



Helenton Carlos da Silva
(Organizador)

Engenharia
Ambiental e Sanitária:
Interfaces do Conhecimento 2

Atena
Editora

Ano 2019

Helenton Carlos da Silva
(Organizador)

Engenharia Ambiental e Sanitária:
Interfaces do Conhecimento 2

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Natália Sandrini
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Faria – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E57	Engenharia ambiental e sanitária [recurso eletrônico] : interfaces do conhecimento 2 / Organizador Helenton Carlos da Silva. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. – (Engenharia Ambiental e Sanitária. Interfaces do Conhecimento; v. 2) Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-694-2 DOI 10.22533/at.ed.942190910 1. Engenharia ambiental. 2. Engenharia sanitária I. Silva, Helenton Carlos da. II. Série. CDD 628.362
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “*Engenharia Ambiental e Sanitária Interfaces do Conhecimento*” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora, em seu II volume, apresenta, em seus 31 capítulos, discussões de diversas abordagens acerca da importância da engenharia ambiental e sanitária, tendo como base suas diversas interfaces do conhecimento.

Entre os muitos usuários da água, há um setor que apresenta a maior interação e interface com o de recursos hídricos, o setor de saneamento.

A questão das interfaces entre saneamento e recursos hídricos coloca-se no saneamento como usuário de água e como instrumento de controle de poluição, em consequência, de preservação dos recursos hídricos.

Estas interfaces, como linhas integradas prioritárias de pesquisa, relacionam-se ao desenvolvimento e a inovação, seja de caráter científico e tecnológico, entre as áreas de recursos hídricos, saneamento, meio ambiente e saúde pública.

Dentro deste contexto podemos destacar que o saneamento básico é envolto de muita complexidade, na área da engenharia ambiental e sanitária, pois muitas vezes é visto a partir dos seus fins, e não exclusivamente dos meios necessários para atingir os objetivos almejados.

Neste contexto, abrem-se diversas opções que necessitam de abordagens disciplinares, abrangendo um importante conjunto de áreas de conhecimento, desde as ciências humanas até as ciências da saúde, obviamente transitando pelas tecnologias e pelas ciências sociais aplicadas. Se o objeto saneamento básico encontra-se na interseção entre o ambiente, o ser humano e as técnicas podem ser facilmente traçados distintos percursos multidisciplinares, potencialmente enriquecedores para a sua compreensão.

Neste sentido, este livro é dedicado aos trabalhos relacionados a estas diversas interfaces do conhecimento da engenharia ambiental e sanitária. A importância dos estudos dessa vertente é notada no cerne da produção do conhecimento, tendo em vista o volume de artigos publicados. Nota-se também uma preocupação dos profissionais de áreas afins em contribuir para o desenvolvimento e disseminação do conhecimento.

Os organizadores da Atena Editora agradecem especialmente os autores dos diversos capítulos apresentados, parabenizam a dedicação e esforço de cada um, os quais viabilizaram a construção dessa obra no viés da temática apresentada.

Por fim, desejamos que esta obra, fruto do esforço de muitos, seja seminal para todos que vierem a utilizá-la.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
PLANOS MUNICIPAIS DE SANEAMENTO BÁSICO: EXPERIÊNCIAS E COMPREENSÕES PARA SEU ACOMPANHAMENTO E ATUALIZAÇÃO	
Marcelo Seleme Matias	
DOI 10.22533/at.ed.9421909101	
CAPÍTULO 2	17
AS CARAVANAS DE SANEAMENTO NA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO: FORMA DE DIÁLOGO DE SABERES E DE CAPACITAÇÃO PARA O PROCESSO DE ELABORAÇÃO DE PLANOS MUNICIPAIS DE SANEAMENTO BÁSICO	
Luiz Roberto Santos Moraes	
Luciana Espinheira da Costa Khoury	
Ilka Vlaida Almeida Valadão	
DOI 10.22533/at.ed.9421909102	
CAPÍTULO 3	29
AVALIAÇÃO DOS MÉTODOS DE PROJEÇÃO POPULACIONAL PARA ELABORAÇÃO DE PROJETOS DE SANEAMENTO BÁSICO EM BELÉM DO PARÁ	
Giovanni Chaves Penner	
Laércio dos Santos Rosa Junior	
Ana Gabriela Santos Dias	
DOI 10.22533/at.ed.9421909103	
CAPÍTULO 4	37
ESTIMATIVA DE POTENCIAL HÍDRICO SUBTERRÂNEO NA REGIÃO NORTE DO ESTADO DO PARANÁ	
Maurício Marchand Krüger	
Cláudio Marchand Krüger	
Rodrigo Pinheiro Pacheco	
Marcos Cesar Santos da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.9421909104	
CAPÍTULO 5	51
ESTRATÉGIAS INSTITUCIONAIS E REGULATÓRIAS PARA ENFRENTAMENTO DA CRISE HÍDRICA NO ESTADO DE SÃO PAULO	
Ester Feche Guimarães	
Marcel Costa Sanches	
DOI 10.22533/at.ed.9421909105	
CAPÍTULO 6	61
PARCERIAS PÚBLICO-PRIVADAS: DO CONCEITO À PRÁTICA, UMA ÊNFASE NO SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DA BAHIA	
Renavan Andrade Sobrinho	
Abelardo de Oliveira Filho	
Cristiane Sandes Tosta	
DOI 10.22533/at.ed.9421909106	

CAPÍTULO 7	74
ANÁLISE DA QUALIDADE DE ÁGUA DE POÇOS SEDIMENTADOS NAS COMUNIDADES RURAIS DO MUNICÍPIO DE SÃO MIGUEL DO IGUAÇU	
Maria Cristina Scarpari Juliana Ninov Márcia Antonia Bartolomeu Agustini Fabio Orssatto	
DOI 10.22533/at.ed.9421909107	
CAPÍTULO 8	92
CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA CLARIFICADA PROVENIENTE DO TRATAMENTO DO RESÍDUO DO TRATAMENTO DE ÁGUA EM CICLO COMPLETO	
Isadora Alves Lovo Ismail Angela Di Bernardo Dantas Luiz Di Bernardo Cristina Filomêna Pereira Rosa Paschoalato Mateus Ancheschi Roveda Guimarães	
DOI 10.22533/at.ed.9421909108	
CAPÍTULO 9	105
PRÉ-TRATAMENTO DE ÁGUA DE TORRE DE RESFRIAMENTO VISANDO REÚSO	
Nathalia Oliveira dos Santos Lídia Yokoyama Vanessa Reich de Oliveira Gabriel Travagini Ribeiro	
DOI 10.22533/at.ed.9421909109	
CAPÍTULO 10	118
PRÉ-TRATAMENTO DE ÁGUA DO MAR AO SISTEMA DE OSMOSE INVERSA EM USINAS TERMELÉTRICAS	
Luciano Dias Xavier Lídia Yokoyama Vanessa Reich de Oliveira Gabriel Travagini Ribeiro	
DOI 10.22533/at.ed.94219091010	
CAPÍTULO 11	131
QUALIDADE DAS ÁGUAS DO PARQUE LAGOAS DO NORTE, TERESINA-PI	
Rafael Diego Barbosa Soares Carlos Ernando da Silva Ronne Wesley Lopes da Cruz	
DOI 10.22533/at.ed.94219091011	
CAPÍTULO 12	141
CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO SANTO AMARO, ESTADO DO ESPÍRITO SANTO	
Caio Henrique Ungarato Fiorese Herbert Torres Gilson Silva Filho	
DOI 10.22533/at.ed.94219091012	

