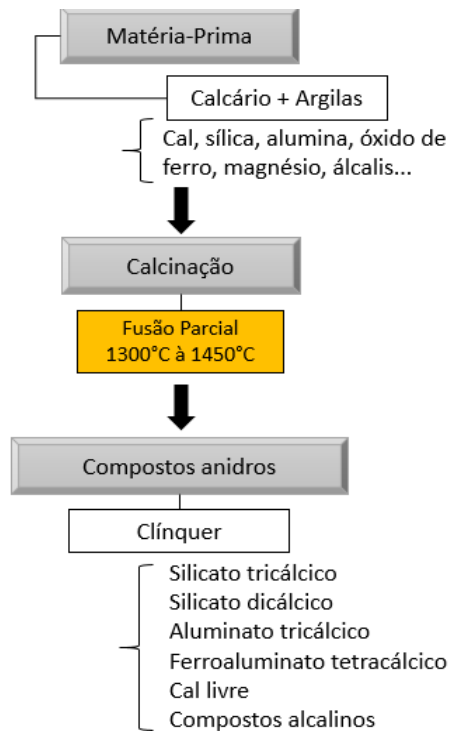


Figura 2 – Processo de produção do clínquer
Fonte: adaptado de NETO (2016)

De acordo com MAURY e BLUMENSCHNEIN (2012), o processo de produção do Cimento é apontado como um dos grandes geradores de impactos ambientais e sociais. A indústria do cimento é responsável por aproximadamente 3% das emissões mundiais de gases de efeito estufa e por aproximadamente 5% das emissões de CO₂ (CSI, 2002). Além disso, destaca-se o fato de que o processo de calcinação utiliza-se de elevadas temperaturas de queima com um alto grau de consumo energético, sendo a calcinação da cal realizada a menores temperaturas quando comparado ao processo de fabricação do cimento. O Cimento utilizado nesse estudo foi o CP IV 32 RS, que apresenta características de resistência ao sulfato um dos produtos gerados nas reações químicas envolvidas.

3.4) Cal

A cal é um aglomerante aéreo que desenvolve seu endurecimento por meio da fixação de gás carbônico existente no ar. Tal processo é denominado de carbonatação e consiste na transformação da cal em carbonato de cálcio (BAUER, 2005). A cal utilizada na confecção dos tijolos ecológicos de solo-cimento-cal foi a do tipo CH-I (Cal Hidratada Comum) comumente empregada nas misturas argamassadas. Para a obtenção da cal hidratada como produto final, posteriormente à seleção e à extração da matéria prima nas jazidas, duas etapas futuras interferem na sua qualidade e prestabilidade (BAUER, 2005):

a) A calcinação da matéria prima (900°C - 1000°C);

b) Hidratação do produto calcinado.

Observa-se, portanto, que o processo de calcinação da cal apresenta menor energia incorporada na queima a menores temperaturas, sendo objetivo deste trabalho propor a substituição parcial do cimento pela cal. Em virtude da inexistência de normas para a fabricação do solo-cal os parâmetros adotados são idênticos aos utilizados para a dosagem do solo-cimento (FIGUEIREDO, 2011).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 2 a seguir ilustra os resultados obtidos de resistência mecânica à compressão e absorção de água para os traços confeccionados. Vale ressaltar que dos 17 traços, com 3,5 Kg em média para cada bloco, apenas 9 composições obtiveram êxito na moldagem, uma vez que o restante apresentou problemáticas geradas principalmente por motivos relacionados à alta quantidade de resíduos incorporados e a baixa quantidade de aglomerantes inseridos o que reduziu o poder de aglomeração e contribui para uma absorção excessiva resultando na não moldagem ou na fragmentação do bloco. No que se refere particularmente ao traço 1, o qual obteve moldagem satisfatória, o mesmo apresentou problemas de fragmentação após poucos dias, o que inviabilizou sua utilização para ensaio.

