

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA – UFPB
PROGRAMA REGIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE

BÁRBARA PEREIRA SAMSON

GESTÃO DE RESÍDUO E TECNOLOGIA AMBIENTAL NA
FABRICAÇÃO DE TIJOLOS SOLO-CIMENTO



JOÃO PESSOA

2016

Bárbara Pereira Samson

GESTÃO DE RESÍDUO E TECNOLOGIA AMBIENTAL NA FABRICAÇÃO DE
TIJOLOS SOLO-CIMENTO

Dissertação apresentada ao
Programa Regional de Pós-
Graduação em Desenvolvimento e
Meio Ambiente da Universidade
Federal da Paraíba – UFPB, em
cumprimento às exigências para
obtenção do título de Mestre.

Orientador: Gil Dutra Furtado

JOÃO PESSOA

2016

S193g Samson, Bárbara Pereira.
Gestão de resíduo e tecnologia ambiental na fabricação
de tijolos solo-cimento / Bárbara Pereira Samson.- João
Pessoa, 2016.
81f. : il.
Orientador: Gil Dutra Furtado
Dissertação (Mestrado) - UFPB/PRODEMA
1. Meio ambiente - desenvolvimento. 2. Resíduo sólido.
3. Estação de tratamento - água. 4. Tijolo solo-cimento.

UFPB/BC

CDU: 504(043)

BÁRBARA PEREIRA SAMSON

GESTÃO DE RESÍDUO E TECNOLOGIA AMBIENTAL NA FABRICAÇÃO DE
TIJOLOS SOLO-CIMENTO

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA, da Universidade Federal da Paraíba – UFPB.

Aprovada em: 28 de Abril de 2016

BANCA EXAMINADORA



Orientador – Dr. Gil Dutra Furtado

Universidade Federal da Paraíba – UFPB



Examinador Interno – Dr. Maria Cristina Crispim da Silva

Universidade Federal da Paraíba – UFPB

Examinador Externo – Dr. Claudia Coutinho Nobrega

Universidade Federal da Paraíba – UFPB

Agradecimentos

Na concretude de mais uma etapa para realização de um sonho, venho agradecer, a todos que incentivaram, acreditaram, apoiaram, e que comemoram comigo esta conquista.

Agradeço primeiramente, *in memoriam*, ao meu avô, Milton Jorge Pereira, pela referência humana e acadêmica, pelos esforços, orientações e todo carinho dados a mim durante sua vida.

À minha mãe e avô, Rosele Pereira e Erozita Pereira, pelo apoio, carinho, esforços e paciência durante minhas ausências, permitindo que eu chegasse até aqui.

Aos demais familiares, dos quais compartilho vitórias e derrotas na certeza de que nunca faltará apoio.

Aos professores, Cristina Crispim e Gil Furtado pelas valiosas orientações e ao apoio nos momentos mais difíceis.

Aos demais mestres, professores, aos quais tive o privilégio de conhecer ao longo da carreira acadêmica, compartilhando seus conhecimentos; agradeço, em especial, vossas dedicações, amizade e paciência nos momentos difíceis.

Aos meus amigos, pela paciência, compreensão e apoio, em especial a Patrícia Morais, quem esteve presente todo momento durante o mestrado.

Ao secretário, Saulo, pela presteza e carinho que sempre teve comigo.

Aos técnicos laboratoriais pelo auxílio na execução da pesquisa e compartilhamento dos conhecimentos adquiridos com a experiência.

SAMSON, Bárbara Pereira. Gestão de Resíduo e Tecnologia Ambiental na Fabricação de Tijolos Solo-Cimento. Dissertação, Universidade Federal da Paraíba – UFPB, João Pessoa. 2016.

RESUMO

Atualmente têm-se buscado novas soluções construtivas que envolvam a sustentabilidade ambiental através da diminuição/eliminação de desperdício das matérias-primas e produtos finais. A redução dos desperdícios vem sendo conferida pelo uso racional dos materiais e as diversas formas de reutilização, para tanto são estudadas e desenvolvidas tecnologias capazes de absorver estes resíduos. No âmbito do saneamento básico é destacado o resíduo gerado nas Estações de Tratamento de Água durante o processo de potabilização das águas destinadas para o consumo humano. Comumente este resíduo é chamado de lodo. Para as questões ambientais, estudos frequentes apontam para a incorporação deste resíduo em materiais de construção civil tais como tijolos convencionais e solo-cimento. Desta forma, o seguinte trabalho visa avaliar a incorporação do resíduo gerado na Estação de Tratamento de Água – Gramame em tijolos do tipo solo-cimento. Para que os objetivos pudessem ser alcançados foram determinadas as análises laboratoriais de: Fluorescência de Raio-X (FRX), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Granulometria, Índice de Plasticidade e Resistência a Compressão Simples. A concretude da pesquisa leva a conclusão de que a incorporação do resíduo gerado na Estação de Tratamento de Água – Gramame em baixas porcentagens não prejudica a resistência dos tijolos solo-cimento. Sendo este resultado associado a uma considerável concentração de Matéria Orgânica.

Palavras-Chave: Resíduo Sólido, Estação de Tratamento de Água, Tijolo Solo-cimento.

SAMSON, Bárbara Pereira. Residue and Environmental Technology Management in Soil - Cement Bricks Manufacturing. Dissertation, Universidade Federal da Paraíba – UFPB, João Pessoa. 2016.

ABSTRACT

Currently we have been sought new constructive solutions involving environmental sustainability through the reduction / elimination of waste of raw materials and final products. The reduction of waste has been granted by the rational use of materials and various forms of reuse, for both are studied and developed technologies capable of absorbing this waste. Under the basic sanitation is highlighted waste generated in water treatment plants during the process of purifying plants of water intended for human consumption. This residue is commonly called sludge. For environmental issues, frequent studies point to the incorporation of this waste in construction materials such as conventional bricks and soil cement. Laboratory analyzes were: Fluorescence X-ray (XRF) , Chemical Oxygen Demand (COD) , Biochemical Oxygen Demand (BOD), Particle size , Plasticity Index and resistance to simple compression. This the following study aims to evaluate the incorporation of the waste generated in the Water Treatment Plant - Gramame in soil-cement bricks type. The concreteness of research leads to consideration of the incorporation of the waste generated in the Water Treatment Plant - Gramame in low percentages do not affect the strength of soil-cement bricks. This result associated with a considerable concentration of Organic matter.

.

Keywords : Solid Waste, Water Treatment Plant, Soil - cement brick.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 PRINCÍPIOS DO DIREITO AMBIENTAL	15
2.1.1 Saneamento Básico	16
2.1.2 Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos	18
2.1.3 Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos	21
2.2 GERENCIAMENTO AMBIENTAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS	22
2.2.1 Classificação dos Resíduos Sólidos	23
2.2.2 Resíduo como Potencial Poluidor	24
2.2.3 Geração de Resíduo em Estação de Tratamento de Água	25
2.2.4 Caracterização dos Resíduos Sólidos Gerados em Estações de Tratamento de Água	26
2.3 DESENVOLVIMENTO SOCIOECONÔMICO	28
2.4 TECNOLOGIAS AMBIENTAIS	32
2.4.1 Histórico e Evolução dos Materiais	32
2.4.2 Bioconstrução	33
2.4.3 Características dos Materiais Utilizados nos Tijolos Solo-cimento	34
2.4.3.1 Características do Solo	34
2.4.3.2 Características do Cimento Portland	36
2.4.4 Confecção de Tijolos Solo-cimento	37
2.4.4.1 Pesquisas com Resíduos Aplicados a Solo-cimento	38

CAPÍTULO I - CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E BIOLÓGICA DO RESÍDUO SÓLIDO (LODO) GERADO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA GRAMAME PARA UTILIZAÇÃO EM TIJOLOS SOLO-CIMENTO.	40
CAPÍTULO II - CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO RESÍDUO SÓLIDO (LODO) GERADO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA GRAMAME PARA UTILIZAÇÃO EM TIJOLOS SOLO-CIMENTO.	52
CAPÍTULO III - AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DO RESÍDUO SÓLIDO GERADO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA – GRAMAME EM TIJOLOS SOLO-CIMENTO.	65
CONCLUSÃO FINAL	77
Referências	78

LISTA DE FIGURAS

01. Fluxograma do Processo do Tratamento de Água em Estações de Tratamento	25
02. Representação da Composição do Solo	35
03. Figura Ilustrativa da Estação de Tratamento de Água – Gramame.	42
04. Análise de Demanda Bioquímica de Oxigênio e Demanda Química de Oxigênio do resíduo de Estação de Tratamento de Água – Gramame.	45
05. Perda de Água do resíduo sólido da Estação de Tratamento de Água- Gramame em estágio de evolução de sete (07) dias expostos ao sol.	47
06. Análise do Índice de Plasticidade com a misturas do resíduo + solo nas porcentagens 0%, 1%, 3%, 5%, 7% e 10%.	56
07. Curva Granulométrica do Resíduo Coletado na Estação de Tratamento de Água Gramame	58
08. Curva Granulométrico do Solo	59
09. Índice de Plasticidade do solo em pesquisa com as porcentagens de resíduo da Estação de Tratamento de Água – Gramame	61
10. Produção e Medição dos Tijolos Solo-cimento	68
11. Resultado da Resistência à Compressão Simples no período de 7 (sete) dias	69
12. Resistência à Compressão Simples no período de 28 (vinte e oito) dias	71

LISTA DE TABELAS

01. Características usuais do Lodo de Decantadores de ETAs que utilizam Sulfato de Alumínio como Coagulante	27
02. Aparência do lodo de sulfato de alumínio	27
03. Características típicas de lodos de sulfato de alumínio, férrico e Cal.	28
04. Classificação dos Solos de acordo com a ABNT NBR 6502:1995	36
05. Características usuais do lodo de decantadores de ETAs que utilizam sulfato de alumínio como coagulante.	43
06. Fluorescência de Raio-x (FRX), das Amostras Estudadas	46
07. Demanda Química e Bioquímica de Oxigênio do resíduo gerado na Estação de Tratamento de Água – Gramame.	48
08. Sólidos Totais, Fixos e Voláteis do resíduo gerado na Estação de Tratamento de Água – Gramame.	49
09. Características Físicas dos Solos para Fabricação de Tijolos Solo-cimento	57
10. Resultado Simplificado do Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade com adição de Lodo para confecção de Tijolos Solo-cimento	60
11. Desvio Padrão do resultado à Compressão Simples para 7 (sete) dias de cura dos Tijolos Solo-cimento	70
12. Desvio Padrão do resultado à Compressão Simples para 28 (vinte e oito) dias de cura dos Tijolos Solo-cimento	72

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, têm-se buscado novas soluções construtivas que envolvam a sustentabilidade ambiental através da diminuição/eliminação de desperdício das matérias-primas e produtos finais aliando isto à referência da cultura local. Os desperdícios são reduzidos através do uso racional dos materiais. Já as referências da cultura local culminam nas técnicas de construções com terra-crua (OLENDER, 2006).

Araújo (2012), afirma que uma habitação sustentável deve preconizar a harmonia entre clima, cultura, tradição, ao mesmo tempo em que conserva a energia e os recursos, bem como recicla os materiais. A exemplo da técnica de construção com solo-cimento, que envolve basicamente, a mistura de solo, cimento Portland e água, em que após compactados e secos possuem resistências mecânicas apropriadas para a construção civil.

Ainda na busca do equilíbrio entre homem e meio ambiente, as legislações ambientais apresentam medidas restritivas aos atos lesivos provocados contra o meio ambiente. Com relação aos resíduos sólidos à Lei nº 12.305, de agosto de 2010, referente à Política Nacional dos Resíduos Sólidos dispõe sobre objetivos, instrumentos e diretrizes para a gestão integrada dos resíduos sólidos em âmbito nacional, propondo-se desta forma a adoção de padrões de proteção à saúde pública e qualidade ambiental.

A preservação e conservação da saúde pública é exercida com a aplicação de um conjunto de ações socioeconômicas. Este conjunto de ações é conhecido como saneamento básico e tem por objetivo inibir, prevenir ou impedir a ocorrência de endemias ou epidemias veiculadas pelo meio ambiente, defendendo o direito de pleno gozo da saúde e o bem-estar da população. O saneamento básico compreende atividades de controle ambiental tais como: abastecimento de água potável; coleta e disposição sanitária de resíduos sólidos, líquidos e gasosos; drenagem urbana; controle de doenças transmissíveis; e qualquer atividade que vise à promoção da saúde e bem-estar público.

Destes mecanismos citados anteriormente vale destacar a importância da distribuição de água potável e a disposição ambientalmente adequada de resíduos sólidos, grandes problemas enfrentados ainda nos dias atuais.

A água é de fundamental importância para a manutenção da vida, por esse motivo o homem sempre se preocupou com o problema de sua obtenção em qualidade e quantidade de consumo. Já os resíduos sólidos constituem um problema não apenas sanitário e econômico, mas também estéticos. Os resíduos sólidos quando não gerenciados de forma adequada podem causar prejuízos à qualidade da vida humana e ambiental, por meio das diversas formas de contaminação que os resíduos apresentam em suas potencialidades.

Para a obtenção de água em quantidade e qualidade adequadas ao consumo humano, foram desenvolvidas técnicas que dispõem de tratamento cujos processos visam a remoção de impurezas da água.

Dada a necessidade de distribuição de água com qualidade destinada ao consumo humano, foram definidos pelo Ministério da Saúde – MS – em sua portaria nº 2914:2011, critérios de potabilização da água nos quais são obtidos através da adição controlada de produtos químicos durante o tratamento da água. Os tratamentos variam de acordo com os sistemas escolhidos podendo ser individuais ou coletivos, este último também conhecido como Estação de Tratamento de Água - ETA.

Durante este processo são gerados resíduos, comumente chamados de lodo, que, de modo geral, são constituídos por água e sólidos suspensos, resultantes do processo de tratamento. De acordo com Richter (2001), as principais fases de geração do lodo são os decantadores (ou flotadores) e a água de lavagem dos filtros, já que nestas fases são formados os flocos que serão retirados do processo de tratamento e encaminhados para o tratamento adequado. Ressalta-se que os flocos ao saírem do processo de tratamento são chamados de lodo e caracterizados como resíduo.

Em face do exposto, são necessários estudos científicos que busquem alternativas com finalidades de descarte ecologicamente corretos destes resíduos. Este postulado leva ao questionamento: O resíduo gerado na Estação de Tratamento de Água - Gramame pode ser utilizado na fabricação de tijolos solo-cimento?

O objetivo principal a que se designa esta pesquisa é analisar o resíduo industrial gerado pela Estação de Tratamento de Água -Gramame, visando seu aproveitamento na confecção de tijolos do tipo solo-cimento.

Para alcançar o objetivo principal pretende-se realizar:

- Caracterizar físico-quimicamente o resíduo (lodo) gerado na Estação de Tratamento de Água - Gramame;
- Caracterizar físico-quimicamente o solo utilizado para confecção dos tijolos;
- Avaliar bioquimicamente o resíduo (lodo) gerado na Estação de Tratamento de Água – Gramame;
- Determinar as Frações Granulométricas do resíduo (lodo) gerado na Estação de Tratamento de Água – Gramame;
- Determinar as Frações Granulométricas do solo utilizado para confecção dos tijolos;
- Determinar o Índice de Plasticidade do solo utilizado para confecção dos tijolos;
- Avaliar o Índice de Plasticidade do solo utilizado para confecção dos tijolos com adição de resíduo (lodo) nas porcentagens 1%, 3%, 5%, 7% e 10%;
- Avaliar o comportamento mecânico dos tijolos solo-cimento confeccionados com adição de resíduo (lodo) nas concentrações de 1%, 3%, 5%, 7% e 10%.

O referido trabalho torna-se justificado pela relevância que os temas abordados possuem na preservação e conservação ambiental tendo em vista os danos ambientais causados pelos descartes inadequados dos resíduos. Dividido em Introdução, Referencial Teórico e Capítulos em formato de artigos. Os capítulos se organizam da seguinte forma: O primeiro capítulo traz as discussões e resultados da caracterização físico-química e biológica do solo e resíduo utilizados na confecção dos tijolos solo-cimento; No segundo capítulo são determinadas as características físicas do resíduo (lodo) em estudo, solo, e o resultado entre a mistura dos dois elementos; No terceiro, e último, capítulo os tijolos solo-cimento são avaliados mecanicamente através da compressão simples, este resultado avaliará a possibilidade de reutilização do resíduo (lodo) em tijolos para habitação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PRINCÍPIOS DO DIREITO AMBIENTAL

Perante o ordenamento social e a regulamentação dos elementos que são parte constituinte na estruturação do Estado, o direito aponta o ordenamento de tais elementos. O conteúdo material apresentado na Constituição Federal de 1988 atribui, dentro outros, direitos e deveres, bem como as garantias fundamentais, individuais e coletivas, aos brasileiros nascidos e estrangeiros residentes no país. Destaca-se o direito à saúde expresso no art. 6º, Capítulo II, da Constituição Federal de 1988.

Czeresnia (2003, pag. 01), afirma que a promoção da saúde tem uma abrangência muito maior do que a limitação do campo específico da saúde, estando incluído o ambiente em sentido amplo, extrapolando o âmbito local e atingindo o global, bem como a incorporação dos elementos físicos, psicológicos e sociais. Desta forma, afirma-se que a causa e efeito, ou causalidade, resultando contra a saúde humana poderá estar ligada, direta ou indiretamente, à sadia qualidade do meio ambiente, ou salubridade ambiental.