CAPÍTULO 13	156
CONTROLE DE ENCHENTES E A ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA EM BLUMENAU, SC, BRASIL	
Raphael Franco do Amaral Tafner Roberto Righi	
DOI 10.22533/at.ed.94219091013	
CAPÍTULO 14	168
APLICAÇÃO DE TETO JARDIM RESIDENCIAL NA REDUÇÃO DE ALAGAMENTO URBANO	
Raquel da Silva Pinto Camila de Fátima Lustosa Gabriele Sabbadine André Augusto Gutierrez Fernandes Beati Rafael Augusto Valentim da Cruz Magdalena Luciane de Souza Oliveira Valentim	
DOI 10.22533/at.ed.94219091014	
CAPÍTULO 15	180
DESENVOLVIMENTO DE GEOPOLÍMEROS COM A INCORPORAÇÃO DO LODO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA	
Matheus Rossetto Luciano Senff Simone Malutta Rubia Lana Britenbach Meert Bruno Borges Gentil	
DOI 10.22533/at.ed.94219091015	
CAPÍTULO 16	194
BENCHMARKING DE DESEMPENHO ENTRE OPERADORAS DE ÁGUA E ESGOTO EM NÍVEL DE BACIA HIDROGRÁFICA	
Tiago Balieiro Cetrulo Aline Doria de Santi Rui Domingos Ribeiro da Cunha Marques Tadeu Fabrício Malheiros Natália Molina Cetrulo	
DOI 10.22533/at.ed.94219091016	
CAPÍTULO 17	203
ANÁLISE DA DEGRADAÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA EM EFLUENTES SIMULADOS DA INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS	
Micheli Tutumi de Araujo Alexandre Saron	
DOI 10.22533/at.ed.94219091017	
CAPÍTULO 18	218
ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA DO USO DE ÁGUA RESIDUÁRIA COMO ÁGUA DE AMASSAMENTO PARA CONCRETO	
André Schramm Brandão Ênio Pontes de Deus Antônio Eduardo Bezerra Cabral Wyoskynaria Mihaly Maia da Silva Francisco Altanízio Batista de Castro Júnior	
DOI 10.22533/at.ed.94219091018	

CAPÍTULO 19	231
APLICAÇÃO DO MÉTODO ESTATÍSTICO DCCR NA REMOÇÃO DE CORANTES EM EFLUENTE TÊXTIL POR PROCESSO DE ELETROCOAGULAÇÃO	
Fabíola Tomassoni Elisângela Edila Schneider Cristiane Lisboa Giroletti Maria Eliza Nagel-Hassemer Flávio Rubens Lapolli	
DOI 10.22533/at.ed.94219091019	
CAPÍTULO 20	244
DESAGUAMENTO E HIGIENIZAÇÃO DE LODO DE ESGOTO UTILIZANDO ESTUFA AGRÍCOLA SOBRE LEITOS DE SECAGEM	
Juliana Guasti Lozer Ricardo Franci Gonçalves Vinícius Mattos Fabris	
DOI 10.22533/at.ed.94219091020	
CAPÍTULO 21	254
DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO DE CADASTRAMENTO E CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS POTENCIALMENTE CONTAMINADAS PELA DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO	
Renato Ribeiro Siman Hugo de Oliveira Fagundes Larissa Pereira Miranda Luciana Harue Yamane	
DOI 10.22533/at.ed.94219091021	
CAPÍTULO 22	267
ENZIMAS LIGNINOLÍTICAS DE <i>Trametes sp.</i> NA REMEDIAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS GERADOS DURANTE TRATAMENTO DE EFLUENTE KRAFT EM LAGOAS AERADAS FACULTATIVAS	
Eliane Perreira Machado Gustavo Henrique Couto Aline Cristine Hermann Bonato Camila Peitz Claudia Regina Xavier	
DOI 10.22533/at.ed.94219091022	
CAPÍTULO 23	276
ESTUDO COMPARATIVO DA SECAGEM NATURAL DE LODOS DE ETEs SUBMETIDOS AO PROCESSO DE CENTRIFUGAÇÃO	
Sara Rachel Orsi Moretto Walmor Cardoso Godoi Sebastião Ribeiro Junior	
DOI 10.22533/at.ed.94219091023	

CAPÍTULO 24	287
ESTUDO DA AÇÃO DE CONSÓRCIOS MICROBIANOS NA REMEDIAÇÃO DE ÁGUAS CONTAMINADAS	
<p>Viviane Nascimento da Silva e Sá Fabiana Valéria da Fonseca Leila Yone Reznik Tito Lívio Moitinho Alves</p>	
DOI 10.22533/at.ed.94219091024	
CAPÍTULO 25	300
ESTUDO DO ACÚMULO DE NITRITO EM REATOR SEQUENCIAL EM BATELADA VISANDO A REMOÇÃO DE NITROGÊNIO PELA VIA CURTA	
<p>Ajadir Fazolo Alisson Luiz Boeing Kátia Valéria Marques Cardoso Prates Paulo Henrique Mazieiro Pohlmann Rafael Coelho Ciciliato Rafaella Oliveira Baracho</p>	
DOI 10.22533/at.ed.94219091025	
CAPÍTULO 26	311
GESTÃO DE MICROPOLUENTES EM BACIAS HIDROGRÁFICAS URBANAS: O CASO DO RIO BELÉM, CURITIBA, PARANÁ	
<p>Demian da Silveira Barcellos Harry Alberto Bollmann</p>	
DOI 10.22533/at.ed.94219091026	
CAPÍTULO 27	330
II-032 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE REÚSO AGROPECUÁRIO DOS EFLUENTES DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO DA EMBASA, SITUADAS NO SEMIÁRIDO BAIANO	
<p>Evanildo Pereira de Lima Helder Guimarães Aragão</p>	
DOI 10.22533/at.ed.94219091027	
CAPÍTULO 28	339
IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE REÚSO URBANO NÃO POTÁVEL EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO	
<p>Juliana Guasti Lozer Victor Correia Faustini Cinthia Gabriela de Freitas Ribeiro Vieira Reis Nadja Lima Gorza Renata Maia das Flores</p>	
DOI 10.22533/at.ed.94219091028	
CAPÍTULO 29	351
O REÚSO DA ÁGUA DE EFLUENTE NO PÓLO PETROQUÍMICO DE CAPUAVA – SÃO PAULO	
<p>Sâmia Rafaela Maracaípe Lima Eduardo Ueslei de Souza Siqueira Layse de Oliveira Portéglio Mainara Generoso Faustino</p>	
DOI 10.22533/at.ed.94219091029	

CAPÍTULO 30	363
PRODUÇÃO DE BIOMASSA MICROALGAL EM EFLUENTE SUCROALCOOLEIRO CLARIFICADO POR COAGULAÇÃO ELETROQUÍMICA	
Mauricio Daniel Montaña Saavedra Viktor Oswaldo Cárdenas Concha Reinaldo Gaspar Bastos	
DOI 10.22533/at.ed.94219091030	
CAPÍTULO 31	379
USO DE ESGOTOS TRATADOS NO NORDESTE DO BRASIL: POTENCIAIS E DESAFIOS	
Rafaela Ribeiro de Oliveira Yldeney Silva Domingos Luara Musse de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.94219091031	
SOBRE O ORGANIZADOR	391
ÍNDICE REMISSIVO	392

DESENVOLVIMENTO DE GEOPOLÍMEROS COM A INCORPORAÇÃO DO LODO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Matheus Rossetto

Engenheiro de Infraestrutura

Luciano Senff

Universidade Federal de Santa Catarina,
Departamento de Engenharia da mobilidade
Joinville – Santa Catarina

Simone Malutta

Universidade Federal de Santa Catarina,
Departamento de Engenharia da mobilidade
Joinville – Santa Catarina

Rubia Lana Britenbach Meert

Engenheira de Infraestrutura

Bruno Borges Gentil

Engenheiro Sanitarista e Ambiental
Companhia Águas de Joinville

RESUMO: Essa pesquisa se concentrou em analisar as características físicas, químicas e mecânicas de argamassas com a presença de lodo de estações de tratamento de água, como fonte de aluminossilicatos em substituição parcial do metacaulim, como também, utilizando o lodo como forma de adição. As formulações tiveram relação sólido/líquido de 1,5 e relação silicato/solução de 50%/50%. Foram testadas amostras com substituição do metacaulim por lodo com 0%, 10%, 15%, 20%, 25% e 30% e com adição de 0%, 10%, 15% e 20%. Concluiu-se que, no estado fresco, a incorporação do lodo reduz significativamente a

trabalhabilidade da argamassa geopolimérica. No estado endurecido, após os 28 dias de cura, quando o lodo é adicionado em forma de substituição existe uma redução da resistência à compressão em relação a formulação de referência, sendo que a formulação com maior resistência à compressão foi com 25% de substituição, atingindo 33,25 MPa, redução de 25,39%. No caso de adição, todas as amostras apresentaram um aumento da resistência à compressão, sendo que a formulação com 15% de adição de lodo obteve 52,46 MPa de resistência à compressão, acréscimo de 17,73%.