Tabela 2 – Traços moldados sem desmonte total

| Traços | Resistencia (MPa) | Absorção (%) | Fator A/Aggl. |
|--------|-------------------|--------------|---------------|
| 5 | 1,7 | 16 | 0,41 |
| 7 | 0,8 | 16 | 0,58 |
| 8 | 1,3 | 20 | 0,64 |
| 9 | 0,7 | 18 | 0,82 |
| 11 | 1,4 | 16 | 0,98 |
| 14 | 1,6 | 19 | 0,51 |
| 15 | 1,0 | 18 | 0,86 |
| 16 | 0,7 | 18 | 1,00 |
| 17 | 1,0 | 19 | 0,99 |

Fonte: Autores (2018)

Nota-se que nenhum dos traços confeccionados obtiveram resistências médias superiores à 2,0 MPa, todavia todos os blocos se situaram dentro do limite de absorção de água requerido de média máxima de 20% segundo a NBR 8491 (2012). A Tabela 3 a seguir expõe a quantidade em massa de cada componente da mistura utilizado na elaboração dos traços:

Tabela 3 – Traço em massa utilizado na execução do trabalho

| Traço | Vidro (Kg) | Lodo(Kg) | Solo (Kg) | Cimento (Kg) | Cal (Kg) | Moldagem |
|-------|------------|----------|-----------|--------------|----------|----------|
| 1 | 1,8 | 0,81 | 12,24 | 0,3 | 0,6 | Sim |
| 2 | 6,3 | 0,81 | 7,74 | 0,3 | 0,6 | Não |
| 3 | 1,8 | 3,15 | 9,9 | 0,3 | 0,6 | Não |
| 4 | 6,3 | 3,15 | 5,4 | 0,3 | 0,6 | Não |
| 5 | 1,8 | 0,81 | 9,99 | 1,05 | 2,1 | Sim |
| 6 | 6,3 | 0,81 | 5,49 | 1,05 | 2,1 | Não |
| 7 | 1,8 | 3,15 | 7,65 | 1,05 | 2,1 | Sim |
| 8 | 6,3 | 3,15 | 3,15 | 1,05 | 2,1 | Sim |
| 9 | 0,27 | 1,98 | 11,475 | 0,68 | 1,36 | Sim |
| 10 | 7,83 | 1,98 | 3,915 | 0,68 | 1,36 | Não |
| 11 | 4,05 | 0 | 9,675 | 0,68 | 1,36 | Sim |
| 12 | 4,05 | 3,96 | 5,715 | 0,68 | 1,36 | Não |
| 13 | 4,05 | 1,98 | 9,585 | 0,045 | 0,09 | Não |
| 14 | 4,05 | 1,98 | 5,805 | 1,3 | 2,6 | Sim |
| 15 | 4,05 | 1,98 | 7,695 | 0,68 | 1,36 | Sim |
| 16 | 4,05 | 1,98 | 7,695 | 0,68 | 1,36 | Sim |
| 17 | 4,05 | 1,98 | 7,695 | 0,68 | 1,36 | Sim |

*A tabela ilustra os valores em massa para a fabricação de 4 blocos, sendo que o fator de multiplicação dos elementos na elaboração do traço foi de 4,5, utilizado a fim de considerar as perdas ao longo do sistema.

Fonte: Autores (2018)