As estratégias legais para a proteção dos recursos naturais e, por conseguinte, a promoção da saúde pública pode ser observada pela primeira vez, de forma explícita, na Constituição Federal de 1988 no art. 23, VI, onde há seguridade na proteção do meio ambiente e combate “à poluição em qualquer de suas formas”.

A importante discussão na esfera jurídica relacionada com o meio ambiente está ligada aos princípios que norteiam as relações do homem com o meio no qual ele se insere, com a finalidade de proteger qualquer forma de vida.

Um dos principais princípios ambientais relevantes neste momento é o do Desenvolvimento Sustentável, sobre o qual costuma-se limitá-lo ao princípio que atende as necessidades de desenvolvimento do presente sem comprometer as gerações futuras, conceito que surgiu através do relatório de Brundtland (AUGUSTIN e CUNHA, 2014). Em síntese, este princípio procura compilar o desenvolvimento econômico e social com a proteção do meio ambiente.

Outro importante princípio ambiental é o da prevenção ou precaução, que diante da “complexidade da reparação do dano ambiental” (Chiuvite, 2009), faz

uso de instrumentos legais que impõe severas multas e sanções, bem como a realização do Estudo de Impacto Ambiental e seu referido Relatório (EIA/RIMA) para prevenir e coibir as atividades e ações lesivas ao meio ambiente e à sadia qualidade de vida.

“O princípio da prevenção seria aplicado com o objetivo de impedir a ocorrência de danos ao meio ambiente, por meio da imposição de medidas de proteção nos casos de riscos ou impactos já conhecidos pela ciência. O princípio da precaução, por sua vez, seria invocado no caso de riscos ou impactos desconhecidos sugerindo cuidados antecipados e cautela para liberação de uma atividade” (CHIUVITE, 2009, pag. 01).

Paralelamente o princípio do Limite estabelece padrões de emissões para quaisquer elementos que seja prejudicial à sadia qualidade de vida e salubridade ambiental, tais como: partículas, ruídos, e a presença de corpos estranhos.

Observam-se todos estes princípios no art. 225 da Constituição Federal de 1988, que prevê que “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”.

Não obstante, a Política Nacional do Meio Ambiente – PNMA, Lei nº 6938:1981, em seu art. 4º visará, “III ao estabelecimento de critérios e padrões de qualidade ambiental e de normas relativas ao uso e manejo de recursos ambientais”, delegando funções de proteção e melhorias da qualidade ambiental aos órgãos constituintes do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA.

2.1.1 Saneamento Básico

A salubridade ambiental, conhecida como estado de higidez de populações urbanas e rurais, com o objetivo de inibir, prevenir ou impedir a ocorrência de endemias ou epidemias veiculadas pelo meio ambiente é alcançada através do saneamento ambiental que por meio de abastecimento de água potável, coleta e disposição ambientalmente adequada de resíduos

sólidos, líquidos e gasosos, e demais serviços e obras especializadas com o desígnio de proteger e melhorar as condições de vida urbana e rural (FUNASA, 2006).

Destes mecanismos citados anteriormente, destaca-se a importância da distribuição de água potável e a disposição correta de resíduos sólidos, que é um dos grandes problemas enfrentados ainda nos dias atuais.

A água é de fundamental importância para a manutenção da vida, por esse motivo o homem sempre se preocupou com o problema de sua obtenção em qualidade e quantidade de consumo. Já os resíduos sólidos constituem um problema não apenas sanitário e econômico, mas também estéticos, social e ambiental.

Para a obtenção de água em quantidade e qualidade adequadas para consumo humano, foram desenvolvidas técnicas de tratamento destas que variam de sistemas de tratamento individuais à sistemas de tratamento para grandes comunidades.

As Estações de Tratamento de Água – ETA, são conhecidas por modificar os padrões das águas *in natura* disponíveis no meio ambiente para suprir as necessidades de uso humano. As estações fazem parte do sistema de abastecimento de água potável e se caracterizam pela retirada de água da natureza adequando-a, sob forma da lei, para consumo humano (FUNASA, 2006, pag. 35).

Segundo Carvalho e Santos (2004, pag.05), as ETAs podem ser do tipo metálica aberta, compactada e convencional. O tipo de Estação de Tratamento de Água a ser escolhido dependerá do fim a que se destina. As Estações de Águas mais comum para tratamento de água bruta destinada ao consumo humano são as ETAs do tipo convencional.

Nas Estações de Tratamento do tipo convencional os processos comumente utilizados para a remoção de impurezas são: gradeamento, oxidação, coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, estabilização do pH e Fluoretação (CARVALHO e SANTOS, 2004, pag. 05). Porém rara são as Estações de Tratamento que necessitam de todas as etapas supracitadas, pois a decisão sobre os melhores processos para o tratamento da água terá como critério básico a qualidade da água bruta (VIANNA, 1997, pag. 67).

2.1.2 Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos

Entre os diversos elementos necessários para a sobrevivência do homem na Terra, a água constitui-se um dos elementos primordiais. Há tempos, vem-se encarando em diversos locais do país a escassez hídrica, ou ainda conhecida como seca que de acordo com Pizzatto (2009, pag. 287), é definida como um fenômeno que se caracteriza por apresentar uma precipitação “significativamente inferior aos valores normais, provocando um desequilíbrio hídrico, afetando negativamente o ciclo hidrológico”, processo de circulação de água na Terra necessário para manter o equilíbrio hídrico terrestre.

A falta de água não se dá somente pela sua ausência quantitativa, mas também da sua ausência qualitativa. Sendo assim, é necessária uma disponibilidade hídrica com características quali-quantitativas satisfatórias para a manutenção da vida.

Sob esta contextualização as estações de tratamento de água possuem a finalidade de disponibilizar água potável de qualidade. Sendo assim, integram o conjunto de serviços públicos necessários à promoção de saúde e bem-estar tendo em vista que a água é reconhecida como bem de primeira necessidade humana. Observa-se, portanto, o abastecimento de água potável, previsto na Lei de Saneamento Básico, Lei Federal nº 11.445:2007, *in verbis*:

Art. 2º Os serviços públicos de saneamento básico serão prestados com base nos seguintes princípios fundamentais:

I - Universalização do acesso;

Art. 3º Para os efeitos desta lei, considera-se:

I - Saneamento básico: conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de:

a) Abastecimento de água potável: constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e respectivos instrumentos de medição;

Art. 4º Os recursos hídricos não integram os serviços públicos de saneamento básico.

Parágrafo único. A utilização de recursos hídricos na prestação de serviços públicos de saneamento básico, inclusive para disposição ou diluição de esgotos e outros resíduos líquidos, é sujeita a outorga de direito de uso, nos termos da lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, de seus regulamentos e das legislações estaduais. (BRASIL, 2007)

Em atendimento aos critérios legais de saneamento fixados pela Presidência da República e com vistas à proteção da saúde humana, o Ministério da Saúde em sua portaria nº 2914:2011, fixou padrões de potabilidade da água para consumo humano, *in verbis*:

Art. 13. Compete ao responsável pelo sistema ou solução alternativa coletiva de abastecimento de água para consumo humano:

I - exercer o controle da qualidade da água;

III - manter e controlar a qualidade da água produzida e distribuída, nos termos desta Portaria.

Art. 27. A água potável deve estar em conformidade com padrão microbiológico, conforme disposto no Anexo I e demais disposições desta Portaria.

Art. 37. A água potável deve estar em conformidade com o padrão de substâncias químicas que representam risco à saúde e cianotoxinas, expressos nos Anexos VII e VIII e demais disposições desta Portaria (BRASIL, 2011).

Observa-se que os recursos hídricos não estão incluídos como **serviços** públicos por serem considerados de **domínio** público, gerido por entidades competentes previstos na Lei nº 9443:1997, art. 4º “a União articular-se-á com os Estados tendo em vista o gerenciamento dos recursos hídricos de interesse comum”, estando seus múltiplos usos assegurados no art. 2º, I e II, onde objetiva-se, *in verbis*:

I - Assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;

II - A utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável. (BRASIL, 1997)

Para o atendimento dos requisitos de universalização da água potável bem como a sua potabilização para a conservação da saúde e bem-estar da população são utilizadas nas estações de tratamento de água recursos químicos e mecânicos, que geram em seus processos produtivos os lodos de ETAs.

Em conformidade com as alternativas de disposição final de resíduos sólidos encontradas na Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei Federal nº 12305:2010, destaca-se, a disposição do lodo em corpos hídricos, e estabelece *in verbis* que:

Art.12. Estão sujeitos a outorga pelo Poder Público os direitos dos seguintes usos de recursos hídricos:

III - lançamento em corpo de água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final.

V- Outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água (BRASIL, 1997).

Por conseguinte, de acordo com o Decreto Estadual nº 19.260 de 31 de outubro de 1997 que regulamenta a outorga do direito de uso da água no Estado da Paraíba consta *in verbis*:

Art.6. Dependerá de prévia outorga da Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais, o uso de águas dominiais do Estado da Paraíba, que envolva:

III - qualquer outro tipo de uso que altere o regime, a quantidade e a qualidade da água (PARAÍBA, 1997).

Diante do postulado, é de fundamental importância observar que a existência de permissão do lançamento de efluentes sem prévio tratamento adequado em águas superficiais só ocorrerá quando cumprida as premissas observadas anteriormente, tendo em vista que o efluente lançado em condições indesejáveis pode provocar alteração do regime hídrico, a qualidade, a quantidade, e usos consultivos e não consultivos da água.

2.1.3 Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos

Para a melhor forma de gerenciamento dos resíduos sólidos instituiu-se, sob forma de Lei, a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS – Lei Federal nº 12305:2010 que dispõe sobre os princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento dos resíduos sólidos, estando nela contida as diretrizes, metas e ações para a gestão integrada e o adequado gerenciamento ambiental dos resíduos sólidos.

De acordo com a referida política estão sujeitas à obediência da lei todas as pessoas, *in verbis*, “Art.1. § 1º. Físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, responsáveis, direta ou indiretamente, pela geração de resíduos sólidos e as que desenvolvam ações relacionadas ao [...] gerenciamento de resíduos sólidos” (BRASIL, 2010).

Ainda de acordo com a PNRS a gestão dos resíduos sólidos deverá ser feita de forma integrada entre o Governo Federal, Estados, municípios e particulares, para que se possa alcançar o objetivo de, dentre outros, não gerar, reduzir, reutilizar, reciclar e tratar os resíduos sólidos gerados nas unidades transformadoras, bem como a disposição final ambientalmente correta destes resíduos.

O art. 6º da Política Nacional de Resíduos Sólidos traz como princípios: I) a prevenção e a precaução; III) a visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos, que considere as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública; e IV) o desenvolvimento sustentável. Corroborando com as teorias de políticas públicas voltadas para o desenvolvimento social e apoiadas na sustentabilidade ambiental nos diversos níveis; e de responsabilidade das pessoas físicas e jurídicas.

Não obstante ainda na referida Política traz em seu art. 8º os instrumentos que a tornam essenciais às ações voltadas para uma eficiente gestão de resíduos através da tecnologia e inovação: VI) a cooperação técnica e financeira entre os setores público e privado para o **desenvolvimento de pesquisas de novos produtos**, métodos, processos e **tecnologias** de gestão, reciclagem, **reutilização**, tratamento de resíduos e disposição final ambientalmente adequada de rejeitos; e VII) a pesquisa científica e tecnológica.

Cabe ainda mencionar que, diante das colocações anteriores, caracteriza-se, segundo a Lei Federal 9.605:1998 de crimes ambientais toda atividade que, *in verbis*, possa:

Art. 54. Causar poluição de qualquer natureza em níveis que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora.

Faz-se, assim, necessária a adoção de medidas ecologicamente corretas e economicamente viáveis para a destinação do lodo de ETA – Gramame. Visto que, o intenso processo de urbanização trouxe para as sociedades práticas de uma conjuntura caracterizada pela degradação de recursos naturais, acarretando o estabelecimento de uma nova forma de convivência entre homem-natureza; por vezes pouco benéfica para ambas as partes.

2.2 GERENCIAMENTO AMBIENTAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

O gerenciamento ambiental, sob o pensamento Dijkema et al. (2000), emerge como um novo paradigma. Neste novo paradigma o conceito de resíduo passa a ser entendido como matéria-prima de um novo processo. Portanto, um produto só é considerado resíduo quando todo o seu potencial para matéria-prima já tenha se exaurido.

Uma das alternativas de gerenciamento destes resíduos encontra-se na logística reversa, que se caracteriza pelas atividades clássicas da logística de forma sistêmica com as atividades de devolução de produtos, conservação, reciclagem e destruição nas quais definem o ciclo completo da cadeia de produção.

Rodrigues (2012), explica que uma das alternativas existentes para melhor gestão dos resíduos é a reciclagem secundária, ou seja, reciclagem do resíduo em outro processo produtivo.

As vantagens do reaproveitamento de resíduos poluentes provenientes do setor produtivo podem ser analisadas pela redução do consumo de matéria-prima natural e de poluição ambiental. Portanto, a reciclagem

destes materiais denominados resíduos sólidos, vincula o crescimento industrial à problemática ambiental, tendo como consequência o desenvolvimento sustentável (RODRIGUES, 2012, pag.20).

Butter (2003), afirma que os resíduos gerados nos processos industriais constituem a perda do que se pretende focalizar dentro do ciclo reverso induzido pela não geração e quando a sua geração for inevitável “indicar formas de conduzir e aproveitar estes resíduos como uma fonte de matéria-prima e novos negócios em conformidade com os preceitos da gestão ambiental” (BUTTER, 2003, pag.40).

Não obstante, dentro dos preceitos da gestão ambiental está o princípio da prevenção à poluição, na qual traz como base ideológica a prevenção a danos ambientais, a redução, reciclagem e reuso, do tratamento e disposição adequada dos rejeitos (BRAGA et al, 2005).

Desta forma, a gestão de resíduos sólidos e o desenvolvimento de tecnologias limpas apropriadas mostram-se capazes de absorver em seu processo produtivo estes resíduos possibilitando eliminar, ou reduzir, as destinações inadequadas.

2.2.1 Classificação dos Resíduos Sólidos

O potencial dos resíduos sólidos deverá ser avaliado de acordo com os seus constituintes ou através da atividade produtiva que lhe deu origem; ou seja, são classificados de acordo com sua composição ou origem.

A classificação de um resíduo sólido é feita através da identificação do processo produtivo ou atividades que lhe deram origem, bem como da sua composição e características. Classifica-se um resíduo sólido de duas formas: quanto à sua origem, e quanto ao seu risco potencial de contaminação do meio ambiente (MANUAL DE GERENCIAMENTO INTEGRADO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS, 2001, pag. 25). Na classificação quanto à origem os resíduos são agrupados em cinco grandes grupos, a saber: doméstico ou residual; comercial; público; domiciliar especial; e de fontes especiais (serviços de saúde, industrial, radioativo, entre outros).

Através da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 10004:2004, os resíduos sólidos são classificados como:

3.1 Resíduos Sólidos: Resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

Carvalho (2005) ressalta que a importância na busca de alternativas técnicas e tecnológicas para aproveitamento, e reaproveitamento, destes resíduos poluentes.

2.2.2 Resíduo como Potencial Poluidor

As disposições inadequadas dos resíduos ocasionam modificações nas características ambientais do meio em que foi disposto, podendo poluir ou contaminar o meio ambiente. Sobre poluição, de acordo com Pizzatto e Pizzatto (2009), entende-se por qualquer modificação nas propriedades físicas, químicas ou biológicas do ambiente; enquanto que, o meio é considerado contaminado, segundo os mesmos autores, quando existir a mínima ameaça à saúde ambiental.

Os resíduos sólidos constituem um problema sanitário de importância, quando não recebem os cuidados adequados e as medidas tomadas para a solução adequada deste problema. É de notar-se também a possibilidade de contaminação do homem através do contato direto do homem com os resíduos ou pela massa de água por estes poluídas.

Os resíduos mais complexos para tratamento e destinação final ambientalmente correta, destaca-se os resíduos industriais visto que possuem processos de transformação da matéria prima mais variadas e heterogêneas.

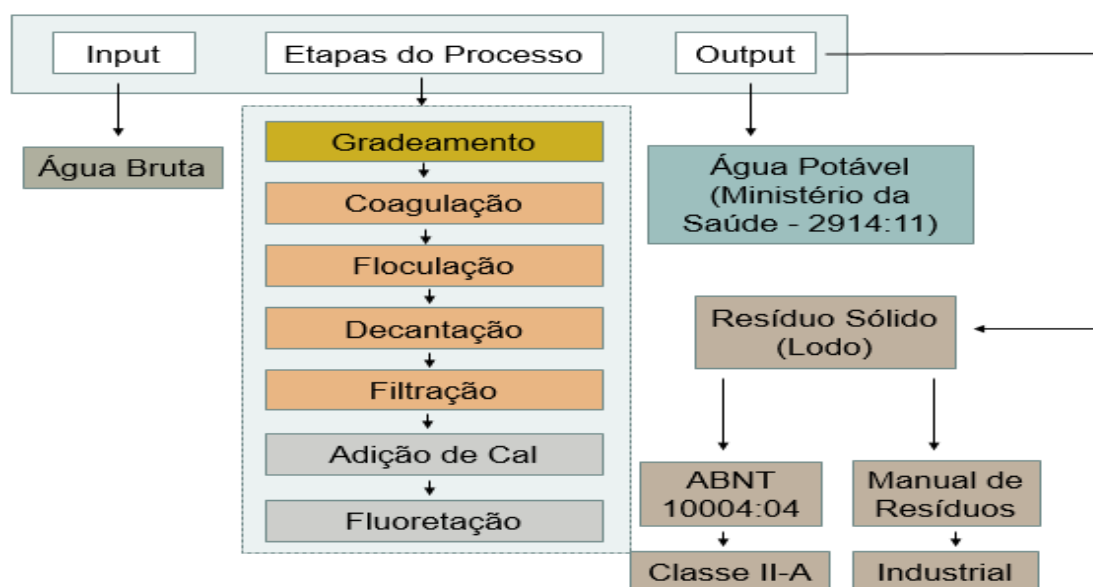
Seus processos de transformação complexos caracterizam os resíduos de igual complexidade (MONTEIRO, 2006).