PALAVRAS-CHAVE: Geopolímero, Lodo de ETA

ABSTRACT: This research was focused on analyzing the physical, chemical and mechanical characteristics of mortars with the presence of sludge from water treatment plants, as a source of aluminosilicates in partial replacement of metakaolin, as well as using sludge with addition in the geopolymer matrix. The formulations have a solid/liquid ratio of 1.5 and 50% / 50% silicate / solution ratio. Samples with substitution of 0%, 10%, 15%, 20%, 25% and 30% and 0%, 10%, 15% and 20% of the metakaolin were tested. It was concluded that in the fresh state the incorporation of the sludge significantly reduces the workability of the geopolymer

mortar. In the hardened state, after 28 days of curing, when the sludge is added in the form of substitution, there is a reduction of the compressive and flexural strength in relation to the reference formulation, and the formulation with the highest resistance to compression was with 25% of substitution, reaching 33.25 MPa, a reduction of 25.39%. In the samples with addition all the samples presented an increase of the resistance to compression and flexion, being that the formulation with 15% of addition of sludge obtained 52,46 MPa of resistance to compression, increase of 17,73%.

KEYWORDS: Geopolymer, WTS sludge. Waste use.

1 | INTRODUÇÃO

O concreto é amplamente utilizado em todas as obras da construção civil e tem evoluído para atender as necessidades com maior qualidade, durabilidade e menor custo (HAGEMANN, 2011). Em razão do volume consumido, atualmente a quantidade de matérias-primas provenientes de recursos naturais é muito significativa, e a energia utilizada para sua fabricação gera grande emissão de gases de efeito estufa, assim como poluição por poeira (ZHANG, 2014).

O concreto mais elementar é formado basicamente por aglomerante + agregado graúdo + agregado miúdo + água. O principal aglomerante é o cimento Portland. Deste modo, a comunidade científica tem procurado desenvolver ligantes alternativos capazes de apresentarem melhor desempenho, durabilidade e que sejam mais sustentáveis (HAGEMANN, 2011; WINCRET DESIGNER CONCRETE PRODUCTS LTDA, 2016).

Nesse contexto, surge o concreto de geopolímero, que consiste em uma pasta com ativação alcalina de aluminossilicatos e agregados com características similares aos materiais à base de cimento, porém, com o diferencial de apresentar menor impacto ambiental (DAVIDOVITS, 2002). São formados basicamente por uma fonte de aluminossilicato, geralmente o metacaulim, devido principalmente à sua elevada taxa de dissolução em meio alcalino e à facilidade de controle da relação Si:Al; e um ativador alcalino, responsável pela dissolução dos aluminossilicatos em um meio aquoso e em condições altamente alcalinas, usualmente sendo utilizado o hidróxido de sódio ou potássio (CESARI, 2015).

Os geopolímeros são membros da família de polímeros inorgânicos e podem ser fabricados com qualquer material ou resíduo que apresente uma quantidade considerável de silício (Si) e alumínio (Al) na forma amorfa à sem-cristalina (BHARATH, 2018). Assim, é possível utilizar, para a sua confecção, materiais que são rejeitos industriais e não tem um descarte adequado na natureza (BOCA SANTA, 2012).

Neste cenário, o processo de tratamento de água no Brasil gera grande volume de lodo que necessita ser descartado, usualmente tendo sido lançado nos recursos hídricos próximos ou transportado a aterros sanitários de lixo urbano. Os resíduos, quando lançados nos cursos de água, sem o tratamento adequado, colaboram para

aumentar a concentração de metais tóxicos, além de diminuir significativamente a luminosidade do meio. Conseqüentemente, o tratamento e descarte é uma atividade complexa com custos operacionais elevados. (BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2011; RODRIGUES; HOLANDA, 2013). O lodo das estações de tratamento de água (ETA) é um material de resíduo rico em minerais de silicatos e matéria orgânica (RODRIGUES; HOLANDA, 2013). Desta forma, se torna um material muito atrativo para a produção de geopolímeros.

Diante disso, este artigo se concentra em analisar propriedades físicas e mecânicas de argamassas geopoliméricas fabricadas com a utilização em diferentes quantidades do lodo de estações de tratamento de água em substituição parcial do metacaulim e como adição em uma matriz preestabelecida. O lodo utilizado, foi cedido pela Companhia Águas de Joinville e é proveniente da Estação de Tratamento de Lodo (ETL) da ETA Cubatão.

2 | MATERIAIS E METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Para a produção das argamassas geopoliméricas os seguintes materiais foram utilizados:

- Metacaulim (MK) como fonte de aluminossilicato: disponibilizado pela empresa Metacaulim Brasil e segue as especificações da norma NBR15894/10. Ele é composto basicamente por Al_2O_3 (32,6%) e SiO_2 (57,12%) e tem o tamanho médio das partículas é de 21 μm e $D_{50} = 6,5 \mu m$;
- (Solução de $H_2O + NaOH$) (9 molar) + Silicato de sódio como agente ativador alcalino: o $NaOH$ é fabricado pela empresa Buschle & Lepper S/A e possui 98% de pureza e o silicato de sódio neutro Q-112 é fabricado pela mesma empresa;
- Areia média como agregado miúdo: de origem silícea, com massa unitária igual a 1,59 g/cm^3 .

O lodo é um resíduo gerado principalmente pela descarga de decantadores e pela lavagem dos filtros da ETA. O lodo misturado ao efluente é encaminhado para a ETL para o tratamento. Depois do efluente tratado a água clarificada é destinada ao rio Cubatão e o lodo adensado é encaminhado para um tanque de lodo, que serve como armazenamento. Este lodo é então direcionado aos equipamentos de desague que consistem em prensas parafusos. O teor de sólidos obtido no processo de desague gira em torno de 22 a 25%. Ainda na ETA é utilizado um polímero aniônico de alto peso molecular e baixa densidade de carga.

A determinação da composição do lodo da ETA foi realizada por espectrometria de fluorescência de raios-X e espectrometria de absorção atômica e os resultados estão apresentados na Tabela 1. Foi possível perceber o material tem uma quantidade considerável de Al_2O_3 (25,50%) e SiO_2 (28,40%), tornando-o interessante para ser utilizado como fonte de sílica e alumina na matriz geopolimérica.

O lodo fornecido pela Companhia Águas de Joinville contém uma grande quantidade de água (aproximadamente 80%), porém a concentração elevada de água não é desejada pela diminuição da cinética de geopolimerização. Toda fase líquida na composição do geopolímero provém da solução de hidróxido de sódio e do silicato de sódio. Visto isso, o lodo precisou de um processamento para ser utilizado.