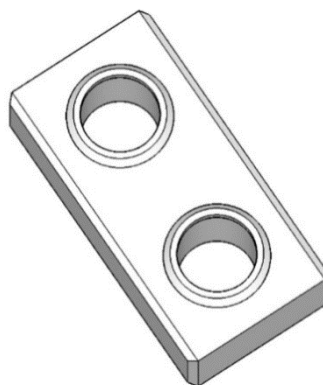
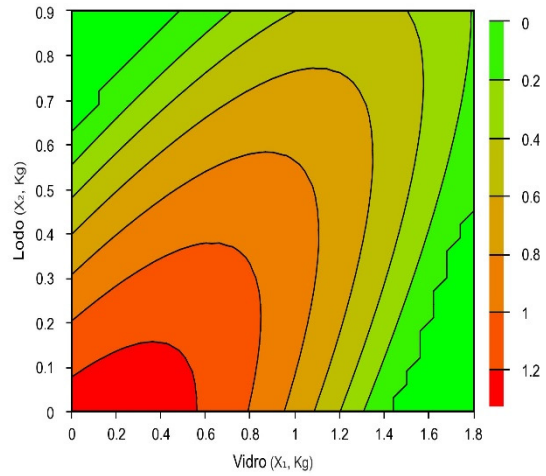
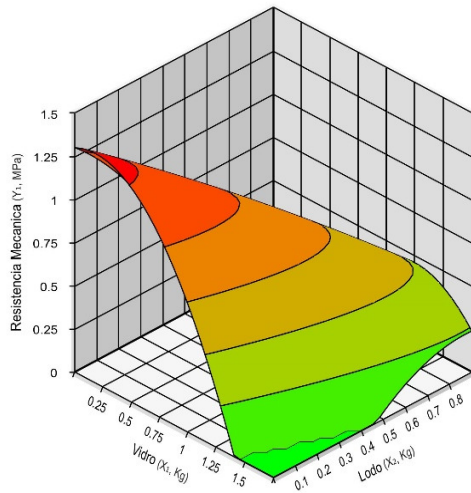


Figura 3 – Perspectiva transversal do tijolo intertravado de solo-cimento-cal

Fonte: NETO (2018)

A partir dos resultados obtidos formulou-se através do planejamento fatorial e do sistema de otimização de experimentos com 3 variáveis, as seguintes representações:

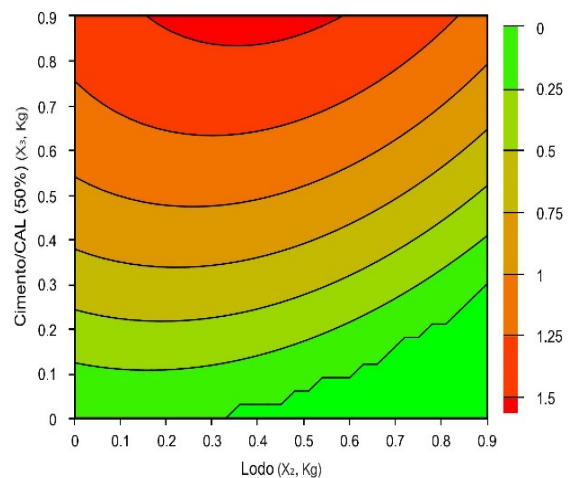
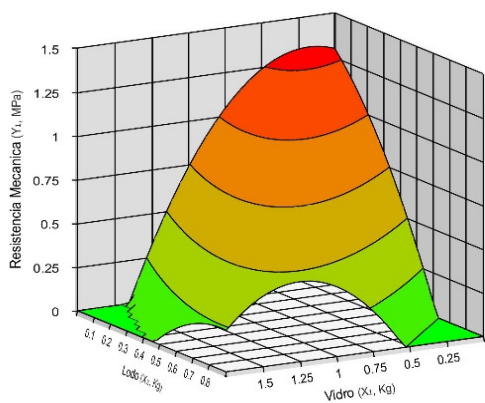
Gráfico 2 – Superfícies de respostas da interação entre lodo e vidro em relação a resistência mecânica do conjunto (MPa)



Fonte: Autores (2018)

O gráfico 2 acima evidencia que as maiores resistências alcançadas são obtidas variando-se a quantidade de vidro de 0 até 0,6 kg aproximadamente juntamente com a variação de 0 à 0,15 kg de lodo aproximadamente. Contudo, o limite superior do gráfico com os resultados obtidos apresenta o valor de 1,5 MPa de resistência máxima o que demonstra o não atendimento às normas técnicas considerando o teor de aglomerantes empregados na mistura, considerado baixo para o alcance da resistência.