2.2.3 Geração de Resíduo em Estação de Tratamento de Água

Como parte das alternativas sanitárias, as estações de tratamento de água caracterizam-se por retirar e modificar os padrões das águas *in natura* disponíveis no meio ambiente, adequando-as sob forma da lei para distribuição e consumo humano. Resíduo gerado durante este processo é chamado de lodo e são constituídos de água e sólidos em suspensão. De acordo com Richter (2001) e Pereira (2011), as características atribuídas ao resíduo variam de acordo com o coagulante utilizado durante o processo de tratamento.

Tradicionalmente para a remoção das impurezas da água são utilizados processos tais como: gradeamento, oxidação, coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, estabilização do pH e fluoretação; sendo a escolha dos processos e os produtos químicos ideais para cada processo determinados pela qualidade da água bruta captada (VIANNA, 1997). Como representado na figura 01.

Figura 01: Fluxograma do Processo do Tratamento de Água em Estações de Tratamento.



Fonte: Elaborado pela autora, 2016.

O processo de tratamento de água é separado em três fases, a saber: preliminar, primária e secundária. Na fase preliminar são realizadas as remoções de material particulado grosseiro, não necessitando do uso de produtos químicos. A fase primária é a fase principal no processo de transformação da água bruta em água tratada, pois nela são adicionados os produtos químicos responsáveis por tais modificações. Já na fase secundária são feitas as correções químicas necessárias para a distribuição da água dentro dos padrões determinados pelo Ministério da Saúde.

Considera-se como lodo de estação de tratamento de água o resíduo constituído de água e sólido suspenso originalmente contidos na fonte de água, acrescidos de produtos químicos resultantes dos reagentes aplicados na água durante o processo de tratamento. As duas fontes mais importantes são os lodos decantados (ou flotadores) e a água de lavagem dos filtros (RICHTER, 2001).

Fadenelli (2010), afirma que o lodo de decantador, em geral, contém a maior parte dos sólidos removidos no tratamento da água. A segunda fonte do lodo é a lavagem dos filtros, em que é feita a injeção de água limpa com fluxo oposto ao utilizado para filtrar a água removendo o lodo depositado nos filtros.

Vianna (1997), explica que nos filtros mais comuns, de fluxo descendente, a limpeza do filtro é feita através da introdução de água potável na camada suporte, com velocidade suficiente para expandir o leito de areia e escoar a água no sentido ascendente (oposto ao da filtragem) por todo o filtro. Vianna (1997), ainda explica que a água de lavagem é recolhida por calhas coletoras instaladas ao lado dos filtros e seu destino são, no geral, lagoas especialmente projetadas para o recebimento do lodo.

2.2.4 Caracterização dos Resíduos Sólidos Gerados em Estações de Tratamento de Água

Em conformidade com Richter (2001), “as características dos lodos de uma estação de tratamento de água dependem primordialmente da cadeia de processos” (Richter, 2001, pag. 02). Aprofundando a questão, Pereira (2011), considera que o tipo de tratamento e os coagulantes utilizados durante o

processo de tratamento da água é quem define as características do resíduo (lodo).

De acordo com Richter (2001, pag. 04), em uma estação de tratamento de água convencional o lodo proveniente da descarga de decantadores, que utiliza coagulantes a base de alumínio tem características semelhantes ao mostrado na Tabela 01.

Tabela 01: Características usuais do lodo de decantadores de ETAs que utilizam sulfato de alumínio como coagulante.

DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	pH -	Sólidos Totais (%)	Al ₂ O ₃ 5,5H ₂ O (%ST)	Inorgânicos (%ST)	Matéria Orgânica (%ST)
30 a 300	30 a 5000	6 a 8	0,1 a 4	15 a 40	35 a 70	15 a 25

Fonte: Ritcher, 2001, pag.04.

De acordo com Silva e Oliveira (2001), o teste de Demanda Bioquímica de Oxigênio é frequentemente utilizado, pois é capaz de determinar o potencial de poluição em águas Residuárias domésticas e industriais; caracterizando-se como um dos testes mais importantes para as atividades de controle ambiental. O teste de Demanda Química de Oxigênio, semelhante ao teste de demanda bioquímica, auxilia na determinação e controle do oxigênio dissolvido em meio ácido, no qual leva a degradação da matéria orgânica (SILVA e OLIVEIRA, 2001).

Richter (2001), mostra na Tabela 02, a aparência e característica do lodo de sulfato de alumínio, que variam com a concentração de sólidos.

Tabela 02: Aparência do lodo de sulfato de alumínio.

Concentração de sólidos (%)	Aparência do lodo
0-5	Líquido
8-12	Esponjoso, semissólido
18-25	Argila ou barro suave

Fonte: Richter, 2001, pag. 05.

Na Tabela 03, é possível observar a semelhança dos lodos provenientes do sulfato de alumínio e sais de ferro.

Tabela 03: Características típicas de lodos de sulfato de alumínio, férrico e Cal.

/	Sólidos Totais (%)	Sulfato (%)	pH
Sulfato de Alumínio	0,1 - 4	15 - 40	6 - 8
Sulfato de Ferro	0,25 - 3,5	4,6 - 20,6	7,4 - 9,5
Cal	2-25	75	-

Fonte: Richter, 2001, pag. 05. Adaptado.

As tabelas 2 e 3 mostram, de forma generalizada, os diversos lodos peculiares a cada tipo de coagulante utilizado atualmente nas estações de tratamento de água no Brasil.

2.3 DESENVOLVIMENTO SOCIOECONÔMICO

Os esforços despendidos para o alcance da comunidade humana ideal pressupõem um desenvolvimento entendido como sustentável, no qual deva garantir a sobrevivência atual e condições dignas para a sobrevivência futura através da mudança na forma de pensar e agir entre o homem e a natureza. Uma vez que a característica mais proeminente da biosfera é a sua capacidade inerente de sustentar a vida, uma comunidade humana sustentável terá que ser planejada de maneira tal que os seus estilos de vida, tecnologias e instituições sociais respeitem, apoiem e cooperem com a capacidade inerente da natureza de manter a vida (CAPRA, 2006).

O desenvolvimento sustentável é entendido por Sachs (1993), como um processo de transformação que melhora as condições de vida das comunidades humanas e, ao mesmo tempo, respeita os limites e a capacidade de carga na exploração dos ecossistemas. Este termo foi reconhecido através do relatório de Blundtland da Comissão Mundial sobre meio Ambiente e Desenvolvimento.

Na opinião de Hasenclever e Tigre (2002, pag. 445), determinadas “normas técnicas são impostas pela regulamentação, indicando que nem sempre o mercado é o agente mais eficiente para permitir uma maior harmonia entre os interesses dos produtores e consumidores”, cabendo ao Estado arbitrar os conflitos existentes na defesa de interesses sociais, econômicos e ambientais.

As ações governamentais estão divididas, de acordo com Lucchese (2004), em atividades diretas de produção e serviços pelo próprio Estado, e em atividades de regulação que influenciam nas realidades econômica, social, ambiental, espacial e cultural; estas ações são chamadas de políticas públicas.

Diante disto, e conforme as atribuições conferidas ao governo, às ações executadas por ele devem representar e atender aos anseios do Estado e da população.

É perceptivo que as questões ambientais não se resumem ao contexto ecológico. É importante, também, destacar a observação feita por Layrargues (2004), na qual afirma que em um contexto social as relações entre natureza e sociedade são indissociáveis, muito embora, geralmente, sejam tratadas de forma isolada (LAYRARGUES, 2004).

O padrão cultural determina e modifica os padrões de comportamento social, desta forma, a organização e funcionamento da estrutura social também influenciam o meio ambiental. Um dos exemplos desta influência pode ser destacado pelo saneamento básico que segue o padrão cultural, portanto refletido no comportamento social, bem como interfere nas questões ambientais ora na disponibilidade de recursos naturais ora absorvendo os resíduos (MARCHI, 2015).

De acordo com Marchi (2015), “o crescimento populacional, a consequente expansão territorial urbana, a ampliação do sistema de produção e consumo industrial têm contribuído para agravar as condições ambientais” (MARCHI, 2015, pag. 92). Desta forma, inevitavelmente, as ações humanas geram resíduos que, pelas suas características, torna difícil a sua absorção e decomposição pelo meio ambiente, o que, conseqüentemente, acarreta danos, por vezes irreversíveis, ao meio ambiente.

Muito embora tais processos de interações sejam reconhecidos como dependentes, não se pode negar a existência de uma desarmonia em que, por vezes, as sociedades humanas impõem suas necessidades ao meio ambiente

de forma negativa, trazendo assim um desequilíbrio ambiental, social e econômico. O reconhecimento deste desequilíbrio vem trazendo uma nova forma de pensar e agir das sociedades atuais.

Trata-se de pensar e agir de forma sustentável. Ou seja, a sustentabilidade é o viés que pode tornar uma comunidade desenvolvida diante dos aspectos: sociais, políticos, econômicos, culturais e, principalmente, mantendo uma relação de respeito com o meio ambiente.

Os agravos socioambientais do não gerenciamento adequado são evidencialmente efetivados quando dispostos no meio ambiente de forma inadequada, tornando-se, extremamente danosos, uma vez que estes rejeitos podem conter em sua composição componentes químicos ou biológicos que causem riscos de contaminação (JACOBI e BENSEN, 2011). No Brasil, os riscos potenciais de contaminação pelos resíduos seguem critérios determinados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT –, através da norma NBR 10004 de 31 de maio de 2004.

Figueiredo (1995) discute esta questão através do conceito designado a resíduo sólido quando o repensa que em uma “ótica mais ampla, a conceituação de resíduo pode ser apresentada como um descontrole entre os fluxos de certos elementos em um dado sistema ecológico implicando na própria instabilidade do sistema”, tendo em vista que nos sistemas ecológicos não existe desperdício energético, postulando assim a necessidade de um gerenciamento integrado dos resíduos sólidos gerados como subprodutos ambientais pelo homem em busca da manutenção do equilíbrio do ecossistema.

As interações entre comunidade e meio ambiente apresentam uma sintonia na qual o meio e o homem se influenciam, e modificam-se, mutualmente. Tais modificações podem ser reconhecidas através da cultura e comportamentos sociais, ou ainda das tecnologias desenvolvidas pela comunidade; o que leva a uma coevolução do conhecimento.

O desenvolvimento da sociedade humana atual pareceu desconhecer a capacidade limite do meio ambiente, e caracterizou o seu desenvolvimento como desordenado, causando altos níveis de poluição e, conseqüentemente, uma degradação ambiental em escalas capazes de afetar e limitar a sua permanência em determinados locais.

Ciente, por fim, de suas atividades negativas para o meio, o homem começa a desenvolver mecanismos de redução e controle desta degradação, por meio de ações e desenvolvimento tecnológico. A partir desta reflexão Cattani (2005, pag. 04), afirma que é na inovação social onde “se encontra a compreensão de como a tecnologia deve associar-se a formação de cidadãos” capazes de determinar suas necessidades de bens e consumo.

Lianza (2005), corrobora com o contexto das inovações no campo tecnológico afirmando que estas devem estar de acordo com as necessidades locais. A busca deste novo conceito de tecnologia é designada por Bartholo (1999), como tecnologias da sustentabilidade que se referem aos conhecimentos e habilidades locais aplicados ao modo de organização social, processos de produção e comercialização de produtos; ou seja, as tecnologias da sustentabilidade devem visar um desenvolvimento local dentro dos moldes culturais de cada localidade e o meio ambiente.

Surge neste cenário o ecodesenvolvimento que busca promover estratégias de desenvolvimento sustentável através da recirculação ecológica e tecnológica de subprodutos, resíduos e detritos, e os reintegram como complementares às atividades humanas, ou seja, a tecnologia e racionalização dos resíduos passam a ser reutilizados e/ou reaproveitados em diversos setores das atividades humanas (BUTTER, 2003).

Desta forma, a gestão de resíduos sólidos e o desenvolvimento de tecnologias limpas apropriadas capazes de absorver em seu processo produtivo estes resíduos poluentes, possibilitam eliminar, ou reduzir, as destinações inadequadas evitando assim danos ambientais adversos.

Há tempos pesquisadores procuram tecnologias que aprimorem suas técnicas de beneficiamento de matérias-primas, bem como a melhoria dos seus produtos fabricados buscando atender às exigências do mercado atual e às exigências ambientais impostas para a preservação e conservação do meio natural que existe hoje em dia.

2.4 TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

A problematização das ações humanas, que causam danos e degradação, contra o meio ambiente tem levado ao reconhecimento da necessidade de transformações nas tecnologias ambientais (JABBOUR, 2009). A transformação especificamente no campo tecnológico se dá pois é neste ramo científico que são executados processos onde os produtos gerados possuem baixa decomposição no meio ambiente, além do alto risco de poluição e contaminação ambiental.

Diante desta perspectiva, Barbieri (2004), afirma que são “os avanços no campo da ciência e tecnologia que vão possibilitar o surgimento de novos produtos e processos que aumentam constantemente a eficiência dos recursos produtivos e reduzem os níveis de emissão de poluentes” (BARBIERI, 2004, pag. 75). Sendo, portanto, as mudanças tecnológicas um importante fator para o alcance de uma suposta convivência harmônica entre o meio ambiente e o homem.

As tecnologias ambientais, para tanto são caracterizadas, de acordo com a Agenda 21 (ONU, 1992), por buscarem a proteção do meio ambiente, serem menos poluentes, utilizarem os recursos de forma sustentável, reciclarem resíduos e produtos, além de dejetos resíduos, de forma mais aceitável que as tecnologias vigentes. Tais ações buscam como um todo a proteção do meio ambiente sob bases mais sustentáveis.

2.4.1 Histórico e Evolução dos Materiais

A evolução dos materiais encontra-se intimamente relacionada com a evolução do homem perante a busca para suprir as suas necessidades básicas como alimentação, vestimenta e moradia. Tal importância é elucidada pela nomenclatura das eras vividas pela humanidade, a exemplo Idade da Pedra, Era do Bronze entre outros (NAVARRO, 2006).

A determinação destas eras, ou história da humanidade, é representada através de achados arqueológicos nos quais, de forma pouco precisa, estabelecem inícios e durações de cada era (NAVARRO, 2006).

A história da humanidade está, principalmente, dividida nas idades: Pré-história, Idade Antiga, Idade Média, Idade Moderna e Idade Contemporânea (SILVA, 2015). Destacar-se-á, neste trabalho, a idade pré-histórica, por ser conhecida pelas primeiras evoluções do conhecimento humano e suas iniciais formas de organização social (GOMES, 2015).

A pré-história também se encontra subdividida em: Paleolítico (Idade da Pedra Lascada), Neolítico (Idade da Pedra Polida), e Idade dos Metais. O paleolítico é caracterizado pelo modo silvestre de sobreviver, nos quais eram baseados na coleta de alimentos, nomadismo e refúgio em cavernas. No neolítico é destacado o desenvolvimento da agricultura, de vestimentas, domesticação de animais, e as primeiras construções para moradia do tipo palafitas. Já na idade dos metais é destacada pelo início do uso de metais como cobre e ouro para confecção de instrumentos, ferramentas e armas (GOMES, 2015).

Navarro (2006), afirma que na construção de moradias as inovações tecnológicas, destacadas no neolítico, permearam o uso de materiais estruturais e combinações ainda não conhecidos. “Dentre as inovações tecnológicas encontra-se a estratégia de construção de casas pelo uso de argila reforçada por resíduos vegetais” (NAVARRO, 2006, pag. 04).

Perece-se através de uma breve explanação que a percepção do homem da necessidade de moradias é conhecida desde a idade da pedra lascada, mas é apenas no neolítico que as primeiras construções começam a ter destaque na história da construção civil.

2.4.2 Bioconstrução

A bioconstrução é caracterizada como construções com preocupações ecológicas em todas as etapas construtivas do projeto, tornando-se cada vez mais atrativa nos projetos de pesquisa nesta área.

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2008), a bioconstrução são “construções de ambientes sustentáveis por meio de uso de materiais de baixo impacto ambiental, adequação da arquitetura ao clima local e tratamento de resíduos” (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2008, pag.09).

Cantarino (2010), afirma que casas construídas com paredes de terra, a exemplo do Adobe, Solo-cimento, Pau a Pique e Taipa, possuem a vantagem de proporcionar um maior conforto térmico e acústico; a justifica dá-se pela largura das paredes, o que retarda a entrada de calor no verão e a perda de calor no inverno, bem como são próprias destes tipos de paredes a propriedade de “respirar” o que mantém a umidade relativa do ar entre 40% e 60%.

Diante da facilidade na produção, os tijolos de solo-cimento, também conhecidos como Bloco de Terra Comprimida - BTC, vêm sendo desenvolvidos para determinar a viabilidade de utilização de resíduos, de diversas origens.

Os tijolos solo-cimento são definidos por Ferreira Filho (2015), como “material obtido através da mistura homogênea de solo, cimento e água, em proporções adequadas e que, após compactação e cura úmida, resulta num produto com características de durabilidade e resistências mecânicas” adequadas para utilização na construção civil (FERREIRA FILHO, 2015, pag. 02).