Primeiramente o material foi seco em estufa a 100 °C durante 24 horas. Após a secagem, foi levado ao moinho Servitech CT-12242, utilizando um jarro com uma capa de alumínio de 300 ml. Foram usadas 39 bolas de 14 mm e 17 bolas de 20 mm. A definição da quantidade de bolas empregada foi feita de forma experimental em função da granulometria desejada. O material permaneceu no moinho durante 7 minutos com uma rotação de 380 rpm. Após o processo, tornou-se pó (figura 1b).

Para a caracterização do lodo em pó foi realizada sua granulometria. Neste procedimento, foram utilizadas as peneiras de 125,106,74,63,45 e 25 µm. A curva granulométrica é apresentada na Figura 1.

O material com granulometria superior a 125 µm não foi utilizado para a confecção dos corpos de prova. O erro da curva granulométrica apresentada é 2,42%. A densidade do material em forma de pó também foi calculada e está na ordem de 0,513 g/cm³.

A metodologia experimental está esquematizada na Figura 2 abaixo e foi definida seguindo os critérios abaixo relacionados:

- Ausência visual de eflorescência nos corpos de prova;
- Incorporação máxima possível do resíduo (limitada pela trabalhabilidade);
- Manutenção constante da relação sólido/líquido, silicato e solução;

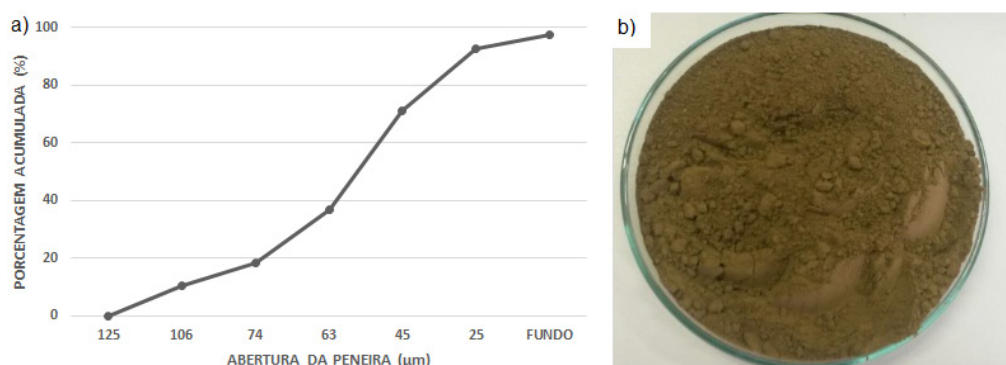


Figura 1 – a) Curva granulométrica do lodo após a moagem b) Lodo em forma de pó

Elementos Teor (%)	
Al ₂ O ₃	25,50
CaO	0,65
Fe ₂ O ₃	8,85
K ₂ O	0,95
MgO	0,69

MnO	0,12
Na ₂ O	0,22
P ₂ O ₅	0,59
SiO ₂	28,40
TiO ₂	0,65

Tabela 1 – Composição química do lodo. Fonte: Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais (LDMC), 2017.

Atendendo aos critérios já citados, foram definidas duas possibilidades de formulações (tabela 2). A primeira, utilizando o lodo como substituição parcial do metacaulim, sendo trocado em massa pelo lodo em pó. Nesta condição, foi adicionado lodo nas seguintes porcentagens: 10%, 15%, 20%, 25% e 30% (F1 até F5). A segunda possibilidade, empregando o lodo na forma de uma adição. Neste cenário, a quantidade de metacaulim é mantida constante e o lodo é adicionado e aproveitado como agregado miúdo, alterando assim a traço da composição. Nesta possibilidade, o lodo foi adicionado nas porcentagens de 10%, 15% e 20% (F6 a F8).

Primeiramente o silicato de sódio e o hidróxido de sódio foram colocados no agitador mecânico e misturados a 100 rpm por 5 minutos. Em seguida, adicionou-se o metacaulim e o lodo em pó. Estes, foram misturados a 100 rpm por 5 minutos e posteriormente, sendo feita uma pausa de 1 minuto para a mistura manual com uma espátula do material retido na lateral da cuba. Após este procedimento, o misturador foi ligado novamente a 100 rpm por mais 5 minutos. Por fim, foi adicionada a areia e misturada por 2 minutos. Para produção dos corpos de prova, seguiu-se a NBR 13279/15. Posteriormente, os corpos de prova foram levados a estufa durante 24 horas à temperatura de 40° C e depois retirados, desenformados e colocados em uma sala a temperatura ambiente.

	Formulação	S/L	Traço	Lodo (%)	MK (%)	NaOH (%) 9 M	Na ₂ SiO ₃ (%)	Areia (%)
Substituição	REF	1,5	1:2	0	100	50	50	200
	F1	1,5	1:2	10	90	50	50	200
	F2	1,5	1:2	15	85	50	50	200
	F3	1,5	1:2	20	80	50	50	200
	F4	1,5	1:2	25	75	50	50	200
Adição	F5	1,5	1:2	30	70	50	50	200
	F6	1,5	1:2,10	10	100	50	50	200
	F7	1,5	1:2,15	15	100	50	50	200
	F8	1,5	1:2,20	20	100	50	50	200

Tabela 2 – Formulações realizadas

No estado fresco foi realizado o ensaio de flow table test, que é especificado pelas normas NBR7215 e NBR13276 e tem por finalidade avaliar as argamassas

quanto a sua plasticidade e consistência logo após sua confecção Neste artigo, este ensaio foi utilizado para limitar a quantidade de lodo inserido na matriz, uma vez que se adicionou até se obter quantidades aceitáveis de trabalhabilidade. Além disso, através do ensaio, pode-se relacionar a quantidade de lodo incorporado com as propriedades do estado fresco.

Para analisar as propriedades no estado endurecido foram produzidos três corpos de prova, com dimensões 4x4x16 cm, para cada formulação analisada. Condicionou-se estes na estufa a 40°C nas primeiras 24 horas. Após este período, foram retirados da estufa, desmoldados e deixados a temperatura ambiente até completarem 28 dias de cura. Ao término deste período foram submetidos aos ensaios de compressão e flexão.

No estado endurecido, além do ensaio de compressão e flexão, foram obtidas as propriedades físicas (absorção de água, densidade aparente e porosidade aberta) utilizando corpos de prova com 28 dias de cura. O método segue o princípio de Arquimedes e consiste em: a) condicionar o corpo de prova em estufa a aproximadamente (103±1) durante 24 horas e realizar sua pesagem (m_s); b) imergir os corpos de prova em água durante 72 horas para que todos os poros sejam preenchidos e fazer a pesagem imersa (m_i); c) pesagem da amostra com sua superfície seca (m_{ss}).

Com base nas medições realizadas é possível obter as propriedades físicas com as seguintes equações:

$$\text{Absorção de água} = \frac{m_{ss} - m_s}{m_s} \cdot 100 \quad \text{Equação (1)}$$

$$\text{Densidade aparente} = \frac{m_s}{m_{ss} - m_i} \quad \text{Equação (2)}$$

$$\text{Porosidade aberta} = \frac{m_{ss} - m_s}{m_{ss} - m_i} \cdot 100 \quad \text{Equação (3)}$$

m_s é massa seca, m_i é a massa imersa e m_{ss} é a massa de superfície seca.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Ensaio no estado fresco

Para a caracterização das amostras no estado fresco foi utilizado o flow table test. Este, realizado para todas as amostras a fim de avaliar a influência no lodo nas diferentes porcentagens estudadas. A Figura 2 mostra os resultados obtidos e as diferenças de trabalhabilidade para as amostras com maiores porcentagens de lodo.