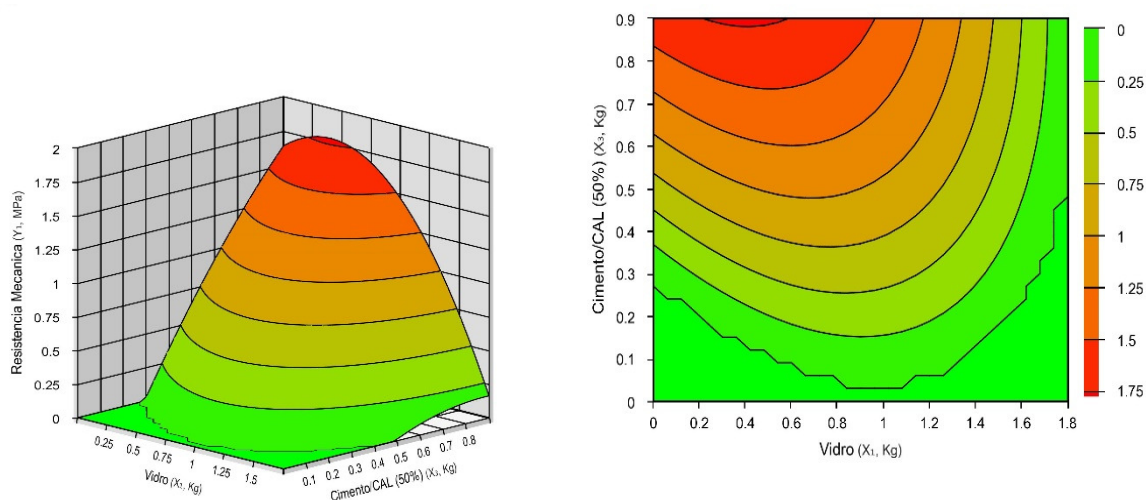
Gráfico 3 – Superfícies de respostas da interação entre lodo e aglomerantes em relação a resistência mecânica do conjunto (MPa)



Fonte: Autores (2018)

O gráfico 3 acima mostra que as maiores resistências alcançadas são obtidas variando-se a quantidade de lodo de 0,2 até 0,5 kg aproximadamente juntamente com a variação de 0,85 à 0,90 kg de cimento e cal aproximadamente. Entretanto, o limite superior do gráfico obtido detém o valor de 1,5 MPa de resistência máxima o que demonstra o não atendimento a norma.

Gráfico 4 – Superfícies de respostas da interação entre vidro e aglomerantes em relação a resistência mecânica do conjunto (MPa)



Fonte: Autores (2018)

O gráfico 4 anterior evidencia que as maiores resistências alcançadas são obtidas variando-se a quantidade de vidro de 0,4 até 0,5 kg aproximadamente juntamente com a utilização de 0,9 kg de cimento e cal. Apesar disso, a resistência final alcançada continuaria abaixo do mínimo exigido em norma, visto que o limite superior do gráfico com os resultados obtidos é de 1,75 MPa.

Mediante o sistema de sincronização das variáveis obteve-se o seguinte modelo Y1 que relaciona as variáveis de estudo e a variável de resposta dependente:

$$\text{Modelo: } Y_1 = 0,91 - 0,17 x_1 - 0,22 x_1^2 - 0,14 x_2 - 0,10 x_2^2 + 0,48 x_3 - 0,06 x_3^2 + 0,28 x_1 x_2 - 0,15 x_1 x_3 + 0,05 x_2 x_3$$

Onde:

X1 – Vidro

X2 – Lodo

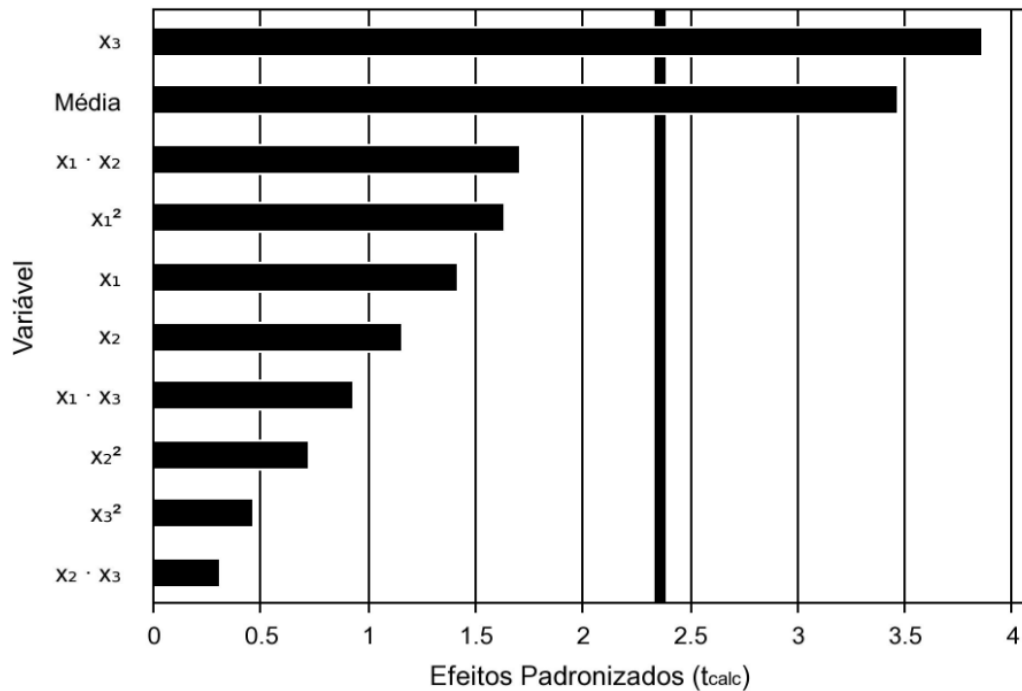
X3 – Cimento.cal (50%)

Y1 – Resistência Mecânica (MPa)

Obteve-se também um coeficiente de representação de $R^2 = 78,09\%$. Esse valor nada mais é do que é uma medida de ajuste de um modelo estatístico, variando de 0 à 100%, e interpreta quanto o

modelo consegue explicar os valores obtidos. Quando mais próximo à 100% mais representativo é o modelo. Tal valor é significativamente satisfatório por se tratar de um estudo envolvendo resíduos que apresentam uma enorme variabilidade de comportamentos e particularidades. O Gráfico 5 abaixo identifica as variáveis mais influentes no sistema e suas respectivas atuações em conjunto:

Gráfico 5 – Gráfico de Pareto



Fonte: Autores (2018)

O Gráfico de Pareto acima expõe as variáveis que mais influenciam na resistência mecânica dos blocos ecológicos, ordenando as frequências de ocorrências e suas respectivas interações. Conclui-se, portanto, que o cimento juntamente com a cal (X₃) são os principais materiais componentes que influenciam na resistência do bloco, seguido pela média e pela interação entre Vidro (X₁) e Lodo de ETA (X₂).

Para posteriores trabalhos sugere-se o aumento no teor de aglomerantes na mistura afim de proporcionar resistências mais elevadas e que se situem dentro do limite mínimo de resistência exigido em norma de 2,0 MPa.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Infere-se portanto nesse estudo que não foi possível alcançar o valor mínimo exigido em norma em nenhum dos traços produzidos. Desta-se como fator principal desse resultado a pouca quantidade

de cimento utilizado na mistura em virtude da alto teor de substituição da cal em relação a totalidade de aglomerante empregado. Os blocos com melhores desempenhos mecânicos, traço 5 e traço 14, formam as composições com maior emprego de aglomerantes em massa na mistura, constituindo 20% e 25% respectivamente, sendo que o traço 14 é o que mais se enquadra nos objetivos do trabalho, possuindo o maior índice de incorporação de resíduos e apresentando uma resistência mais elevada quanto aos demais, 1,6 MPa. Mesmo assim, os blocos produzidos apresentaram resultados insatisfatórios, para o atendimento da NBR 8491 (2012) que prevê uma resistência média mínima de 2,0 MPa. Em relação ao limite máximo de absorção de água estabelecido, nenhum dos traços confeccionados ultrapassou a restrição de 20%. Para posteriores trabalhos sugere-se assim o aumento relativo na quantidade de cimento e a redução do teor de substituição por cal hidratada que foi na proporção de 1:2, objetivando projetar resistências mais elevadas para o atendimento da norma vigente. Espera-se dessa forma o aprimoramento das técnicas construtivas de forma contínua, contribuindo para a inserção de novos materiais ecológicos, eficientes e que se mostrem efetivos no exercício de sua função, minimizando problemáticas ambientais e contribuindo junto ao desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS

- ABIVIDRO. Anuário 2003. Associação técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8491**. Tijolos de Solo-Cimento – Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.
- BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. Livros Técnicos e Científicos – LTC. 5 ed., Volume 1, Rio de Janeiro, 2008.
- BAUER, E. **Revestimento Argamassa: características e peculiaridades**. Brasília, LEM-UnB; Sinduscon, 2005.
- CABRAL, V. A. L. **Avaliação da incorporação do Lodo de ETA UFV na manufatura de tijolos de solo-cimento**. (Dissertação Mestrado). 175p. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2013.
- CEBRACE. 2014. O Vidro, <<http://www.cebrace.com.br/v2/vidro>>. Acesso em 17/11/2017.
- CSI – **The Cement Sustainability Initiative** (2002).
- FIQUEROLA, V. Alvenaria de solo-cimento. **Revista Técnica**, n. 85, São Paulo: Editora Pini, 2004
- FIGUEIREDO, S.S. **Estudo da durabilidade de tijolos solo-cal incorporados com resíduos de demolição da construção civil**. (Dissertação de Mestrado). 107 p. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Coordenação de População e indicadores sociais de Saneamento básico 2008**. Rio de Janeiro, 2010. 219 p.

LOVATO, R.S. **Estudo do comportamento mecânico de um solo laterítico estabilizado com cal, aplicado à pavimentação**. (Dissertação Mestrado). 144p. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.

MAURY, M.B. BLUMENSCHNEIN, R.N. Produção de cimento: Impactos à saúde e ao meio ambiente. **Sustentabilidade em Debate** - Brasília, v. 3, n. 1, p. 75-96, jan/jun 2012.

NETO, T. M.G. **Alvenaria Eco Eficiente**: Estudo da resistência mecânica de blocos de alvenaria com resíduos inorgânicos em sua constituição. 2018. 79 p. (Trabalho de Conclusão de Curso) – Bacharelado em Engenharia Civil – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, IFTO. Palmas, 2018.

NETO, M. S. **Cimento Portland**. Notas de aula, Departamento de Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – IFTO. Instituto OPUS: Pesquisa, Desenvolvimento e Ensino - PDE. Palmas, 2016.

OLIVEIRA, M.F. **Metodologia científica**: um manual para realização de pesquisas em Administração. Universidade Federal de Goiás (2011).

RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. E. **Planejamento de experiências e otimização de processos**. 2006.

SANEP - Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas. Disponível em: <<http://www.pelotas.com.br/SANEP/SANEP/SANEP.htm>>. Acesso em 10 de outubro de 2017

SANTOS, W. J. **Caracterização de vidros planos transparentes comerciais**. Scientia plena 5.2 (2009).

SEGANTINI, A. A. S; ALCÂNTARA M. A. M. Solo-cimento e Solo – Cal. In: **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2ª Ed. v.2. Cap.27.p.864 – 891, 2010.

SHACKELFORD, J. F. 2008. **Introdução à Ciência dos Materiais Para Engenheiros**. Trad.Daniel Vieira. São Paulo: Pearson. 6.ed, p 145.

SILVA, M. R. **Incorporação de lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA) em tijolo de solo-cimento como forma de minimização de impactos ambientais**. 2009. 84f. Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologia Ambiental) - Faculdade de Aracruz, Aracruz, 2009.

SOUZA et al. Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n.2, p. 205-212, 2008.

TUCKER, Emily L. et al. **Economic and life cycle assessment of recycling municipal glass as a pozzolan in portland cement concrete production**. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 129, p. 240-247, 2018.