2.4.3 Características dos Materiais Utilizados nos Tijolos Solo-cimento

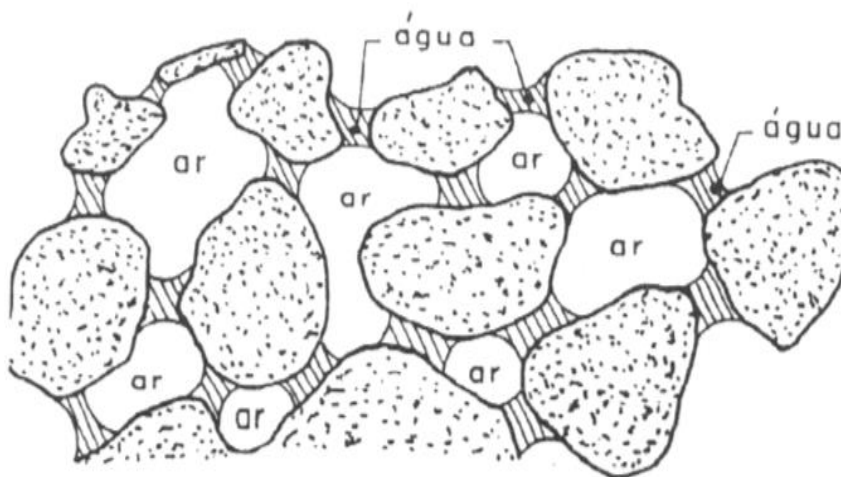
De acordo com Gomes (2015), a caracterização dos materiais tem como objetivo classifica-los através de sua composição e estrutura. Esta classificação se tornou imprescindível na investigação e determinação das propriedades existentes nos materiais, pois possui a finalidade de aplica-los de forma útil nas inovações tecnologias e no melhoramento das tecnologias já existentes, como é o caso dos tijolos solo-cimento.

2.4.3.1 Características do Solo

Considerado como material de grande abundância na superfície terrestre, o significado e a utilidade do solo varia de acordo com cada ciência (LIMA, 2006; EMBRAPA, 1999). Ainda de acordo com o autor, a composição do solo é determinada por três fases: sólida, líquida e gasosa. A fase sólida é constituída por minerais na forma de grãos e matéria orgânica quando presente; a fase

líquida é composta basicamente de água; e a fase gasosa é formada pelo ar e vapores presentes nos poros (LIMA, 2006). Como mostrado na figura 02.

Figura 02: Representação da Composição do Solo.



Fonte: Grande, 2003, pag. 04.

De acordo com Naime e Spilki (2012), os solos são resultantes de processos intempéricos de fenômenos químicos, físicos e biológicos. Guerra (1987), amplia a discussão afirmando que solo é a “camada superficial de terra arável possuidora de vida microbiana” (GUERRA, 1987, pag. 397). Esta afirmação é defendida pelo referido autor por existir uma diferença primordial entre solo e rocha decomposta. Esta diferença é determinada pelo estado mais avançado na decomposição, onde nos solos existem vida microbiana ou contrário das rochas decompostas.

Por fim o solo pode ser considerado como uma reunião de partículas unitárias de areia, silte e argila em partículas compostas ou grumos (TOMÉ JR, 1997, pag. 20), em que suas estruturas estão classificadas conforme tamanho. No Brasil a classificação do solo é feita através da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 6502:1995. Como determina a referida norma na tabela 04.

Tabela 04: Classificação dos Solos de acordo com a ABNT NBR 6502:1995.

Classificação	Diâmetro (mm)
Pedregulho	> 2,0
Areia Grossa	0,6 a 2,0
Areia Média	0,2 a 0,6
Areia Fina	0,06 a 0,2
Silte	0,06 a 0,002
Argila	< 0,002

Fonte: ABNT NBR 6502, 1995.

Estas divisões ocorrem de forma variável nos solos sendo originadas dos diversos intemperismos que a rocha mãe sofre ao longo da vida, ou seja, as proporções relativas destas classificações permitem definir a sua textura.

2.4.3.2 Características do Cimento Portland

Conhecido por suas qualidades mecânicas e amplamente utilizado na construção civil, o cimento Portland é caracterizado como um pó fino que possui propriedades ligantes, aglomerantes ou aglutinantes, que quando misturado a água reage quimicamente, tornando-o endurecido (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2002).

Sua ampla utilização na construção civil é discernida entre concretos e argamassas, dependendo do material a ser combinado ao cimento. A combinação entre materiais como: areia, brita, cal e outros, bem como as proporções, determinam a sua rigidez. Consequentemente a escolha e aplicação de concreto ou argamassa é definido de acordo com a necessidade da obra.

O cimento Portland é essencialmente composto por clínquer, tendo a adição de outras matérias-primas com o objetivo de potencializar as propriedades mecânicas do cimento. O clínquer é obtido através de rochas calcárias e argilas em forno giratório e em alta temperatura interna; em seguida bruscamente esfriado e moído.

As adições de diferentes matérias-primas tais como: gesso, escórias de alto forno, pozolanas e materiais carbonáticos; são fundamentais para aprimorar as diversas qualidades do cimento.

O gesso, quando associado ao cimento, tem a capacidade de controlar o tempo de pega do cimento, evitando o rápido endurecimento do clínquer quando associado à água. As escórias de alto forno e os materiais pozolânicos conferem, respectivamente, maior durabilidade e resistência, e impermeabilidade ao cimento. Já os materiais carbonáticos atribuem ao cimento uma maior plasticidade, possibilitando uma maior maleabilidade (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2002).

Destaca-se que o clínquer e o gesso são os únicos componentes essenciais para a confecção do cimento, sendo os demais componentes adicionados para potencializar as características já existentes no clínquer.

2.4.4 Confecção de Tijolos Solo-cimento

Os tijolos monolíticos de solo-cimento são resultantes da combinação em proporções adequadas de solo, cimento e água, e após compactados e cura úmida apresentam-se como um produto de alta resistência mecânica, podendo ser diversificadamente utilizado na construção civil (FERREIRA FILHO, 2015).

O método de construção com tijolos monolíticos ganha espaço no ramo da construção civil por apresentar algumas vantagens como rapidez na construção do espaço, menor custo de produção, e possibilidade de fabricação no local da obra. Porém para a confecção destes tijolos é importante estar atento aos parâmetros físicos do solo a ser utilizado. A não observância destas características pode ser prejudicial à fabricação dos tijolos por perturbar a relação entre os materiais utilizados. Destaca-se, também, que a água utilizada seja potável, livre de impurezas biológicas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2000).

A determinação da mistura solo/cimento é realizado através de ensaios buscando determinar a menor quantidade de cimento capaz de estabilizar o solo na forma de solo-cimento. No geral, os solos com maiores teores de areia estabilizam-se com menores quantidades de cimento; porém teores de silte e

argilas no solo são importantes para permitir que ao retirar o tijolo da prensa de compactação não se quebre.

Para a confecção de tijolos são utilizadas prensas de compactação. Estas prensas são, atualmente, comercializadas em grande variedade que vão de manuais à máquinas hidráulicas.

As etapas para a confecção dos tijolos monolíticos são iniciadas com a retirada do solo da jazida e prévio descanso, necessário para que a água existente possa evaporar. O solo a ser retirado não deve conter matéria orgânica sendo indicado os solos da camada mais profundas do substrato.

2.4.4.1 Pesquisas com Resíduos Aplicados a Solo-cimento

Delacort (2002), realizou estudos experimentais de resistência a compressão substituindo parcialmente o cimento Portland por resíduo de cerâmico moído. Seus resultados levaram a considerar que das amostras analisadas as substituições de 25 e 57% do cimento por material cerâmico puderam produzir blocos de solo-cimento com resistências superiores a 2 MPa.

Outro estudo realizado por Millani (2006), visou avaliar a adição de casca de arroz nas propriedades físico-mecânicas da mistura de solocimento, e seu resultado mais promissor foi destacado na composição com mistura de solo arenoso + 12% da combinação (de 80% de cimento + 20% de casca de arroz), nas quais apresentaram potencialidade para atender às especificações da NBR 8492 (ABNT, 1992d), empregada para tijolos prensados de solocimento, como afirma a autora.

Ainda são destacados os estudos realizados por Miranda (2011), em que houve a substituição por resíduos gerados nas indústrias de confecção de cavacos de madeira. O resíduo conhecido como grits tem origem durante a etapa de recuperação do licor branco utilizado no cozimento dos cavacos. Seus resultados mostraram que a mistura solo-cimento-grits, em todos os traços aplicados a resistência à compressão obtiveram valores médios superiores a 2 MPa. Este estudo revela um grande benefício ambiental ao destacar uma destinação adequada ao referido resíduo.

No uso específico de resíduo de Estação de Tratamento de Água (ETA), Rodrigues (2013) concluiu que o lodo pode ser adicionado parcialmente na fabricação de tijolos solo-cimento, porém de forma restritiva. A justificativa relaciona-se com as características química, física e mineralógicas muito distintas do solo e lodo utilizado na pesquisa, bem como com o aumento do teor de partículas finas causadas ao solo pelo lodo.

CAPÍTULO I

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E BIOLÓGICA DO RESÍDUO SÓLIDO (LODO) GERADO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA GRAMAME PARA UTILIZAÇÃO EM TIJOLOS SOLO-CIMENTO.

Resumo

Buscando atender às exigências ambientais propostas para a preservação e conservação do meio natural, os estudos vêm aprimorando as suas técnicas no beneficiamento de matérias-primas. Estes estudos visam a viabilidade de utilização de resíduos que sejam capazes de melhorar/estabilizar os produtos fabricados. Sob esta perspectiva, foram estudadas as características microestruturais e biológicas do resíduo (lodo) gerado na Estação de Tratamento de Água – Gramame, utilizado posteriormente na confecção de tijolos solo-cimento. Foram realizadas as análises de Fluorescência de Raio-X (FRX), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Sólidos Totais, Fixos e Voláteis. Os resultados obtidos na Fluorescência de Raio-X mostram que a composição do resíduo e do solo são muito semelhantes, variando em poucas porcentagens de óxidos presentes na composição. Os resultados de DBO e DQO, úmido e seco, quando comparados, mostraram uma considerável diminuição de matéria orgânica presente no lodo seco.

Palavras-Chave: Resíduo Sólido, Lodo, Estação de Tratamento de Água, Solo-cimento.

Abstract

Seeking to meet the environmental requirements proposed for preservation and conservation of the nature, studies have improved their techniques in the processing of raw materials. These studies aimed at the use of waste viability that are able to improve/stabilize manufactured. From this perspective, we

studied the microstructural and biological characteristics of the waste (sludge) generated in the Water Treatment Plant - Gramame later used for making soil-cement bricks. Were carried out fluorescence analysis of X-ray (XRF), Chemical Oxygen Demand (COD), Biochemical Oxygen Demand (BOD) and Total Solids, Fixed and Volatile. The results obtained in X-ray fluorescence showed that the residue composition and soil are very similar, ranging from a few percentages of oxides present in the composition. The results of BOD and COD, wet and dry, when compared, showed a significant reduction of organic matter present.

Keyword: Solid Waste, Sludge, Water Treatment Plant, Soil-cement.

1 INTRODUÇÃO

O sucesso na evolução de diversas populações sempre esteve relacionado com à salubridade ambiental, em que as atividades antrópicas interferem de forma direta na proteção da saúde pública.

A preservação e conservação da saúde pública dá-se através de um conjunto de ações socioeconômicas que têm por objetivo de inibir, prevenir ou impedir a ocorrência de doenças veiculadas pelo meio ambiente, defendendo o direito à saúde e ao bem-estar da população. A este conjunto de ações é dado o nome de saneamento básico.

Para a execução deste mecanismo de prevenção, o saneamento básico compreende atividades de controle ambiental tais como: abastecimento de água potável; coleta e disposição sanitária de resíduos sólidos, líquidos e gasosos; drenagem urbana; controle de doenças transmissíveis; e qualquer atividade que vise à promoção da saúde e bem-estar público (FUNASA, 2006).

Destes mecanismos citados anteriormente vale destacar a importância da distribuição de água potável e a disposição sanitária de resíduos sólidos, problemas enfrentados ainda nos dias atuais.

O sistema integrado de abastecimento de água da Paraíba, operado pela Companhia de Água e Esgoto – CAGEPA, é responsável pelo beneficiamento, tratamento, e distribuição da água aos municípios de João Pessoa, Cabedelo e

Bayeux, muito embora as atividades de ampliação da estação pretendam fornecer também água potável para os municípios de Santa Rita e Conde, sediados na mesorregião da Mata Paraibana.

Seus componentes estruturantes são formados por: caixa de chegada, canal de distribuição, floculadores, decantadores, canal de água decantada, filtros rápidos, galeria de comando, casa de química e os reservatórios de água tratada. De acordo com as etapas e processos descritos acima, a ETA – Gramame é classificada como do tipo convencional de ciclo completo, onde o floculante utilizado é o Sulfato de Alumínio líquido que estão divididos e armazenados em tanques.

Figura 03: Figura Ilustrativa da Estação de Tratamento de Água – Gramame.



Fonte: Google Earth, 2016.

Durante o tratamento das águas para consumo humano e uso em geral, gera-se no processo um resíduo sólido comumente chamado de lodo de ETA. De um modo geral, estes resíduos são constituídos por água e sólidos em suspensão, originalmente contidos na água e advindos do processo de tratamento. De acordo com Gradin et al (1993), os resíduos de ETA (lodo) são

constituídos de resíduos sólidos inorgânicos e orgânicos provenientes da água bruta.

De acordo com Richter (2001), em uma estação de tratamento de água convencional o lodo proveniente da descarga de decantadores, que utiliza coagulantes à base de alumínio tem características semelhantes ao que está descrito na Tabela 05.

Tabela 05: Características usuais do lodo de decantadores de ETAs que utilizam sulfato de alumínio como coagulante.

DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	pH -	Sólidos Totais (%)	Al ₂ O ₃ .5H ₂ O (%ST)	Inorgânicos (%ST)	Matéria Orgânica (%ST)
30 a 300	30 a 5000	6 a 8	0,1 a 4	15 a 40	35 a 70	15 a 25

Fonte: Richter, 2001.

Os resíduos sólidos constituem um problema sanitário de importância, quando não recebem os cuidados convenientes e as medidas necessárias tomadas para a solução adequada deste problema. É de notar-se também a possibilidade de contaminação do homem pelo contato direto com os resíduos ou pela massa de água por estes poluídas.

Do ponto de vista legal, a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei Federal nº 12305:2010, prevê a gestão integrada dos resíduos como objetivo, dentre outros, a reutilização e reciclagem dos resíduos sólidos; oportunizando estudos de destinação alternativa aos resíduos gerados nas Estações de Tratamento de Água com vistas a proteção ambiental e a proteção da saúde humana.

As disposições inadequadas dos resíduos ocasionam modificações nas características ambientais do meio em que foi disposto, podendo poluir ou contaminar o meio ambiente. Os agravos socioambientais destes resíduos são evidencialmente efetivados quando dispostos no meio ambiente de forma inadequada, tornando-se, extremamente danosos, uma vez que estes resíduos podem conter em sua composição componentes químicos ou biológicos que causem riscos de contaminação (JACOBI e BENSEN, 2011).

Desta forma, a gestão de resíduos sólidos e o desenvolvimento de tecnologias limpas se apresentam capazes de absorver em seu processo

produtivo estes resíduos poluentes, possibilitando sua redução ou eliminação e as destinações inadequadas, e consequentemente danos ambientais adversos.

As tecnologias que aprimoram em suas técnicas de beneficiamento de matérias-primas para melhoria dos seus produtos fabricados, buscam atender às exigências do mercado atual e às exigências ambientais impostas para preservação e conservação do meio natural, bem como na construção de novos bens com a utilização de resíduos.

Para tanto a caracterização e análise dos materiais apresenta-se como etapa primordial em diversos projetos por descrever aspectos da composição e estrutura dos materiais possibilitando a estimativa do desempenho e viabilidade de uso do material em questão (MANSUR, 2015).

2 METODOLOGIA

O resíduo coletado do sistema de tratamento de água – Gramame teve origem na etapa de tratamento de decantadores nas quais possuía aparência esponjosas/semissólida de cor marrom com tom amarelado.

Diante das propostas delimitadas para este estudo o resíduo analisado foi coletado nos meses de março, agosto e setembro de 2015, em coletores plásticos de 50 (dez) kg e postos para secar ao ar livre; após seco o resíduo sofreu tratamento manual, com ajuda de almofariz, para diminuição de tamanho para que pudesse ser analisado.

O solo utilizado na pesquisa foi adquirido em uma casa de construção e sua aparência tem cor amarelada.

Para os dados que caracterizam os materiais utilizados na pesquisa foram utilizados recursos tecnológicos de caracterização microestrutural do resíduo (lodo) coletado na Estação de Tratamento de Água – Gramame, e do solo utilizado na pesquisa. Os testes laboratoriais utilizados foram a Fluorescência de Raio-X.

A espectroscopia por Fluorescência de Raio-X (FRX), é segundo Belmonte (2005, pag. 01), “uma técnica de análise qualitativa e quantitativa da composição química de amostras”. A análise é feita através da exposição do objeto a ser estudado a um feixe de radiação (determinado de acordo com o que se deseja descobrir), causando excitação e detecção da radiação fluorescente

resultante da interação com a amostra, objeto de estudo. No estudo, os percentuais químicos foram determinados através dos óxidos que se apresentavam mais estáveis dos elementos químicos presentes nas amostras.

Para a avaliação de Demanda de Oxigênio foram realizadas análises por meio da demanda Química (DQO) e demanda Bioquímica (DBO)₅, de acordo com os métodos de ensaios disponíveis pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, como mostrado na Figura 04.