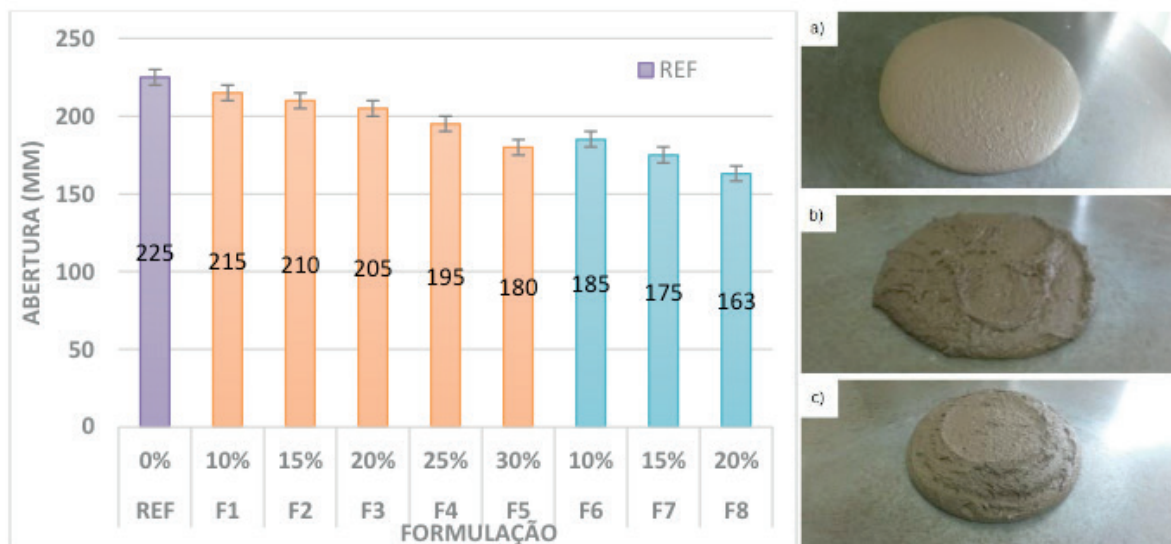


Figura 2 – Valores de espalhamento das formulações realizadas e abertura na mesa de consistência a) Formulação de referência b) 30% de substituição (F5) c) 20% de adição (F8)

Pode-se observar na Figura 2, que a presença do lodo causou uma redução significativa da trabalhabilidade, variando a abertura na mesa, no caso da substituição de 215 mm (F1) até 180 mm (F5) e de 185 mm (F6) a 163 mm (F8) para adição. Outro fato relevante, é que com as mesmas porcentagens de lodo adicionado mas com métodos diferentes (adição e substituição) a trabalhabilidade apresenta grande alteração. Os valores de abertura para adição são menores, pois para estas formulações, a quantidade de metacaulim e areia foram mantidas constantes, assim existe maior quantidade de sólidos para a mesma quantidade de líquido, o que resulta na aproximação entre os sólidos e maior atrito superficial.

É importante ressaltar que não foi possível manter a trabalhabilidade constante nas formulações. Nos geopolímeros, todo o líquido provem da solução (hidróxido de sódio) e do silicato de sódio, assim para manter a abertura na mesa constante a relação sólido/líquido deveria ser alterada. Foram realizadas amostras com relações s/l diferentes, porém para estas foi observado o aparecimento de eflorescência. A eflorescência aparece quando há hidróxido de sódio remanescente da reação com Si e Al. Assim, ocorre a formação de depósitos de sais por um processo chamado de lixiviação.

Referente a propriedades no estado fresco, a técnica que obteve os melhores resultados foi substituição, na qual os valores de abertura de mesa foram maiores. Contudo, vale ressaltar que a trabalhabilidade depende muito da aplicação desejada. Desta forma, as várias aberturas obtidas das formulações podem se apresentar adequadas para diferentes situações.

3.2 – Ensaio No Estado Endurecido

Os valores de resistência à compressão após 28 dias de cura são mostrados na Figura 3. Estes, são a média dos três corpos de prova produzidos para cada

formulação estudada. A formulação de referência atingiu resistência à compressão de 44,56 MPa.

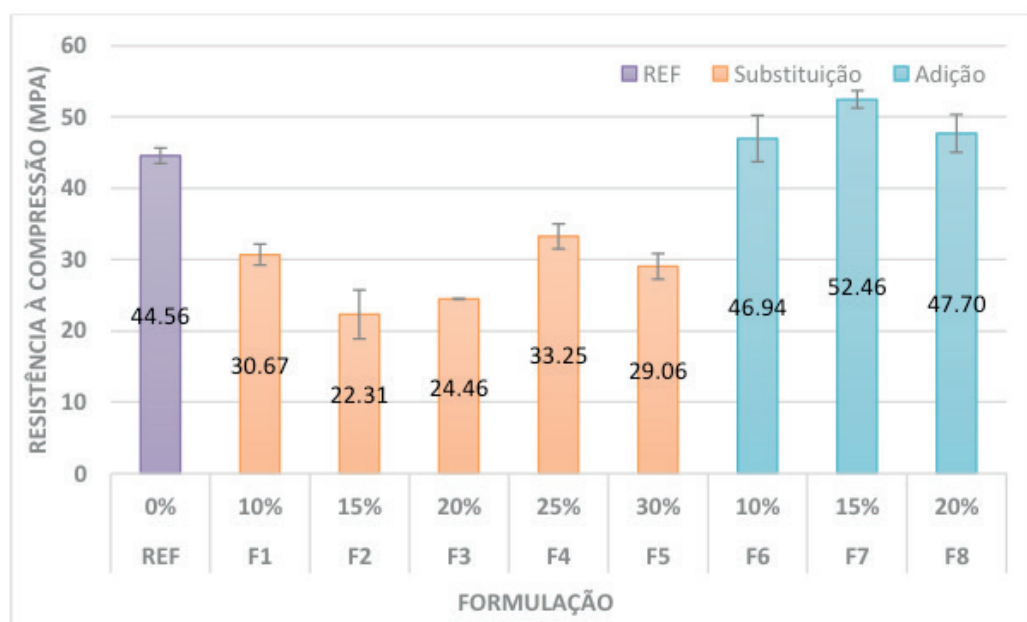


Figura 3 – Resistência à compressão após 28 dias

Verifica-se na Figura 6 que, para formulações com o lodo como substituição, o valor de resistência à compressão reduziu significativamente em relação a REF. Outro dado importante, é que existe um aumento da resistência nas formulações com 25% e 30%. Isto pode ser explicado, pela diferença já apresentada das propriedades físicas, na qual sempre F4 e F5 mostravam uma diferença significativa em relação as anteriores (F1, F2, F3). Para adição, a resistência à compressão da REF foi sempre superada. Constata-se também que a formulação de substituição que obteve o melhor resultado foi F4, com uma redução da resistência, em relação a REF, de 25,39%, atingindo assim 33,25 MPa. A menor resistência, foi vista em F2 com 22,31 MPa, redução de 49,39% em comparação a REF. Para adição, F7 obteve a maior resistência, com 52,46 MPa, aumento de 17,73%.

Os valores obtidos podem ser relacionados com as propriedades físicas. A Figura 4 relaciona resistência à compressão com porosidade aberta, as quais apresentam uma relação inversamente proporcional e que pode ser aproximada pela equação exponencial $y = 1164,7e-0,154x$ com R^2 de 0,92. Essa relação é importante para se estimar os valores de resistência à compressão com dados de porosidade.

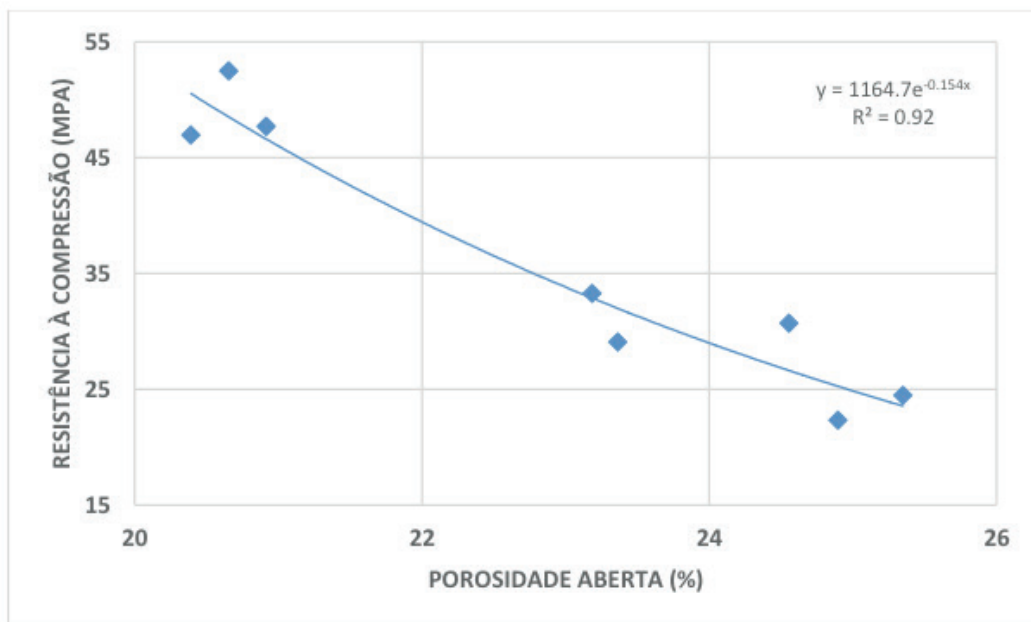


Figura 4 – Resistência à compressão X porosidade aberta

Observa-se na Figura 4, que para se obter uma argamassa geopolimérica com maior resistência à compressão é preciso ter uma menor porosidade possível, a qual tem uma variação que não é constante e depende diretamente da quantidade de lodo adicionado.

Neste sentido, identifica-se também na Figura 4 o motivo de as amostras de adição apresentarem os maiores valores de resistência à compressão, pois estas, obtiveram os menores valores de porosidade aberta. Neste ponto de vista, as formulações de substituição, F4 e F5 contiveram menores valores de porosidade que F1, F2 e F3, assim pode ser explicado o aumento de resistência à compressão observado anteriormente.

Em resumo, a técnica que apresenta os melhores resultados de resistência à compressão é a adição, na qual o valor de REF sempre foi superado. Vale ressaltar, que os valores de resistência para substituição também são muito significativos, pois todos se apresentam acima dos 20 MPa que é a valor mínimo aceitável para aplicações em obras da construção civil.

A Figura 5 mostra a comparação com outros estudos já realizados nesta área (Figura 5).

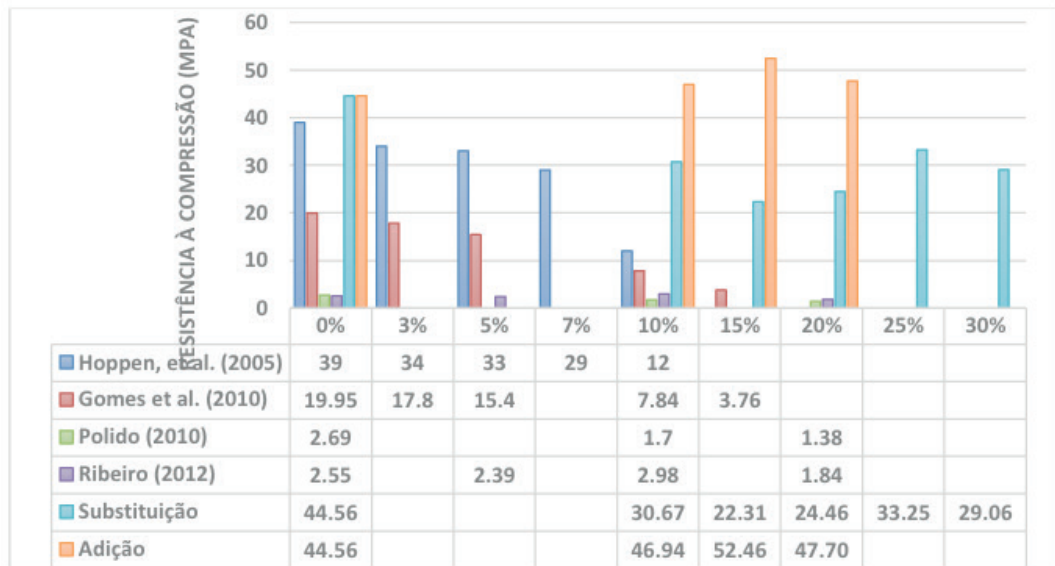


Figura 5 – Comparação com estudos já realizados

Percebe-se na Figura 5, que Hoppen, et al. (2005), com incorporação do lodo em concreto, atingiram resistência à compressão aos 28 dias, de 39 MPa, 34 MPa, 33 MPa, 29 MPa e 12 MPa para 0%, 3%, 5%, 7% e 10% de incorporação, respectivamente. Chama atenção a formulação com 10%, que nas argamassas geopoliméricas atingiu 33,67 MPa para substituição e 46,94 MPa para adição. Gomes et al. (2010), também em concreto, atingiu 19,95 MPa, 17,80 MPa, 15,40 MPa, 7,84 MPa e 3,76 MPa para 0%, 3%, 5%, 10% e 15% de adição de lodo. Polido (2010) e Ribeiro (2012) atingiram valores inferiores a 3 MPa em argamassas convencionais.

Os valores de resistência à flexão foram obtidos com corpos de prova com 28 dias de cura e são mostrados na Figura 6. Estes, são a média dos três corpos de prova produzidos para cada formulação. A formulação de referência atingiu resistência à flexão de 9,43 MPa.

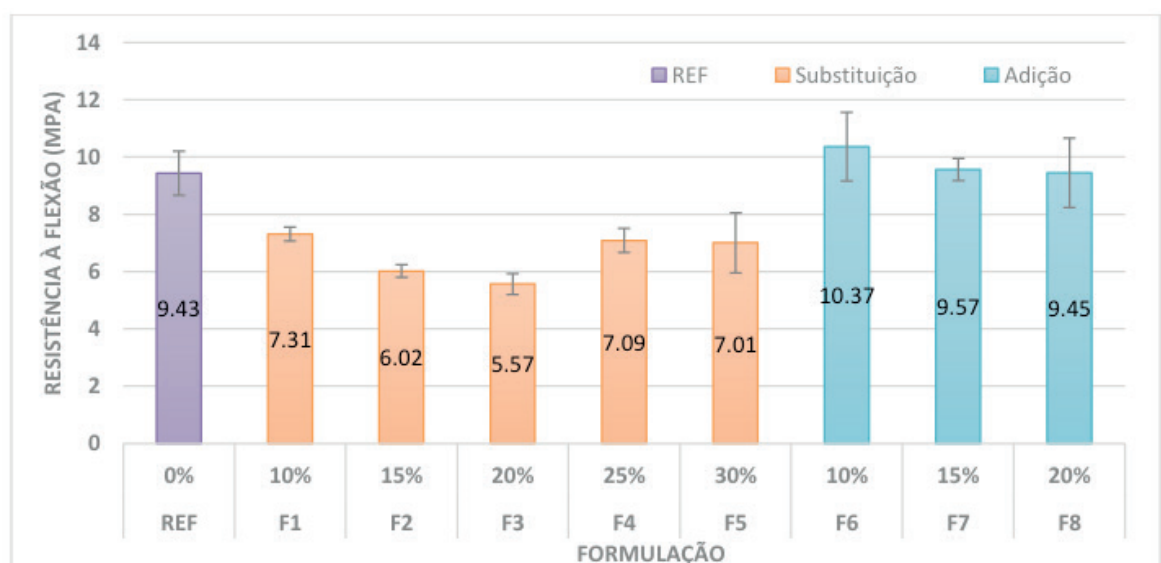


Figura 6 – Resistência à flexão após 28 dias de cura

Percebe-se que similarmente na resistência à compressão as formulações de substituição apresentaram uma redução da resistência à flexão se comparada a amostra de referência. Novamente, F4 e F5 tiveram um acréscimo da resistência, se comparadas com a tendência das formulações anteriores (F1, F2 e F3). Para as amostras de adição, o valor de resistência à flexão foi sempre maior que REF.