Figura 04: Análise de Demanda Bioquímica de Oxigênio e Demanda Química de Oxigênio do resíduo de Estação de Tratamento de Água – Gramame.



Fonte: Dados da Pesquisa, 2016.

Para a análise de demanda Biológica foi utilizado o método de variação por pressão, no qual foi incubado a 20°C durante 5 dias. Já a análise de demanda Química foi realizada através do método de espectrofotometria. As análises de DBO₅ e DQO com o lodo seco foram misturadas a água destilada e posto para descanso durante 24h, logo após foram feitas as análises seguindo os mesmos métodos anteriores, respectivamente.

3 RESULTADOS

A análise de espectroscopia por fluorescência de raios-X (FRX), constitui em analisar qualitativa e quantitativamente a composição química da amostra do resíduo sólido da estação de tratamento de água – Gramame. Os resultados obtidos na referida análise estão apresentados na tabela 06.

Tabela 06: Fluorescência de Raio-x (FRX), das Amostras Estudadas.

Composição/Amostra	Resíduo (Lodo)	Solo
SiO ₂	22,6%	54,5%
Al ₂ O ₃	28,6%	27,8%
Fe ₂ O ₃	4,7%	6,0%
TiO ₂	0,5%	2,2%
SO ₃	1,3%	<0,1%
Cl	0,4%	-
Na ₂ O	0,2%	-
CaO	0,2%	0,1%
MgO	0,2%	-
K ₂ O	0,2%	0,1%
Br	<0,1%	-
SrO	<0,1%	-
ZrO ₂	-	0,1%
Cr ₂ O ₃	-	<0,1%
P ₂ O ₅	-	<0,1%
Perda ao Fogo	40,90%	9,13%

Fonte: Dados da Pesquisa, 2016.

Os resultados apresentados na tabela 06, mostram que o solo e o resíduo (lodo) da Estação de Tratamento de Água – Gramame, possuem composição química semelhantes, nos quais os maiores percentuais em ambos é de Silte, Alumínio e Ferro. Também é verificado que as composições destacadas se apresentam em concentrações mais elevadas no solo. Estes dados corroboram com Dias (2002), em sua pesquisa sobre a caracterização das jazidas de argilas locais.

Os óxidos de silício e alumínio são argilominerais, ou seja, minerais característicos da argila. O óxido de ferro é responsável pela coloração avermelhada ou amarelada. A presença do óxido de ferro possui ainda a característica de reduzir a plasticidade (capacidade de moldagem do material) e a resistência mecânica do material, porém a sua presença no resíduo sólido (lodo) encontra-se em concentração semelhante em relação ao solo, o que leva a crer que o óxido de ferro contido no lodo não influenciará diretamente na plasticidade e resistência mecânica do tijolo solo-cimento.

Perda ao fogo refere-se à perda de material quando exposto a elevadas temperaturas. A alta porcentagem de perda ao fogo está associada,

basicamente, com teor de matéria orgânica, água e gases presentes no material; estes, quando expostos a altas temperaturas se degradam ou evaporam.

Como mostrado na tabela 06, o resultado da perda ao fogo para o resíduo sólido (lodo) é de 40,90%, o que significa uma elevada quantidade de água, livre e intersticial, e matéria orgânica presente no resíduo.

Figura 05: Perda de Água do resíduo sólido da Estação de Tratamento de Água- Gramame em estágio de evolução de sete (07) dias expostos ao sol.



Fonte: Dados da Pesquisa, 2016.

A Figura 05 mostra os estágios de secagem do resíduo sólido (lodo) durante o período de 07 (sete) dias. Corroborando com os dados obtidos com a porcentagem de perda ao fogo, disponível na tabela 06, é possível perceber a retração do resíduo quando posto para secagem, onde é perdida uma considerável quantidade de água e matéria orgânica.

A tabela 07 mostra as concentrações dos parâmetros avaliados de resíduo sólido (lodo), analisados após coleta e após secagem ao ar livre sobre incidência solar de três. Os resultados pós-secagem determinaram a eficiência do método para a eliminação parcial da matéria orgânica presente no resíduo.

Tabela 07: Demanda Química e Bioquímica de Oxigênio do resíduo gerado na Estação de Tratamento de Água – Gramame.

Úmido		Seco	
DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)
107,66	224,45	7,6	16,74

Fonte: Dados da Pesquisa, 2016.

Os resultados de DBO e DQO se apresentam dentro dos parâmetros quando comparado com as características típicas de lodos de ETAs oriundos do processo de tratamento de água que possuem como flocculante o sulfato de alumínio, expostos por Richter (2001) e presentes na tabela 05.

A não eliminação total de matéria orgânica no resíduo em estudo, mostrada na tabela 07, torna o método de secagem ao ar livre com baixa eficiência para eliminação total da matéria orgânica e água intersticial.

Os resultados ainda mostram que o resíduo, por possuir resquícios de material orgânico, possibilita uma interferência negativa na cura, e consequentemente na resistência, dos tijolos solo-cimento.

Como afirma Pereira (2011), corroborando com Von Sperling (1998), o lodo da Estação de Tratamento de Água – Gramame conclui que o resíduo possui predominância de matéria não biodegradável. Esta predominância de matéria não biodegradável é comumente encontrada em Estações de Tratamento de Água cujo coagulante utilizado é o sulfato de alumínio como afirma Richter (2001).

O lodo após seco apresenta uma diminuição de Demanda Química e Bioquímica de Oxigênio quando comparados com os resultados com eles obtidos ainda úmidos. Estes resultados estão correlacionados com os resultados dos Sólidos Fixos e Voláteis.

Os resultados apresentados pela tabela 08 mostram que os sólidos voláteis estão presentes em maior quantidade no resíduo da Estação de Tratamento de Água – Gramame, quando comparados com os dados obtidos por Richter (2001), disponíveis na Tabela 05.

Tabela 08: Sólidos Totais, Fixos e Voláteis do resíduo gerado na Estação de Tratamento de Água – Gramame.

Sólidos Totais (mg/L)	Sólidos Voláteis (mg/L)	Sólidos Fixos (mg/L)
18.542	10.294	8.248

Fonte: Dados da Pesquisa, 2016.

Na tabela 08, os níveis de sólidos Totais, Fixos e Voláteis apresentam-se dentro dos valores referência da faixa de limites, expostos na tabela 05, apresentado por Richter (2001).

O valor de Sólidos Totais se encontra muito abaixo do limite apresentado por Richter (2001), exibido na tabela 05, como valor de referência para este parâmetro.

Sobre os Sólidos Fixos e Voláteis, são percebidas que os resultados apresentados não estão muito distantes entre eles. Deste dado depreende-se que os níveis de matéria orgânica Voláteis são maiores no resíduo, enquanto que os Sólidos Fixos ainda se apresentam em níveis significativos. Corroborando com a consideração de que a influência nos parâmetros de cor, turbidez e microbiológicos, em organismos aquáticos lênticos é prejudicial.

Os dados apresentados no parâmetro de Sólidos Voláteis reafirmam os resultados obtidos no teste de perda ao fogo, tabela 06, onde foi possível ver um elevado teor de água livre e intersticial, além de matéria orgânica.

Considera-se ainda que o alto nível de sólidos fixos faz com que o resíduo adquira características sólidas influenciando no assoreamento de rios e lagos lênticos e estabelecimento de gramíneas.

4 Considerações Finais

Do ponto de vista da caracterização química dos resultados apresentados pela Fluorescência de Raio-X o solo e o resíduo da Estação de Tratamento de Água possuem semelhanças, o que leva a suposição de que a mistura entre os dois materiais não ocasionaria dano ao produto final desejado. Devendo ser realizados estudos mais aprofundados sobre este aspecto.

As composições das duas amostras apresentaram maiores concentrações de Silício, Alumínio e Ferro. Resultado compreendido pela composição do solo local, como destacado por Dias (2002) na caracterização das jazidas da região.

O resíduo coletado da Estação de Tratamento de Água - Gramame apresenta uma alta concentração do mineral primário Alumínio; associado ao fator de que o floculante utilizado é o Sulfato de Alumínio.

Os resultados referentes a Perda ao Fogo, ainda demonstram que o resíduo possui uma elevada porcentagem de perda de água, atribuída a uma grande quantidade de água intersticial presente no mesmo.

É possível perceber uma considerável redução na Demanda Química e Bioquímica de Oxigênio quando comparamos ao índice inicial. Muito embora a redução nas demandas aparente ser irrisórias, a mesma pode prejudicar de forma negativa o uso do lodo em materiais cuja a cura, a exemplo do cimento, pode ser retardada por existência de matéria orgânica, como afirma a Associação Brasileira de Cimento Portland (2002).

Referências

- BRASIL. **Política Nacional dos Resíduos Sólidos**. Lei nº 12305: 2010
- BRASIL. **Fundação Nacional de Saúde. Manual de Saneamento**. 4ed. rev. 2006
- BRASIL. **Associação Brasileira de Cimento Portland**. BT – 106. 2002
- BRAGA, Benedito; e colaboradores. **Introdução a Engenharia Ambiental**. 2º ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.
- BELMONTE, E. P. **Espectrometria por Fluorescência de Raios X por Reflexão Total: Um estudo Simulado Utilizando o Método de Monte Carlo**. COPPE/UFRJ - Rio de Janeiro, 2005.
- DIAS, Bruno Cavalcanti. **Caracterização e Aplicação Industrial de Argilas da Região Meio Leste da Paraíba**. Dissertação. Campina Grande: UFCG, 2002.
- GRANDIN, S. R.; ALEM SOBRINHO, P.; GARCIA JR., A. D. **Desidratação de Lodos Produzidos em Estações de Tratamento de Água**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 17, 1993, Natal. <http://www.ecocentro.org>. Acessado em: 19/07/2015.
- JACOBI, Pedro Roberto; BESEN, Gina Rizpah. **Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade**. Estudos Avançados: São Paulo, v. 25, n. 71, 2011.
- MANSUR, Herman Sander. **Técnicas de Caracterização de Materiais**. Disponível em: <http://www.biomaterial.com.br/capitulo7part01.pdf>. Acessado em: 16/10/2015.
- MIERZWA, José Carlos; HESPANHOL, Ivanildo. **Água na Indústria: Uso Racional e Reuso**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.
- PEREIRA, Sabrina Lívia de Medeiros. **Características Físicas, Químicas e Microbiológicas do Lodo das Lagoas da ETA Gramame**. Dissertação. João Pessoa: UFPB, 2011.
- RICHTER, Carlos A. **Tratamento de Lodos de Estação de Tratamento de Água**. São Paulo: Blucher, 2001.
- VON SPERLING, Marcos. **Análise dos Padrões Brasileiros de Qualidade de Corpos d'Água e de Lançamentos de Efluentes**. Revista Brasileira de recursos Hídricos – RBRH. Porto Alegre, v. 3, nº 1, 1998.
- American Water Works Association**. Water Environment Federation, 1999.

CAPÍTULO II

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO RESÍDUO SÓLIDO (LODO) GERADO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA GRAMAME PARA UTILIZAÇÃO EM TIJOLOS SOLO-CIMENTO.

Resumo

Diante das percepções na nova forma de pensar o meio ambiente o desenvolvimento de produtos, processos de produção e desenvolvimento tecnológico tem buscado alternativas para a recirculação de resíduos e detritos, transformando-os em subprodutos “inteligentes”. Para a concretização destes subprodutos são necessários estudos capazes de asseverar algumas compatibilidades entre os produtos a serem misturados. Alguns dos estudos mais importantes para técnica de tijolos solo-cimento são a determinação de curva Granulométrica e o Índice de Plasticidade. Para o estudo são utilizadas técnicas determinadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT sob as NBR 6502:1995, NBR 7180:1988 e NBR 6459:1984, respectivamente. Ainda foram estudados a adição de resíduo da Estação de Tratamento de Água – Gramame em proporções de 0%, 1%, 3%, 5%, 7% e 10%. Os resultados apontam que o solo e lodo em estudo são igualmente classificados como arenosos. Diante dos resultados apresentados na Granulometria, Limite de Liquidez e Índice de Plasticidade estão de acordo com os limites de referência apresentados pela Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP.

Palavras-Chave: Resíduo Sólido, Estação de Tratamento de Água, Granulometria, Índice de Plasticidade.

Abstract

On perceptions of the new way of thinking about the environment, development, production and technological development processes have sought alternatives to

the recycling of waste and debris, turning them into "smart" products. To achieve these by-products are necessary studies to assure some compatibility between the products to be mixed. Some of the most important studies for soil-cement bricks technique are determining Sieve and Plasticity Index Curve. For the study techniques are used determined by the Brazilian Association of Technical Standards - ABNT under the NBR 6502: 1995, NBR 7180: 1988 and NBR 6459: 1984, respectively. Also studied was the addition of the waste water treatment - Gramame in proportions of 0%, 1%, 3%, 5%, 7% and 10%. The results indicate that the study materials are also classified into sandy and that the addition of low percentages of residue to the soil used in this research presents positive in correcting the soil plasticity index.

Keyword: Solid Waste, Water Treatment Plant, Particle Size , Plasticity Index .

1 INTRODUÇÃO

Através da orientação do desenvolvimento tecnológico e a racionalização nos processos de produção, o ecodesenvolvimento promove estratégias de desenvolvimento sustentável através da recirculação ecológica e tecnológica de subprodutos, resíduos e detritos que se reintegrem como complementares às atividades humanas (LAYRARGUES, 1997). A construção desta racionalidade ambiental se sustenta na organização ecossistêmica do planeta.

Com o crescimento desordenados das cidades, nos dias atuais, a qualidade sanitária dos rios e lagos urbanos vem apresentando "sufocamento" em sua biodiversidade devido à ausência de matas ciliares, e aos inúmeros poluentes lançados pelas atividades humanas, sejam elas através das indústrias, comércio, agricultura ou residuais. Estes resíduos sólidos constituem um problema não apenas estético e econômico, mas também sanitário.

Um dos grandes problemas enfrentados nos dias atuais é a disposição inadequada dos resíduos sólidos, nas quais ocasionam modificações das características ambientais do meio em que foi disposto, podendo poluir ou contaminar o ambiente (BESEN, 2011).

Sobre poluição, de acordo com Pizzatto e Pizzatto (2009), entende-se por qualquer modificação nas propriedades físicas, químicas ou biológicas do ambiente; enquanto que, o meio é considerado contaminado, segundo os mesmos autores, quando existir a mínima ameaça à saúde do homem. Brilhante (1999), atribui o conceito de poluição a “qualquer alteração da composição e das características do meio que cause perturbação aos ecossistemas, ou ainda, como uma interferência danosa aos processos de transmissão de energia” (BRILHANTE, 1999, pag. 20). Ambos os autores concordam que a poluição ambiental está relacionada a um desequilíbrio no ambiente através de fatores ou fenômenos que interferem desfavoravelmente, direta ou indiretamente, no meio ambiente.

Evidencialmente os agravos socioambientais destes resíduos são efetivados quando dispostos no meio ambiente de forma inadequada, tornando-se, extremamente danosos, uma vez que estes resíduos podem conter em sua composição componentes químicos ou biológicos que causem riscos de contaminação (JACOBI e BESEN, 2011).

Considera-se como resíduo de estação de tratamento de água, usualmente conhecido como lodo, o resíduo resultante do tratamento. Sua composição é, de acordo com Richter (2001), constituída por água e sólidos suspensos originalmente contidos na água captada, acrescidos de produtos resultantes dos reagentes aplicados à água nos processos de tratamento. Afirma-se ainda que as duas fontes mais importantes na geração do lodo são os decantados (ou flotadores) e a água de lavagem dos filtros (RICHTER, 2001).

Por ser um resíduo que se apresenta em estado líquido ou semissólido é necessário o tratamento térmico para sua avaliação e verificação de possibilidade de incorporação em outros processos produtivos como subprodutos, tendo em vista a importância de destinações alternativas no reaproveitamento de subprodutos e detritos.

Perante as questões ambientais, a geração de resíduos oriundos da promoção das necessidades humanas e o avanço tecnológico, torna-se indispensável o pensamento de alternativas que corroborem com o equilíbrio da salubridade ambiental. Na busca desta intercessão, o resíduo gerado na Estação de Tratamento de Água – Gramame vem sendo estudado para sua reutilização na construção civil, como forma de destinação ambiental adequada.

A reutilização de resíduos em processos produtivos, também conhecidos como reciclagem, tem como finalidade a reintegração de resíduos em ciclos de produção. A reutilização destes resíduos em processos produtivos traz benefícios em cadeia, ou seja, os benefícios não atingem apenas o meio ambiente, mas os produtos e processos envolvidos na reciclagem (MENEZES et al, 2007).

Callister Jr. (2008), pondera que a reutilização de subprodutos, ou seja, resíduos, em novos processos produtivos só é indicado que ocorra, quando estes (resíduos) encontrem-se nos parâmetros ideais para a incorporação. Os parâmetros ideais nos quais Callister Jr. (2008) aponta, referem-se a melhoria contínua dos produtos e nos processos, de tal forma que a interação dos componentes não prejudiquem a qualidade do produto final.

Para a análise da compatibilidade entre os produtos a serem misturados algumas técnicas de estudos mais importantes, para confecção de tijolos solo-cimento, são a determinação de curva Granulométrica e o Índice de Plasticidade. Nos quais caracterizarão os materiais e demonstraram de forma empírica a reação da mistura do resíduo sólido (lodo) com o solo.