Observando a Figura 6, constata-se que a amostra de substituição que alcançou o maior valor de resistência à flexão foi F1 com 7,31 MPa, redução de 22,47% em relação a REF. Nas amostras de adição, F6 atingiu 10,37 MPa, aumento de 9,93% se comparado com REF.

Nota-se que a resistência à flexão é bem inferior do que a resistência à compressão. Esse comportamento também é observado nas argamassas a base de cimento Portland, na qual a resistência à tração é da ordem de , ou seja, para uma argamassa com resistência à compressão de 45 MPa tem-se, aproximadamente, uma resistência à flexão de 2,01 MPa. Assim, as amostras apresentam um valor de resistência à flexão muito superior se comparado com argamassas convencionais. Em média, as formulações estudadas alcançaram 22,4% da resistência à compressão como resistência à flexão.

Os dados de resistência à flexão podem ser relacionados com as propriedades físicas já estudadas. A Figura 7 relaciona resistência à flexão e porosidade aberta. Estas, tem uma relação inversamente proporcional que pode ser estimado pela equação exponencial com R^2 de 0,9274.

A Figura 7 mostra que para se obter argamassas geopoliméricas com maior resistência à flexão é necessário reduzir a porosidade, relacionada diretamente com a quantidade de lodo adicionada.

Para flexão, a técnica que apresenta os valores mais significativos de resistência é a adição, porém vale destacar que tanto nas formulações com adição, quanto nas com substituição, o valor de resistência à flexão foi muito superior ao valor de 2 MPa, que uma argamassa convencional a base de cimento apresentaria

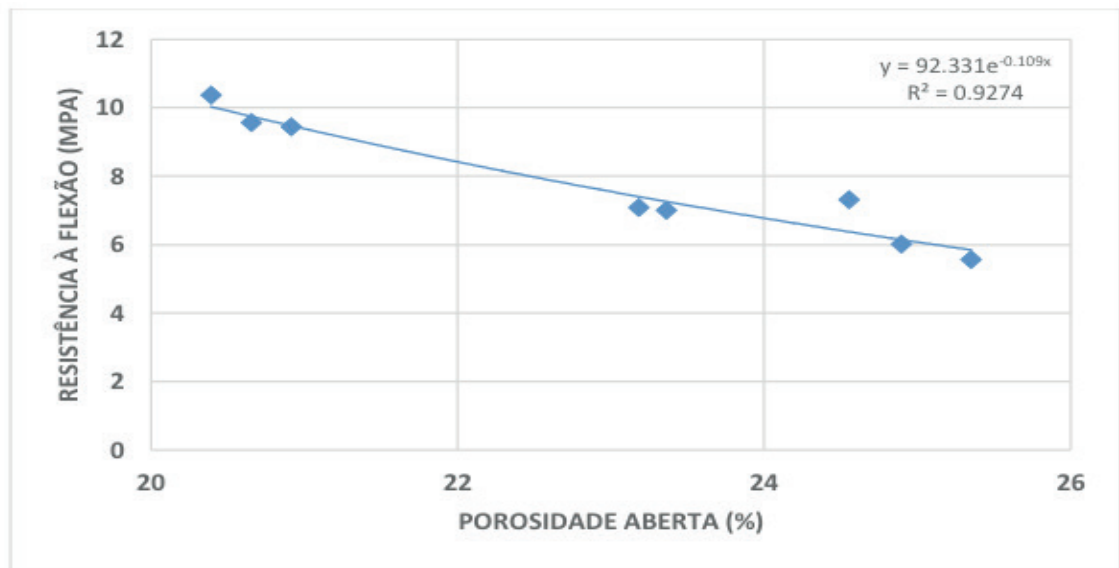


Figura 7 – Resistência à flexão X porosidade aberta

4 | 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio do ensaio de consistência (flow table test) foi possível perceber que a presença do lodo reduziu a trabalhabilidade significativamente nas duas situações estudadas. A técnica de substituição, apresentou valores de abertura maior se comparada ao caso de adição. Isso pode ser explicado pelo aumento do traço das amostras de adição, na qual existiam mais partículas sólidas para a mesma quantidade de líquido, fazendo com que estas ficassem mais próximas elevando o atrito superficial.

Quanto as propriedades físicas, comparadas a REF, para substituição, a absorção cresceu até F3 (20%) e reduziu para F4 (25%) e F5 (30%). A densidade aparente e a porosidade aberta sempre diminuíram. No caso de adição, a absorção, densidade aparente e porosidade aberta decresceram em todas as formulações. De maneira geral, a incorporação do lodo gerou queda nos índices de propriedades físicas.

Os parâmetros de resistência à compressão tiveram comportamentos semelhantes nas duas possibilidades estudadas. O caso de adição obteve os melhores resultados nas duas situações. Os dados mais significativos se mostraram na formulação F7 (15%), que exibiu um acréscimo de resistência de 17,73%, atingindo 52,46 MPa de resistência à compressão e F6 (10%). Na situação de substituição, os valores mais expressivos são de F4 (25%) com um decréscimo de 25,39%, tendo 33,25 MPa de resistência à compressão.

A redução dos parâmetros de resistência pode ser explicada pela função que o lodo tem em cada técnica. Para substituição, o lodo se apresenta como fonte de aluminossilicato, sendo assim, existe a necessidade da Si e Al reagirem com o ativador. Assim, conclui-se que a Si e Al presente no lodo não são totalmente reativas

ou apresentam uma reatividade inferior ao metacaulim, sendo assim, foi observada a variação de resistência para substituição. No modo de adição, o lodo tem a função de um agregado miúdo, desta forma, ele não precisa reagir e é incorporado para o aumento da resistência mecânica.

Além da função do lodo, a porosidade aberta influenciou na resistência mecânica. Esta, apresentou uma variação que não é constante e depende diretamente da quantidade de lodo adicionado. Percebeu-se que, para se obter argamassas geopoliméricas mais resistentes, é necessário diminuir a porosidade. Tendo isso em vista, pode ser explicado o valor de resistência à compressão e flexão elevado das formulações de adição, que apresentaram os menores valores de porosidade aberta.

Com base no dados obtidos, é correto afirmar que o lodo de ETA pode ser utilizado em argamassas geopoliméricas, tanto na forma de substituição parcial do metacaulim, como adição com função de um agregado miúdo. O método de substituição é mais indicado para aplicações que necessitam de argamassas fluídas e com maior trabalhabilidade. A técnica de adição seria apropriada para situações que necessitam valores elevados de resistência, como em estruturas, nas quais a trabalhabilidade não é muito relevante.

REFERÊNCIAS

BERNARDO, L.; DANTAS, A. B. ; VOLTAN, P. E. N. **Trabalhabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. São Carlos: Ldibe Editora, 2011. 453 p.

BHARATH, R. R. **Rheology of geopolymer concrete**. Disponível em: <http://www.kscst.iisc.ernet.in/spp/37_series/spp37s/synopsis_seminar/025_37S1026.pdf>. Acesso em: 6 fev. 2018.

BOCA SANTA, R. A. A. **Desenvolvimento de geopolímeros a partir de cinzas pesadas oriundas da queima do carvão mineral e metacaulim sintetizado a partir de resíduo da indústria de papel**. 2012. 34 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2012

CESARI, V. F. **Influência do uso de aditivos dispersantes em pastas de geopolímero produzido com cinza volante e hidróxido de sódio**. 2015. 128 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

DAVIDOVITS, J. **30 Years of successes and failures in geopolymer applications. market trends and potential breakthroughs**. Geopolymer institute. Geopolymer. Melbourne, Australia: Conference, oct. 28-29 2002.

GOMES, I. A. S. **Adição de lodo de estação de tratamento de água em argamassa**. 2010. 11^a Semana de Iniciação Científica e 2^a Semana de Extensão. Disponível em: <<https://www.unilestemg.br/pic/sic-11/resumos/pesquisa-engenharia-tecnologia/adicao-de-lodo-de-estacao-de-tratamento-de-agua-em-argamassa.pdf>>. Acesso em: 6 fev. 2018.

HAGEMANN, S. E. **Materiais de construção básicos**. Rio Grande do Sul: Instituto Federal Sul-Rio-Grandense; Universidade Aberta do Brasil, 2011. Disponível em: <http://tics.ifsul.edu.br/matriz/conteudo/disciplinas/_pdf/apostila_mcb.pdf>. Acesso em: 6 fev. 2018.

HOPPEN, C.; PORTELLA, K. F.; ANDREOLI, Cl. V.; SALES, A.; JOUKOSKY, A. Estudo de Dosagem para Incorporação de Lodo de ETA em Matriz de Concreto, Como Forma de Disposição Final. In:

CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005. Campo Grande. **Anais eletrônicos**. Disponível em: <[http://www.sanepar.com.br/sanepar/CalandraKBX/filesmng.nsf/C22AAD74368E2D9B832570B500646487/\\$File/I-106.pdf?OpenElement](http://www.sanepar.com.br/sanepar/CalandraKBX/filesmng.nsf/C22AAD74368E2D9B832570B500646487/$File/I-106.pdf?OpenElement)>. Acesso em: 6 fev. 2018.

POLIDO, M. A. **Estudo de argamassa com adição do lodo de ETA**. 2010. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Tecnologia em Materiais de Construção. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2010.

RIBEIRO, R. F. **Estudo de dosagem de lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA) em argamassa**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2012.

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**. 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v59n352/10.pdf>>. Acesso em: 6 fev. 2018.

WINCRET DESIGNER CONCRETE PRODUCTS LTDA. **Cimento Portland versus Ligantes Geopoliméricos Considerações econômicas sobre as implicações do mercado de carbono no custo dos concretos**. Disponível em <<http://www.geopolymer.com.br/PDF/cpxgp.pdf>>. Acesso em: 6 fev. 2018.

ZHANG, Z. Geopolymer foam concrete: An emerging material for sustainable construction. **Construction & Building Materials**. v.56, p.114, jan. 2014.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Ação antrópica 131, 139, 161, 165
Acompanhamento 1, 2, 3, 6, 14, 15, 70, 133, 291, 294, 295, 335, 391
Adensamento por gravidade 92, 93, 94, 95, 99, 100, 103, 104
Água clarificada 92, 93, 94, 96, 97, 99, 100, 102, 103, 127, 128, 129, 182
Água pluvial 168, 172, 176, 247
Água salina 118, 119
Águas subterrâneas 50, 74, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 140, 386, 390
Água subterrânea 37, 383, 384, 390
Alagamento 168, 169, 170, 176, 177, 178, 179
Análise ambiental 141
Análise envoltória de dados 194, 196

B

Belém do Pará 29, 30, 31
Benchmarking métrico 194, 196
Blumenau 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167

C

Carbono orgânico total 92, 93, 94, 95, 97, 98, 100, 102, 365, 369, 370, 372, 373, 375
Coagulação 94, 98, 118, 119, 120, 121, 123, 127, 128, 129, 239, 363, 366, 369, 371, 372
Coliformes 74, 75, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 84, 90, 131, 135, 136, 138, 139, 246, 252, 288
Contaminação 55, 74, 75, 76, 81, 83, 84, 87, 89, 111, 232, 333, 334, 359
Crise hídrica 51, 52, 53, 54, 58, 59, 60

D

Desaguamento por centrifugação 92, 93, 94, 96, 100, 101, 102, 103, 104
Disponibilidade hídrica subterrânea 37, 39, 46, 48

E

Eficiência de operadoras 194
Enchentes 141, 146, 147, 150, 151, 152, 156, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 179

F

Floculação 94, 118, 119, 120, 121, 123, 125, 127, 128, 129

G

Geopolímero 180, 181, 183, 192

Geoprocessamento 141, 143, 153, 259, 261, 266, 330, 331

Gestão da demanda 51, 52, 56

Gestão da oferta 51, 52, 55, 56

J

Jica 156, 163, 164, 165, 167

L

Lodo de ETA 180, 192, 193

M

Microfiltração 118, 120, 122, 127, 128, 129

O

Obras de saneamento 25, 29

Osmose inversa 105, 106, 107, 108, 109, 110, 113, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 122, 123, 127, 128, 129

P

Parcerias público-privadas 61, 62, 65, 71, 72, 73

Parque Lagoas do Norte 131, 132, 134

Planejamento 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 15, 17, 19, 20, 22, 23, 24, 26, 27, 30, 52, 53, 64, 73, 117, 133, 141, 143, 152, 154, 166, 167, 195, 236, 241, 256, 302, 303, 305, 310, 355, 356, 361, 391

Planejamento regional 141, 356

Plano municipal de saneamento básico 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 13, 14, 17, 19, 20, 21, 27, 140

Potencial hídrico subterrâneo 37

PPP 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72

Projeção populacional 29, 30, 31, 33, 36

Projetos de saneamento 29, 31, 36

Q

Qualidade da água 76, 91, 103, 106, 118, 119, 120, 131, 133, 134, 135, 139, 140, 216, 264, 320, 327, 330, 335, 346, 349, 353, 355, 382, 383, 384, 387

R

Recursos hídricos 18, 20, 21, 25, 28, 37, 38, 41, 42, 49, 50, 51, 52, 54, 55, 56, 75, 106, 131, 132, 140, 141, 142, 152, 153, 162, 166, 167, 179, 181, 208, 218, 229, 254, 325, 327, 329, 330,

339, 340, 341, 350, 353, 355, 360, 361, 379, 382, 384, 385, 388, 389

Regulação 10, 19, 20, 22, 51, 59, 60, 63, 70, 72, 202, 313

Reserva ativa 37

Resíduos de ETA 92

Reúso 105, 106, 108, 111, 112, 116, 117, 218, 219, 220, 228, 229, 230, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389

Revisão 1, 2, 3, 5, 6, 10, 11, 12, 15, 27, 52, 54, 59, 60, 156, 162, 208, 311, 314, 362

S

Saneamento 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 31, 35, 36, 37, 38, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 59, 60, 61, 62, 63, 65, 69, 70, 71, 72, 131, 133, 135, 140, 168, 179, 198, 208, 218, 221, 244, 311, 313, 314, 318, 321, 322, 323, 328, 330, 339, 340, 341, 350, 351, 358, 380

T

Teto jardim 168, 169, 170, 171, 172, 173, 176, 177, 178, 179

Torre de resfriamento 105, 108, 111, 112, 113

U

Ultrafiltração 105, 109, 110, 113, 114, 116, 120, 359

Urbano 76, 134, 143, 158, 160, 165, 166, 167, 168, 169, 179, 181, 339, 341, 350, 351, 353, 356, 381, 391

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-694-2



9 788572 476942