2 METODOLOGIA

Neste estudo serão avaliados a Fração Granulométrica do resíduo (lodo) bem como do solo utilizado para confecção dos tijolos solo-cimento, e o Índice de Plasticidade da mistura de solo + resíduo nas proporções 0%, 1%, 3%, 5%, 7% e 10%, confrontando estes resultados com o índice de plasticidade do solo puro e a literatura normativa para tijolos solo-cimento.

A investigação da curva granulométrica tem o intuito de verificar, através de testes de peneiramento e sedimentação, as dimensões das partículas constituintes dos materiais, para posteriormente confronta-los com a porcentagem que cada faixa granulométrica possui em relação a massa total da amostra. Por meio desta análise é possível determinar o tamanho das partículas das amostras.

Na literatura brasileira encontra-se a classificação destes solos, de acordo com a ABNT NBR 6502:1995 classificados em: Argila, para os solos com partículas menores que 0,002 mm; Silte, para solos com partículas entre 0,06 e 0,002 mm; Areia,

para solos com partículas entre 2,00 e 0,06 mm; e Seixo, para solos com partículas maiores que 2,0 mm.

O Índice de Plasticidade também conhecido como Limites de Atterberg (Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade), tem como objetivo avaliar, sobretudo, a resistência de solos arenosos e argilosos. (Ver Figura 06).

O limite de liquidez corresponde ao teor de água máximo em que o solo passa do estado natural (sólido) e dá início a um comportamento líquido; já o limite de plasticidade corresponde ao baixo teor de umidade no qual o solo perde umidade e, conseqüentemente, torna-se quebradiço e pouco moldado.

Figura 06: Análise do Índice de Plasticidade com a misturas do resíduo + solo nas porcentagens 0%, 1%, 3%, 5%, 7% e 10%.



Fonte: Dados da Pesquisa, 2016.

Os testes de Índice de Plasticidade seguiram de acordo com as normas da ABNT NBR 6459:1984 para o limite de liquidez, e ABNT NBR 7180:1984 para o limite de plasticidade.

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (2000), são determinados parâmetros gerais mais adequados para a fabricação de tijolos solo-cimento. Estes possuem as seguintes características:

Tabela 09: Características Físicas dos Solos para Fabricação de Tijolos Solo-cimento.

Característica	Limite de Referência
Passando na peneira ABNT 4,8 mm (nº 04)	100%
Passando na peneira ABNT 0,0075 mm (nº 200)	10% a 50%
Limite de Liquidez	$\leq 45\%$
Índice de Plasticidade	$\leq 18\%$

Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, 2000.

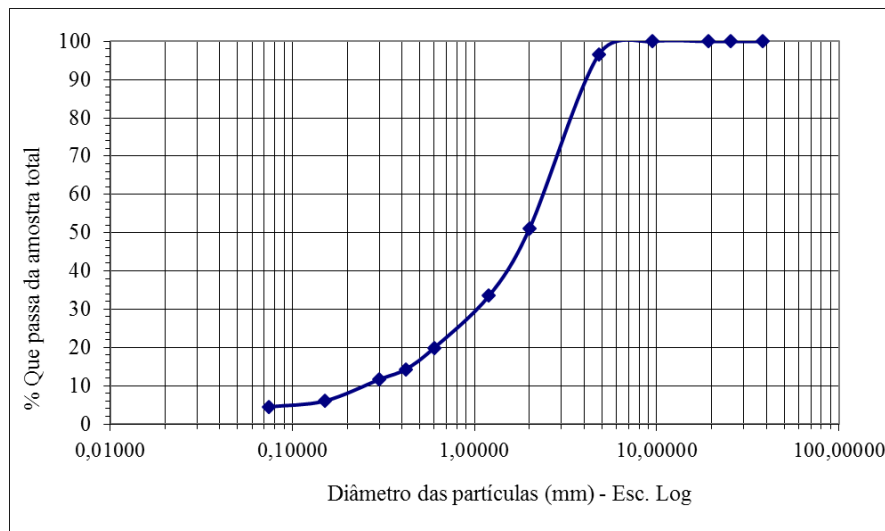
Diante dos limites apresentados na tabela 09, o solo utilizado para confecção de tijolos do tipo solo-cimento não deve transgredir aos parâmetros mencionados. Tais parâmetros são usuais pois possuem confiabilidade na resistência dos tijolos solo-cimento.

3 RESULTADOS

A caracterização física do resíduo sólido (lodo) do processo de tratamento de água – Gramame e o solo utilizado para confecção de tijolos solocimento, se deu através da curva granulométrica por meio de teste de peneiramento, sendo assim possível determinar o tamanho das partículas da amostra.

Em consonância com os dados teóricos apresentados pela ABNT NBR 6502:1995, mencionado na metodologia, e através da tabela 04, a análise granulométrica da amostra foi avaliada para o resíduo sólido resultaram em: 4% do material analisado é composto de material argiloso e silte; 47% do material analisado é composto por areia, sendo destes 10% de areia fina e 37% de areia grossa; e 49% do material analisado é composto por pedregulhos (ver Figura 07).

Figura 07: Curva Granulométrica do Resíduo Coletado na Estação de Tratamento de Água Gramame.



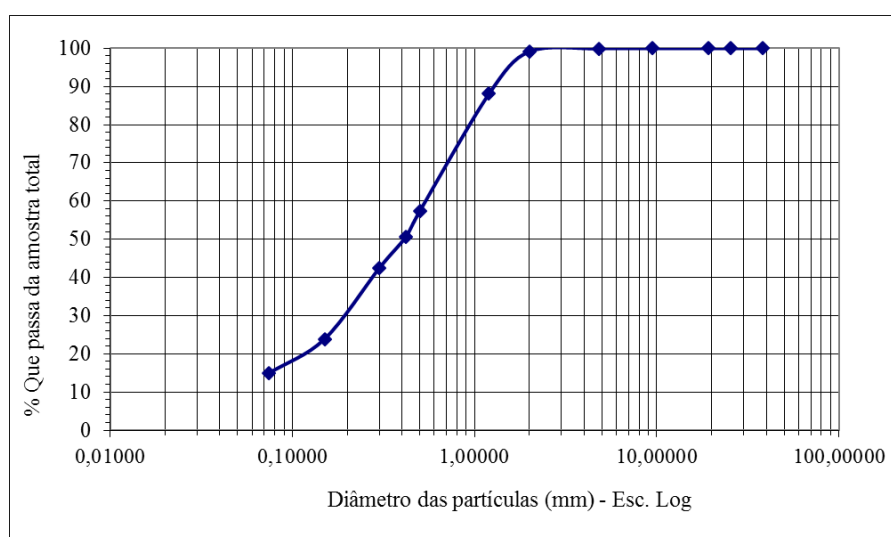
Fonte: Dados da Pesquisa, 2016.

Após apresentar o resultado granulométrico (Figura 07), classifica-se o resíduo como arenoso, tendo em vista que seu maior percentual granulométrico significativos foi de areia, o equivalente a um solo com partícula de 0,2 a 0,6 mm (ABNT NBR 6502:1995).

Afirmar-se que a classificação do resíduo é arenosa pois a porcentagem classificada como pedregulho são de fácil diminuição dos grãos, distribuindo-se facilmente em arenoso, silte e argila. Isso se dá, pois, os torrões são de fácil desagregação, transformando-se nestes outros componentes físicos do solo.

A análise granulométrica da amostra foi avaliada para o solo *in natura* utilizado para confecção de tijolos solocimento resultaram em: 15% do material analisado é composto de material argiloso e silte; 84% do material analisado é composto por areia, sendo destes 36% de areia fina e 48% de areia grossa; e 1% do material analisado é composto por pedregulhos (ver Figura 06):

Figura 08: Curva Granulométrico do Solo.



Fonte: Dados da Pesquisa, 2016.

O resultado granulométrico (Figura 08) apresentado pelo solo, o classifica como arenoso, tendo em vista que seu maior percentual granulométrico se dá por particulados granulométricos de areia, o equivalente a um solo com partícula de 0,2 a 0,6 mm (ABNT NBR 6502:1995), como mostrado na tabela 04.

Os resultados apresentados nas imagens 07 e 08, mostram que o resíduo e solo selecionado para este trabalho estão de acordo os parâmetros granulométricos determinados pela Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (2000), descritos na tabela 09.

O Índice de Plasticidade do solo busca descrever o comportamento dos solos quando expostos ao excesso de água, sem que perca suas propriedades plásticas. Desta forma o índice é medido através da diferença entre o Limite de Liquidez (LL), valor pelo qual o solo adquire comportamento líquido, e o Limite de Plasticidade (LP), valor no qual o solo tem o comportamento plástico a semissólido.

Este ensaio é importante pois é capaz de descrever o comportamento do solo quando exposto à água, permitindo assim que o pesquisador avalie da melhor forma a utilidade ou não do solo para o fim desejado.

Na Tabela 10, pode-se observar os resultados, de forma simplificada, dos testes de Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP) com adição do resíduo sólido (lodo) no solo *in natura* utilizado para confecção dos tijolos solo-cimento.

Tabela 10: Resultado Simplificado do Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade com adição de Lodo para confecção de Tijolos Solo-cimento.

Resíduo (%)	LL	LP
0	30,6	23,2
1	31,6	26,8
3	26,3	23,2
5	28,1	22,1
7	27,9	22,3
10	28,9	21,8

Fonte: Dados da Pesquisa, 2016.

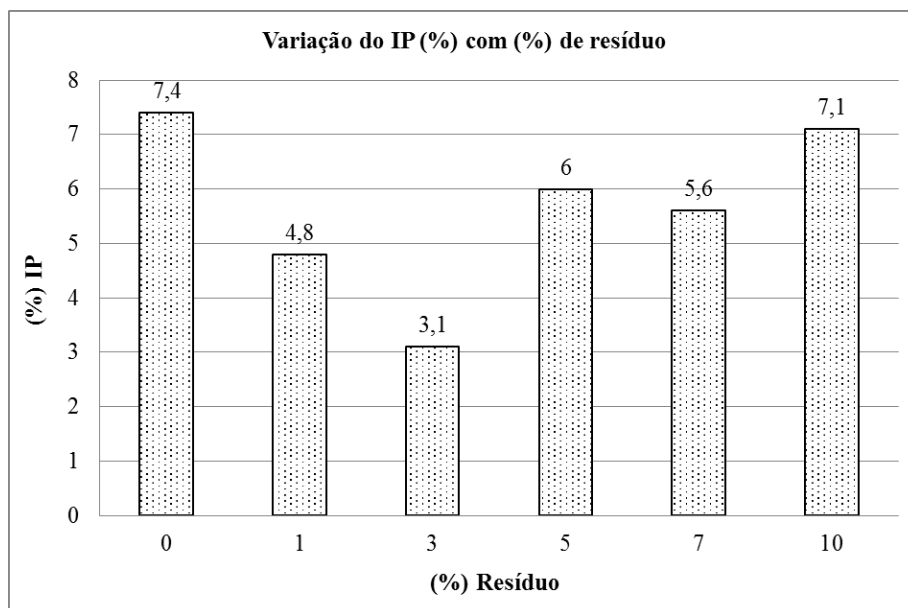
Na tabela 10 observa-se o solo *in natura*, bem como as porcentagens de 1% (um), 5% (cinco) e 10% (dez), apresentaram o maior limite de liquidez, conferindo a estas porcentagens a necessidade de uma maior quantidade de água para que perdessem a sua consistência sólida e passasse para uma fase líquida. As porcentagens de 3% (três) e 7% (sete) apresentaram uma menor necessidade de água para que transformação da fase sólida para a fase líquida ocorresse.

Todos os teores alcançados no Limite de Liquidez não ultrapassam o valor máximo determinado pela Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (2000), mostrados na tabela 09, que tem como valor máximo 45% (quarenta e cinco).

Os resultados de Limite de Plasticidade, da Tabela 09, apresentam semelhanças ao solo *in natura* apenas a adição de 3% (três). As porcentagens de 5% (cinco), 7% (sete) e 10% (dez) apresentaram-se como os menores limites de plasticidade. Conferindo-lhes a menor necessidade de umidificação para sua moldagem/maleabilidade. Em contrapartida a porcentagem de 1% (um) da mistura solo + lodo, mostrou-se a porcentagem que mais necessitou de água para que o limite de plasticidade fosse atingido.

Para o solo e a mistura utilizados nesta pesquisa com finalidade na confecção de tijolos solo-cimento apresentaram os resultados abaixo:

Figura 09: Índice de Plasticidade do solo em pesquisa com as porcentagens de resíduo da Estação de Tratamento de Água – Gramame.



Fonte: Dados da Pesquisa, 2016.

Analisando a Figura 09 é possível perceber a reação do solo às diversas adições de resíduo de modo ondulatório sem padrão definido. Tal reação foi correlacionada com a granulometria de ambos os materiais que, embora classificados, de forma semelhante, como arenosos, possuem discrepâncias significativas nas proporções de areia grossa, fina e silte + argila misturados ao lodo.

A análise do índice de plasticidade, como afirma Siqueira (2013), está relacionada a facilidade de estabilização do material, desta forma quanto menor for o índice de plasticidade, maior será a facilidade de estabiliza-lo com a menor quantidade de cimento. Siqueira (2013), ainda afirma que esta relação entre índice de plasticidade e quantidade de cimento pois estarão menos sujeitos a variações dimensionais.

Diante dos resultados apresentados na Figura 09, as porcentagens de 1% (um) e 3% (três) foram as que apresentaram o menor Índice de Plasticidade. Sendo, portanto, estas porcentagens que necessitariam uma menor quantidade de cimento para sua estabilização. No capítulo III, figura 09, é possível perceber que as porcentagens 1% (um) e 3% (três) foram as que obtiveram melhores resultados no teste de compressão simples.

Nas porcentagens de 5% (cinco) e 10% (dez), na Figura 09, foram as que mais se aproximaram do índice de plasticidade do solo *in natura*. O limite máximo adquirido no teste de Índice de Plasticidade não foi superior a 7,4% (sete vírgula quatro).

Para todos os resultados de Índice de Plasticidade, é possível perceber que o Limite de Atterberg (Índice de Plasticidade), não ultrapassaram o valor determinado pela Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, como descritos na tabela 09, que determina o limite de Índice de Plasticidade igual ou menor que 18% (dezoito).

Diante dos resultados obtidos nos testes de Granulometria, Limite de Liquidez e Índice de Plasticidade, é possível afirmar que o solo *in natura*, o lodo e a mistura solo + lodo estão de acordo com os parâmetros determinados pela Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP, mostrados na tabela 09, sendo, por tanto apropriados para a confecção de tijolos solo-cimento.

4 Considerações Finais

Os resultados granulométricos permitem afirmar que o lodo coletado na Estação de Tratamento de Água – Gramame e o solo *in natura*, são caracterizados como arenosos de acordo com a ABNT NBR 6502 (1995). Os resultados ainda mostram que o solo possui a maior quantidade de partículas granulométricas arenosas, resultando em um total de 84%; enquanto que o lodo possui 47% de partículas granulométricas arenosas.

Para o resultado de argila e silte do solo *in natura* utilizado na pesquisa, que correspondente à 15%, se apresenta dentro dos padrões determinados pela Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (2000), na qual determina que estas porcentagens devem estar na faixa entre 10% (dez) à 50% (cinquenta).

Os resultados apontados na granulometria permitem afirmar que a adição de baixos teores do resíduo sólido no solo não influencia de forma direta na caracterização física do solo, pois ambos possuem a mesma classificação.

O resíduo em estudo apresentou um nível alto de pedregulho onde, durante a preparação do material para a realização dos testes posteriores, foi

percebido que ao ser tratado em almofariz se apresenta de fácil diminuição de grãos. Não é recomendado o uso de moinhos diversos afim de evitar a descaracterização do material.

Confrontando os resultados apresentados na Granulometria e no Índice de Plasticidade, é possível afirmar que o resíduo não se mostra inerte quando misturado ao solo *in natura*. É possível fazer tal afirmação pois, mesmo com a classificação granulométrica semelhante o Índice de Plasticidade mostrou uma reação do solo às diversas porcentagens de adição do lodo.

Estando todos os resultados de acordo com os parâmetros determinados pela Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (2000), é possível afirmar que o solo *in natura*, bem como as misturas solo + lodo, são adequados para o uso na confecção de tijolos solo-cimento; necessitando ainda da avaliação de resistência mecânica.

Referências

BRASIL. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. NBR 7180:1988.

BRASIL. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. NBR 6459:1984.

BRASIL. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. NBR 6502:1995.

BRASIL. **Associação Brasileira de Cimento Portland**. BT – 111. 2000.

BESEN, G. R. **Coleta seletiva com inclusão de catadores: construção participativa de indicadores e índices de sustentabilidade**. São Paulo, 2011. 275p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo.

BRILHANTE, O. M., CALDAS, L. Q. A. **Gestão e avaliação de risco em saúde ambiental**. Rio de Janeiro: Fiocruz, 1999.

JACOBI, Pedro Roberto; BESEN, Gina Rizpah. **Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade**. Estudos Avançados: São Paulo, v. 25, n. 71, 2011.

LAYRARGUES, P. P. **Do ecodesenvolvimento ao desenvolvimento sustentável: evolução de um conceito?** Revista Proposta, Rio de Janeiro, v. 24, n. 71, p. 1-5, 1997.

PIZZATTO, Luciano; PIZZATTO, Raquel. **Dicionário Socioambiental Brasileiro**. Curitiba: TECNODATA Educacional, 2009.

RICHTER, Carlos A. **Tratamento de Lodos de Estação de Tratamento de Água**. São Paulo: Blucher, 2001.

SIQUEIRA, F. B. **Avaliação da Incorporação de Resíduo Grits nas propriedades e Microestrutura de Tijolo Solo-cimento**. Dissertação. Rio de Janeiro: UENF, 2013.

CAPÍTULO III

AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DO RESÍDUO SÓLIDO GERADO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA – GRAMAME EM TIJOLOS SOLO-CIMENTO.

Resumo

À medida em que as nossas sociedades amadurecem e as populações crescem torna-se mais evidente que os seus recursos naturais são finitos, passíveis, portanto, de se tornar escassa a sua disponibilidade na natureza. Desta forma, uma maior atenção tem sido dada à reutilização e reaproveitamento dos resíduos em relação aos subprodutos. Neste contexto, buscou-se avaliar a possibilidade de incorporação dos resíduos gerados na Estação de Tratamento de Água Gramame em tijolos solo-cimento. Para tanto foram moldados o total de 36 tijolos com porcentagens de 0%, 1%, 3%, 5%, 7% e 10%, do resíduo em relação ao solo utilizado, e avaliados através de compressão simples no período de 7 (sete) e 28 (vinte e oito) dias. Os resultados mostram que os altos índices de resíduo prejudicam a resistência do tijolo solo-cimento.

Palavras-Chave: Reutilização, Resíduo Sólido, Estação de Tratamento de Água, Solo-cimento.

Abstract

To the extent that our societies mature and populations grow become more evident that their natural resources are finite, insusceptible therefore become scarce availability in nature. Therefore increasing attention has been given to reuse and recycling of waste from the by-products. In this context it is intended to evaluate the possibility of incorporating the waste generated in Gramame Water Treatment Plant in soil-cement bricks. For both were cast total 36 bricks with 0 % percentages of 1 %, 3 %, 5 %, 7 % and 10% of the residue into the soil

used and evaluated by simple compression in the period from 7 e 28 days. The results show that high rates residue impair the soil cement wall strength, and should be given a higher amount of cement when the residue is added.

Keyword: Reuse, Solid Waste, Water Treatment Plant, Soil-Cement.

1 INTRODUÇÃO

Os resíduos industriais são, no geral, mais complexos visto que possuem processos de transformação da matéria prima mais variadas e heterogêneos, tornando seus resíduos de igual complexidade, o que os torna preocupantes, pois, quando incorretamente gerenciados, tornam-se uma ameaça ao meio ambiente (MONTEIRO, 2006).

Para Rodrigues (2012), uma das alternativas existentes para melhor gestão dos resíduos é a reciclagem secundária, ou seja, reciclagem do resíduo em outro processo produtivo.

As vantagens do reaproveitamento de resíduos poluentes provenientes do setor produtivo podem ser analisadas pela redução do consumo de matéria-prima natural e de poluição ambiental. Portanto, a reciclagem destes materiais denominados resíduos sólidos, vincula o crescimento industrial à problemática ambiental, tendo como consequência o desenvolvimento sustentável (RODRIGUES, 2012, pag.20).

De acordo com Von Sperling (1998), Pereira (2011) e Rodrigues e Holanda (2013), o resíduo gerado nas Estações de Tratamento de Água é caracterizado como um material não biodegradável, rico em minerais de silicatos e matéria orgânica, acrescido dos produtos resultantes dos reagentes químicos aplicados à água bruta durante o tratamento. Desta forma, o resíduo sólido (lodo) gerado durante o tratamento é classificado pela ABNT NBR 10004:2004 como classe II A, grupo nos quais participam todos os resíduos não inertes e que não apresentam riscos potenciais para saúde humana.

O benefício da evolução nas pesquisas em materiais trouxe alternativas de destinação final adequada aos resíduos evitando, ou minimizando, danos adversos causados ao meio ambiente e saúde do homem pelo não tratamento e/ou disposição incorreta.

Atualmente o método tradicional de consolidar as estruturas físicas das alvenarias consiste na extração de diversos minerais tratados e processados de forma adequada para cada fim na construção civil. No geral, nas construções de alvenaria estrutural são utilizados tijolos ou blocos cerâmicos e peças auxiliares como vigas, colunas e pilares (KALIL, 2015). É importante ressaltar que os tijolos ou blocos cerâmicos são os elementos mais utilizados no processo construtivo de alvenaria. Porém vêm sendo amplamente criticados pelos danos causados ao meio ambiente pelo processo de queima da fabricação dos tijolos e blocos cerâmicos. Tais processos envolvem, além da supressão vegetal, a poluição atmosférica advinda do processo de queima do material.

Entretanto a técnica de tijolos de solo-cimento apresenta uma boa alternativa de reutilização de resíduos industriais pois as vantagens ambientais deste modelo de construção estão baseadas na não existência de danos ambientais característicos das construções de alvenaria tradicional.

Para que os tijolos solo-cimento possam ser utilizados de forma segura como elemento estrutural, o mesmo deve atender aos requisitos preconizados na ABNT NBR 8491:2012, em que determina que a resistência média mínima não poderá ser inferior à 2 (dois) MPa, para o tempo de cura de 28 (vinte e oito) dias. Já para a resistência média mínima de 7 (sete) dias o valor não poderá ser inferior a 1,7 (um virgula sete) MPa.

Estes valores determinam a segurança das construções com tijolos solo-cimento no que tange a resistência a compressão dos materiais estruturantes.

2 METODOLOGIA

O resíduo coletado do sistema de tratamento de água – Gramame teve origem na etapa de tratamento de decantadores nas quais possuía aparência esponjosas/semissólida de cor marrom com tom amarelado.

O solo utilizado na pesquisa foi adquirido em uma casa de construção situada na cidade de João Pessoa – PB, e sua aparência tem cor amarelada.

Foram confeccionados um total de 36 tijolos divididos para as porcentagens de 0%, 1%, 3%, 5%, 7% e 10%, com análise de compressão simples realizadas entre 7 e 28 dias de confeccionados; nesta distribuição foram confeccionados 3 (três) tijolos para cada porcentagem e tempo. As porcentagens de lodo foram determinadas através do peso da massa, de solo *in natura*, solto (sem compressão), e posteriormente misturados ao solo *in natura* concomitantemente ao cimento. Os resultados foram determinados através de média simples.

A máquina utilizada para confecção dos tijolos foi da marca Verde Equipamentos e os tijolos possuíam as medidas 12,5 x 25 x 5,0 cm. Os testes de Resistência a Compressão Simples foram realizados no Instituto de Tecnologia de Pernambuco – ITEP, sob as normas da ABNT NBR 8492:2012.

Figura 10: Produção e Medição dos Tijolos Solo-cimento.



Fonte: Dados da pesquisa, 2016.

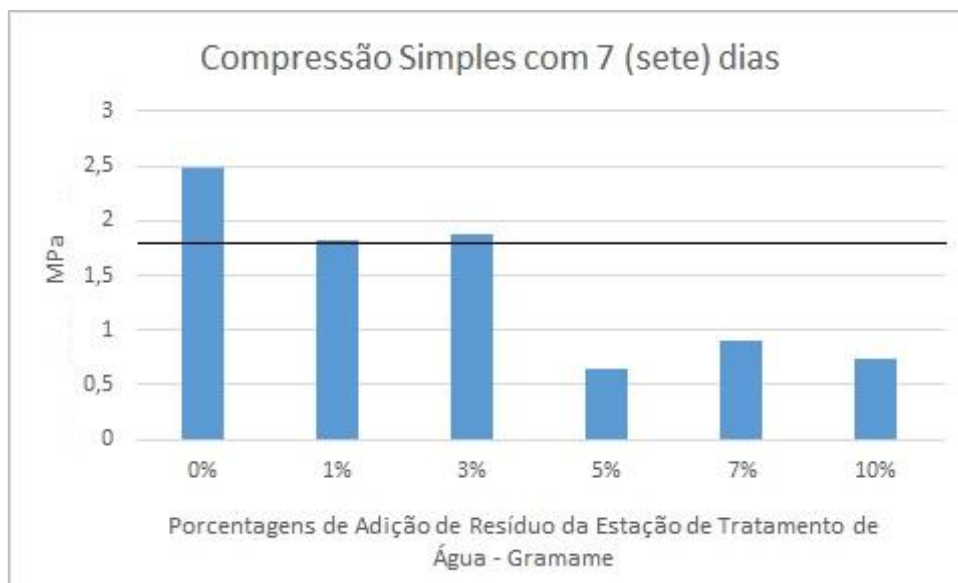
A figura 10 mostra o tijolo solo-cimento ainda em processo de confecção na máquina utilizada e os tijolos em período de cura.

Para as proporções de misturas entre solo e cimento foram adotado o padrão máximo da parte de cimento, ou seja, uma proporção de 10:1, o que corresponde a 10 (dez) partes de solo para 1 (um) parte de cimento.

3 RESULTADOS

Os resultados da mistura entre solo-cimento-resíduo são demonstrados nas figuras 11 e 12. Os resultados foram obtidos por média simples.

Figura 11: Resultado da Resistência à Compressão Simples no período de 7 (sete) dias.



Fonte: Dados da Pesquisa, 2016.

Os resultados apresentados na Figura 11, mostra que as menores porcentagens (1% e 3%) de resíduo na mistura de solo-cimento atendem as exigências de resistência a compressão simples para o período em estudo, ou seja, atingem o valor mínimo de 1,7 (um virgula sete) MPa. Estes resultados estão associados aos dados apresentados no capítulo II, figura 09, onde os índices de plasticidade destas porcentagens (1% e 3%), estão relacionadas a quantidade de cimento necessária para estabilizar o solo, como afirma Siqueira (2013).

Os resultados de desvio padrão obtidos por Amaral (2014), em sua pesquisa de incorporação de bagaço de cana, são superiores aos obtidos na incorporação de resíduo de estação de tratamento de água (lodo), cujo resultado é mostrado na tabela 11.

As porcentagens de 5%, 7% e 10% apresentaram valores inferiores a 1 (um) MPa, em que, de acordo com a NBR 8491:2012, já devem ser descartados para uso estruturante, pois não possuem resistência mínima exigida para o período analisado.

O desvio padrão (s) das amostras analisadas para os resultados de compressão simples com 7 (sete) dias de cura variaram entre 0,04 e 1,4, como mostra a tabela 11.

Tabela 11: Desvio Padrão do resultado à Compressão Simples para 7 (sete) dias de cura dos Tijolos Solo-cimento.

07 Dias	
Porcentagem de Lodo Adicionado	Desvio Padrão
0%	0,98
1%	0,32
3%	0,22
5%	1,4
7%	0,29
10%	0,04

Fonte: Dados da pesquisa, 2016.

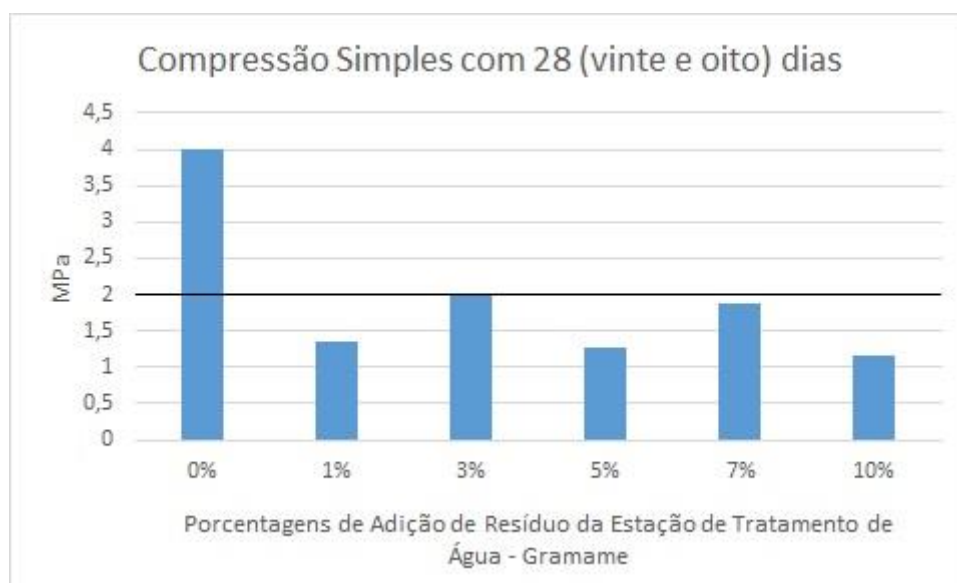
A tabela 11 mostra que a variabilidade dos valores obtidos no teste de compressão simples para os tijolos com idade de 7 (sete) dias de cura são baixas.

Ao analisar o resultado da resistência adquirida pela mistura convencional de solo com cimento, percebe-se que o mesmo atende as exigências para resistência da norma específica, e, portanto, é adequado para construções do tipo estruturante.

É possível perceber também que o adicionamento de resíduo nas misturas tornou o material menos resistente para o período de 7 (sete) dias, nos percentuais de 5%, 7% e 10%.

Este comportamento de redução e depois ampliação de sua resistência também é mencionada por Milani (2005) que trabalhou com tijolos solo-cimento-casca de arroz. Durante este experimento parte das misturas realizadas tiveram uma redução de resistência até certo limite de resistência, voltando a ser mais resistente dias depois. Globo e Cunha (2008), também encontraram efeitos semelhantes na resistência dos tijolos. Este ocorreu, segundo os autores mencionaram, devido a variação de temperatura e umidade ambientais (GLOBO E CUNHA, 2008).

Figura 12: Resistência à Compressão Simples no período de 28 (vinte e oito) dias.



Fonte: Dados da Pesquisa.

Os resultados da Figura 12 mostram que apenas a porcentagem de 3% (três) da mistura solo+lodo atingiu o valor mínimo exigido pela ABNT NBT 8491:2012 tendo como resultado o valor médio de 2 (dois) MPa. As demais porcentagens (5%, 7% e 10%) apresentaram um aumento de resistência comparado com a análise de 7 (sete) dias, porém continuou não atendendo as especificações técnicas determinadas pela ABNT NBR 8491:2012.

A Figura 12 mostra que adicionar o resíduo de Estação de Tratamento de Água – Gramame diminui consideravelmente a resistência do tijolo solo-cimento, onde apenas a adição de 3% do resíduo atinge o valor mínimo de 2 MPa, exigido pela norma ABNT NBR 8492:2012.

Cabral (2013), em suas análises laboratoriais de compressão simples com adição de 5% (cinco) o resíduo de estação de tratamento de água concluiu que nenhum dos corpos de prova atingiram a resistência mínima exigida pela norma ABNT NBR 8491:2012. Em contrapartida, ao aumentar a porcentagem de cimento para a mesma quantidade de lodo (5%), a resistência dos tijolos solo-cimento aumentou. No aumento da resistência observado por Cabral (2013), apenas três das cinco amostras tiveram resultados superiores a 2 MPa.

Ao analisar o resultado da resistência adquirida pela mistura convencional de solo com cimento, percebe-se que o mesmo atende as exigências para

resistência da norma específica, e, portanto, é adequado para construções do tipo estruturante

Na análise da resistência adquirida pela mistura convencional do solo com cimento, percebe-se que o valor da resistência a compressão foi de 4 (quatro) MPa, ou seja, o valor dobrou em relação ao mínimo exigido pela norma ABNT NBR 8491:2012. Apresentando-se o solo em estudo um elemento seguro para construções do tipo estruturante.

Diante dos resultados apresentados na Figura 12, é possível perceber que a de 3% (três) foi a que obteve melhor resultado no teste de compressão simples. Estes resultados corroboram com os apresentados no teste de Índice de Plasticidade, no capítulo II, figura 09.

A análise do índice de plasticidade, como afirma Siqueira (2013), está relacionada a facilidade de estabilização do material, desta forma quanto menor for o índice de plasticidade, maior será a facilidade de estabiliza-lo com a menor quantidade de cimento

O desvio padrão (*s*) das amostras analisadas para os resultados de compressão simples com 28 (vinte e oito) dias de cura variaram entre 0,30 e 0,94, como mostra a tabela 12.

Tabela 12: Desvio Padrão do resultado à Compressão Simples para 28 (vinte e oito) dias de cura dos Tijolos Solo-cimento.

28 Dias	
Porcentagem de Lodo Adicionado	Desvio Padrão
0%	0,94
1%	0
3%	0,45
5%	0,47
7%	0,41
10%	0,30

Fonte: Dados da pesquisa, 2016.

A tabela 12 mostra que a variabilidade dos valores obtidos no teste de compressão simples para os tijolos com idade de 28 (vinte e oito) dias de cura

são baixas. Destaca-se o resultado do desvio padrão para a porcentagem de 1% (um) de lodo adicionado. Este resultado é justificado pois os tijolos de solo-cimento para esta porcentagem não resistiu as etapas preparatórias do teste de compressão simples, desta forma apenas um, dos três tijolos, foi submetido ao teste.

As pesquisas científicas mostram que são muito variados os tipos de solos que podem ser utilizados para a fabricação de solo – cimento, porém os que são os mais indicados são os que possuem entre 45 e 50% de areia (PCA, 1969; Souza ET AL., 2008).

Cruzando as informações de levantamentos científicos, pode-se observar que a influência da umidade é fundamental para o resultado final dos tijolos cujas suas composições são de substratos diversos e secos ao ar livre. Como a argila e o silte são importantes elementos físicos que influenciam na retenção de umidade, o gradiente de umidade formado pela presença destes na mistura solo – cimento – rejeito, pode ser o responsável pelos resultados encontrados, tanto nas observações de 7 e 28 dias.

4 Considerações Finais

Durante a confecção dos tijolos e observação no período de cura foi percebido que a adição de 3% do resíduo na massa de solo-cimento teve a melhor trabalhabilidade e mostrou-se mais homogênea, corroborando com os resultados anteriormente analisados de menor índice de plasticidade.

Foi observado que os tijolos de solo-cimento com adição de 1%, 5% e 10%, apresentaram uma alta fragilidade no tempo de cura referente a 7 dias.

Diante dos resultados apresentados pelo teste de Resistência a Compressão Simples, considera-se que não é viável a utilização do resíduo da Estação de Tratamento de Água – Gramame, secos ao sol, na confecção de tijolos solo-cimento por estes influenciarem de forma negativa na resistência do produto final.

A porcentagem de 3% de resíduo, para a massa solo-cimento utilizada, apresentou-se o resultado que menos interferiu negativamente no teste de

Compressão Simples, quando o resíduo de tratamento de água (lodo) foi agregado no solo-cimento.

O resultado na porcentagem de 1% de resíduo adicionado a massa de solo-cimento, no período de 28 (vinte e oito) dias, apresenta-se diminuta em relação ao período de 7 (sete) dias porque dois tijolos deste período (vinte e oito dias), ao chegar no laboratório não apresentaram condições de teste.

Referências

BRASIL. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. NBR 12023:1992.

BRASIL. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. NBR 8492:2012.

BRASIL. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. NBR 8491:2012.

BUTTER, Paulo Luiz. **Desenvolvimento de um Modelo de Gerenciamento Compartilhado dos Resíduos Sólidos Industriais nos Sistema de Gestão Ambiental da Empresa**. Dissertação. Florianópolis: UFSC, 2003.

KALIL, Silvia Maria Baptista. **Alvenaria Estrutural**. Material didático produzido pela PUCRS. Acessado em: 28/07/2015. Disponível em:
http://www.feng.pucrs.br/professores/soares/Topicos_Especiais_-_Estruturas_de_Madeira/Alvenaria.pdf

AMARAL, Mateus Carvalho. **Avaliação da Incorporação de Resíduo de Cinzas de Bagaço de Cana-de-Açúcar em Tijolo Solo-cimento**. Dissertação. Rio de Janeiro: UENF, 2014.

BUTTER, Paulo Luiz. **Desenvolvimento de um Modelo de Gerenciamento Compartilhado dos Resíduos Sólidos Industriais nos Sistema de Gestão Ambiental da Empresa**. Dissertação. Florianópolis: UFSC, 2003.

CABRAL, Vivian Ane Lopes. **Avaliação da Incorporação do Lodo da ETA UFV na manufatura de Tijolos de Solo-cimento**. Dissertação. Minas Gerais: UFV, 2013.

GLOBO, Júlio C. da C.; CUNHA, Ananda H. N. **Incorporação de Casca de Arroz e de Braquiária e seus Efeitos nas Propriedades Físicas e Mecânicas de Tijolos Solo-cimento**. Jaboticabal, v. 28, nº 1, 2008.

MONTEIRO, Elis Alessandra. **Índice de Qualidade de Aterros Industriais**. Dissertação. Rio de Janeiro: UFRJ. Rio de Janeiro, 2006.

PEREIRA, Sabrina Lívia de Medeiros. **Características Físicas, Químicas e Microbiológicas do Lodo das Lagoas da ETA Gramame**. Dissertação. João Pessoa: UFPB, 2011.

Portland Cement Association. PCA. **Soil-cement Construction Handbook**. Illinois, 1969.

RODRIGUES, Lara Pessin. **Incorporação de resíduo de Estação de Tratamento de Água de Campos do Goytacares em corpos cimentícios para uso em tijolo solo-cimento**. Rio de Janeiro Dissertação UENF, 2012

RODRIGUES, L.P.; HOLANDA, J. N. F. **Influência da Incorporação de Lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA) nas Propriedades de Tijolos Solo-cimento**. Revista Cerâmica 59, 2013.

SOUZA, M. I. B.; SEGANTINI, A. A. S.; PEREIRA, J. A. **Tijolos Prensados de Solo-cimento Confeccionados com Resíduos de Concreto**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 12, nº 2, 2008.

SIQUEIRA, F. B. **Avaliação da Incorporação de Resíduo Grits nas propriedades e Microestrutura de Tijolo Solo-cimento**. Dissertação. Rio de Janeiro: UENF, 2013.

KALIL, Silvia Maria Baptista. **Alvenaria Estrutural**. Material didático produzido pela PUCRS. Acessado em: 28/07/2015. Disponível em: <http://www.feng.pucrs.br/professores/soares/Topicos_Especiais_-_Estruturas_de_Madeira/Alvenaria.pdf>

VON SPERLING, Marcos. **Análise dos Padrões Brasileiros de Qualidade de Corpos d'Água e de Lançamentos de Efluentes**. Revista Brasileira de recursos Hídricos – RBRH. Porto Alegre, v. 3, nº 1, 1998.

CONCLUSÃO FINAL

Diante das observações realizadas ao longo do trabalho é possível inferir sobre alguns aspectos ainda não citados relacionados a concretude das atividades. Foram percebidos também sugestões para pesquisas futuras, não realizados no atual momento por não constituírem objetivos do estudo.

- Foi observado uma considerável retração do resíduo quando posto para secagem ao ar livre, na incidência direta de sol, considerando assim uma alta porcentagem de água livre e intersticial no material.
- A alta porcentagem de Perda ao Fogo determinada na pesquisa justifica a considerável retração observada durante o período de secagem do material.
- No que tange aos resultados químicos dos materiais, solo e resíduo, são semelhantes em suas composições químicas.
- As demandas de Matéria Orgânica encontradas no resíduo condizem de forma satisfatória quando confrontadas com a literatura nacional, compreendendo assim que o Sistema de Tratamento de Água - Gramame bem como suas águas captadas estão em padrões regulares ao ideal.
- A Demanda Bioquímica de Oxigênio após secagem de três dias apresentou uma considerável diminuição.
- Diante das observações realizadas sobre as porcentagens 0%, 5%, 7% e 10%, nas quais apresentaram as maiores fragilidades para retirada da máquina de tijolos solo-cimento, correlaciona-se com o Índice de Plasticidade.
- Os valores de resistência a Compressão Simples demonstram que, o resíduo da Estação de Tratamento de Água – Gramame, diminuiu a resistência mecânica do tijolo solo-cimento.
- Para a massa de solo e cimento utilizados, a porcentagem de resíduo que se apresentou favorável nos testes de Resistência a Compressão Simples foi 3% do resíduo da Estação de Tratamento de Água – Gramame.

Referências

- BRASIL. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. NBR 10004:2004.
- BRASIL. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. NBR 8491:2012.
- BRASIL. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. NBR 8492:2012.
- BRASIL. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. NBR 6502:1995.
- BRASIL. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. NBR 7180:1988.
- BRASIL. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. NBR 6459:1984.
- BRASIL. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. NBR 12023:1992.
- BRASIL. **Fundação Nacional de Saúde. Manual de Saneamento**. 4ed. rev. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006.
- BRASIL. **Ministério da Saúde**. Portaria nº 2914:2011.
- BRASIL. **Política Nacional dos Resíduos Sólidos**. Lei nº 12305: 2010.
- BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente. Secretária de Extrativismo e Desenvolvimento Rural Sustentável**. Curso de Bioconstrução. Brasília, 2008. Anais... Natal: ABES, 1993. v.2, p. 324-341.
- ARAUJO, A. A. **A moderna construção sustentável**. Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica. 2012.
- BARTHOLO JR., R. S. (1999) **A mais moderna das esfinges – notas sobre ética e desenvolvimento**. In: Anais do Seminário Desenvolvimento Sustentável e Poder Local. UNICAP/AUSJAL, Recife.
- BELMONTE, E. P. **Espectrometria por Fluorescência de Raios X por Reflexão Total: Um estudo Simulado Utilizando o Método de Monte Carlo**. COPPE/UFRJ - Rio de Janeiro, 2005.
- BESEN, G. R. **Coleta seletiva com inclusão de catadores: construção participativa de indicadores e índices de sustentabilidade**. São Paulo, 2011. 275p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo.
- BRAGA, Benedito; e colaboradores. **Introdução a Engenharia Ambiental**. 2º ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.
- BUTTER, Paulo Luiz. **Desenvolvimento de um Modelo de Gerenciamento Compartilhado dos Resíduos Sólidos Industriais nos Sistema de Gestão**

Ambiental da Empresa. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis. 2003.

CANTARINO, Carol. **Bioconstrução Combina Técnicas Milenares com Inovações Tecnológicas.** 2010. Disponível em: <http://www.oarquivo.com.br/component/content/article?id=3091:bioconstrucao>. Acessado em: 19/07/2015.

CAPRA, Frijof. **Alfabetização ecológica: a educação das crianças para um mundo sustentável.** São Paulo: Cultrix, 2006.

CARVALHO, C.L. **Propriedades Mecânicas, morfologia, e biodegradação de poliolefinas pós-consumo e blendas com amido termoplástico.** Dissertação em Engenharia e Ciência dos Materiais. Itabita, Universidade São Francisco. 2005.

CARVALHO, Caio César Guedes de; SANTOS, Maria Fátima dos. **Manual de Operação e Manutenção de Estação de Tratamento de Água.** Cuiabá, 2004.

CATTANI, Antônio David. **Tecnologia e Desenvolvimento Social e Solidário.** Rio de Janeiro: SOLTEC/UFRJ, 2005.

CHIES, F., ZWONOK, O., SILVA, N. I. W, CALARGE, L. M. **Desenvolvimento de tijolos a partir de cinzas pesadas e cal hidratada.** II – Caracterização Tecnológica. In: Frankenberg, C. L. C.; Raya-rodrigues, M. T.; Cantelli, M. (orgs.) Gerenciamento de Resíduos e Certificação Ambiental. Porto Alegre. 2000.

DELLACORT, Rivanildo; LIMA JUNIOR, Humberto C.; WILLRICH, Fábio L.; BARBOSA, Normando P. **Resistência à compressão do solo-cimento com substituição parcial do cimento Portland por resíduo cerâmico moído.** In: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** Campina Grande: UFCG, 2002.

DIJKEMA, G.P.J.; REUTR,M.A.; VERHOEF,E.V. **A New Paradigm for wast management.** Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd43/reuter.pdf>. Acessado em: 19/07/2015

DONDI, M.; MARSIGLI, M.; FABBRI, B. **Recycling of individual and urban wastes in brick production – a review.** Tile & Brick International, Germany. 1997.

FADANELLI, Lis Eveline Athaydes; WIECHETECK, Giovana Katie. **Estuda da Utilização do Lodo de Estação de Tratamento de Água em Solo Cimento para Pavimentação Rodoviária.** In: **Revista de Engenharia e Tecnologia.** V.02, nº 02, 2010.

FERREIRA FILHO, Efren de Moura. **Construção com Solo-Cimento**. Disponível em: <<http://www.ceplac.gov.br/radar/Artigos/artigo7.htm>>. Pesquisado em: 24/07/2015.

FERREIRA, José Vicente Rodrigues. **Gestão Ambiental: Análise de Ciclo de Vida dos Produtos**. Instituto Politécnico de Viseu: Portugal, 2004.

FIGUEIREDO, P.J.M. **A Sociedade do Lixo: Os Resíduos, a Questão Energética e a Crise Ambiental**. 2.ed. Piracicaba: Unimep, 1995.

GRANDIN, S. R.; ALEM SOBRINHO, P.; GARCIA JR., A. D. **Desidratação de Lodos Produzidos em Estações de Tratamento de Água**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 17, 1993, Natal. <<http://www.ecocentro.org>>. Acessado em: 19/07/2015

GUERRA, Antônio Teixeira. **Dicionário Geológico Geomorfológico**. 7ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1987.

HASENCLEVER, L.; TIGRE, P. B. **Estratégias de inovação**. In: KUPFER, D.; HASENCLEVER, L. Economia industrial: fundamentos teóricos e práticos no Brasil. Rio de Janeiro: Elsevier, 2002.

JACOBI, Pedro Roberto; BESEN, Gina Rizpah. **Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade**. Estudos Avançados: São Paulo, v. 25, n. 71, 2011.

KALIL, Silvia Maria Baptista. **Alvenaria Estrutural**. Material didático produzido pela PUCRS. Acessado em: 28/07/2015. Disponível em: <http://www.feng.pucrs.br/professores/soares/Topicos_Especiais_-_Estruturas_de_Madeira/Alvenaria.pdf>

LAYRARGUES, P. P. **Do ecodesenvolvimento ao desenvolvimento sustentável: evolução de um conceito?** Revista Proposta, Rio de Janeiro, v. 24, n. 71, p. 1-5, 1997.

LEFF, Enrique. Ecologia, Capital e Cultura: **A Territorialização da Racionalidade Ambiental**. Rio de Janeiro: Vozes, 2009.

LIANZA, Sidney; ADDOR, Felipe; CARVALHO, Vanessa Ferreira Mendonça de. **Solidariedade Técnica: Por Uma Formação Crítica no Desenvolvimento Tecnológico**. In: Tecnologia e Desenvolvimento Social e Solidário. Rio de Janeiro: SOLTEC/UFRJ, 2005.

Lucchese, Patrícia T. R. **Políticas Públicas em Saúde Pública**. São Paulo: BIREME/OPAS/OMS, 2004.

MANSUR, Herman Sander. **Técnicas de Caracterização de Materiais**. Disponível em: <<http://www.biomaterial.com.br/capitulo7part01.pdf>>. Acessado em: 16/10/2015.

MARCHI, Cristina Maria Dacach Fernandez. **Novas Perspectivas na Gestão do Saneamento: Apresentação de um Modelo de Destinação Final de Resíduos Sólidos Urbanos**. Universidade Católica do Paraná. 2015.

MIERZWA, José Carlos; HESPANHOL, Ivanildo. **Água na Indústria: Uso Racional e Reuso**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

MILANI, Ana P. S.; FREIRE, Wesley J. **Características Físicas e Mecânicas de Misturas de Solo, Cimento e Casca de Arroz**. In: Revista Engenharia Agrícola de Jaboticabal. São Paulo, 2006.

MIRANDA, Larissa de Almeida; ALVARENGA, Rita de Cássia Silva Sant'Anna; PINTO JUNIOR, Paulo Cesar Moreira; PAULA JUNIOR, Eduardo Dantas de; CARVALHO, Carlos Alexandre Braz de; FASSONI, Délio Porto; COUTO, Lauro Gontijo. **Avaliação do Potencial do Grits como Material de Construção na Produção de Tijolo Solo-Cimento**. In: Revista Árvore. Viçosa - MG, 2011.

MONTEIRO, Elis Alessandra. **Índice de Qualidade de Aterros Industriais**. Dissertação UFRJ. Rio de Janeiro, 2006.

NAIME, Roberto Harb. SPILKI, Fernando Rosado. **Preservação Ambiental e o Caso Especial do Manejo de Resíduos de Laboratório: Conceitos Gerais e Aplicados**. [Recurso Eletrônico]. Novo Hamburgo: Universidade Feevale, 2012.

OLENDER, Mônica Cristina Henriques Leite. **A técnica do pau-a-pique: subsídios para a sua conservação**. Mestrado UFBA. Salvador, 2006.

PAIXÃO, Luiz Carlos Cardoso. **Aproveitamento de Lodo de Estação de Tratamento de Água em Cerâmica Vermelha**. Dissertação UFOP, 2005.

PEREIRA, Sabrina Lívia de Medeiros. **Características Físicas, Químicas e Microbiológicas do Lodo das Lagoas da ETA Gramame**. Dissertação UFPB. João Pessoa, 2011.

PIZZATTO, Luciano; PIZZATTO, Raquel. **Dicionário Socioambiental Brasileiro**. Curitiba: TECNODATA Educacional. 2009.

PRESTES, Daniel Fernandes Cavalcanti. **Análise Econômica e Ambiental de Duas Opções para Secagem de Mãos em Banheiros Públicos: Secador Elétrico x Toalhas de Papel**. Monografia UFPB, 2014.

RICHTER, Carlos A. **Tratamento de Lodos de Estação de Tratamento de Água**. São Paulo: Blucher, 2001.

RODRIGUES, L. P.; HOLANDA, J. N. F. **Influência da Incorporação de Lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA) nas Propriedades Tecnológicas de Tijolos Solo-Cimento.** In: Revista Cerâmica, 2013.

SACHS, I. **Estratégia de transição para o século XXI: desenvolvimento e meio ambiente.** São Paulo: Studio Nobel, 1993.

SILVA, Salomão Anselmo; Oliveira, Rui de. **Manual de Análises Físico-Químicas de Água de Abastecimento e Residuárias.** Campina Grande, Paraíba: O Autor, 2001.

TEIXEIRA, S.R., SOUZA, A. E., SANTOS, G.T.A., PENA, A.F.V. **Sugarcane Bagasse ash as a Potential Quartz Replacement in Red Ceramic.** Journal of the American Ceramic Society. 2008.

TENÓRIO, Jorge Alberto Soares, ESPINOSA, Denise Crocce, Romano. **Controle Ambiental de Resíduos.** In: PHILIPPI JR., Arlindo, ROMÉRO, Marcelo de Andrade, BRUNA, Gilda Collet (editores). Curso de Gestão Ambiental. Barueri, SP: Manole, 2004. pp.155-211.

TOMÉ Jr., J. B. **Manual para interpretação de análise de solo.** Livraria e Editora Agropecuária, Guaíba - RS, 1997.

VELOSO, A. C. e CANELLAS L. P. Notas de Aula da disciplina: Mineralogia e Química de Superfície de Solos. (SOL – 3732). 2º Período, UENF/CCTA – LSOL, 2004.

VIANNA, Marcos Rocha. **Hidráulica Aplicada as Estações de Tratamento de Água.** 3º edição. Belo Horizonte: Imprimatur, 1997. Waste Management. 2000.