

# INCORPORAÇÃO DE CINZA DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE ABATEDOURO DE AVES EM CIMENTO

## INCORPORATION OF ASH FROM SLUDGE OF POULTRY SLAUGHTERHOUSE SEWAGE TREATMENT PLANT IN CEMENT

### INCORPORACIÓN DE CENIZAS DE AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE CORRAL DE MATADEROS DE AVES AL CEMENTO

Carla Tauana Francisca Alves de Oliveira\*  
carlatauana@gmail.com

Lilian Keylla Berto\*\*  
lilianberto\_engenharia@hotmail.com

Ana Carolina Dias de Albuquerque\*\*  
acdalbuquerque@hotmail.com

Claudio De Souza Rodrigues\*\*\*  
claudio.rodrigues@unicesumar.edu.br

Natália Ueda Yamaguchi\*\*\*\*  
natalia.yamaguchi@unicesumar.edu.br

Maria de Los Angeles Perez Lizama\*\*\*\*  
maria.lizama@unicesumar.edu.br

Luciana Cristina Soto Herek Rezende\*\*\*\*  
luciana.rezende@unicesumar.edu.br

\* Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas, Unicesumar, Maringá-PR – Brasil

\*\* Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas, Unicesumar, Maringá-PR – Brasil - CAPES

\*\*\* Centro de Tecnologia, Unicesumar, Maringá-PR – Brasil

\*\*\*\* Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas, Unicesumar, Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação ICETI Maringá-PR – Brasil

#### Resumo

O crescimento da população e a demanda elevada por produtos expandiram significativamente na indústria de abate de aves, ocasionando um aprimoramento nos processos, e aumentando a produção de lodo proveniente do tratamento dos efluentes. Esse resíduo deve ser tratado e/ou disposto de forma adequada, pois apresenta elevada carga de microrganismos causadores de doenças. Uma das formas de tratamento seria a incineração, utilizada para redução do volume, porém, não elimina todos os agentes agressivos, sendo necessária a incorporação do resíduo para disposição correta. Neste artigo foi verificada a viabilidade de disposição adequada para o lodo, após secagem, quando incorporado ao cimento, nas proporções de 0%, 3%, 5% e 7%. Analisaram-se as características pozolônicas, assim como a periculosidade, solubilização e lixiviação do material. Após análise dos resultados constatou-se que o material não é corrosivo e nem inflamável, sendo de classe II A - não inerte conforme a NBR 10004:2004. Desta forma, tem-se que a incorporação de cinza de lodo de ETE nas proporções de 3 e 5% é viável, pois melhora a resistência a compressão do material.

**Palavras Chave:** Cinza de lodo. Concreto. Meio Ambiente.

#### Abstract

Population growth and high demand for products have brought about a significant expansion in the poultry slaughtering industry, leading to an improvement in its processes, and increasing sludge production from effluent treatment facilities. This waste should be treated and / or disposed of properly as it has a high burden of disease-causing microorganisms. One of the forms of treatment would be incineration, used to reduce volume, but does not eliminate all aggressive agents, requiring the incorporation of waste for correct disposal. In this article it was verified the viability of adequate disposal for the sludge ashes when incorporated into the cement, with percentages of 0%, 3%, 5% and 7%. The pozzolanic characteristics were analyzed, as well as the hazardousness, solubilization and leaching of

the material. After analysis of the results it was found that the material is neither corrosive nor flammable, being class II A - not inert according to NBR 10004/2004. Thus, the incorporation of WWTP sludge ash in the proportions of 3 and 5% is feasible, since it improves the compressive strength of the material.

**Keywords:** Sludge ash. Concrete. Environment.

### Resumen

El crecimiento de la población y la alta demanda de productos han provocado una expansión significativa en la industria de sacrificio de aves de corral, lo que ha llevado a una mejora en sus procesos y al aumento de la producción de lodos a partir del tratamiento de efluentes. Este desecho debe tratarse y / o eliminarse adecuadamente, ya que tiene una alta carga de microorganismos que causan enfermedades. Una de las formas de tratamiento sería la incineración, utilizada para reducir el volumen, pero no elimina todos los agentes agresivos, lo que requiere la incorporación de residuos para su correcta eliminación. En este artículo se verificó la viabilidad de la eliminación adecuada del lodo cuando se incorpora al cemento, con porcentajes de 0%, 3%, 5% y 7%. Se analizaron las características puzolánicas, así como la peligrosidad, solubilización y lixiviación del material. Después del análisis de los resultados, se descubrió que el material no es corrosivo ni inflamable, siendo de clase II A, no inerte según NBR 10004/2004. Por lo tanto, la incorporación de cenizas de lodos PTAR en las proporciones de 3 y 5% es factible, ya que mejora la resistencia a la compresión del material.

**Palabras clave:** Lodos de ceniza. Hormigón Medio ambiente.

## INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da humanidade, a carne faz parte da alimentação humana. Por meio da revolução industrial e crescimento contínuo da população, o consumo de produtos e serviços aumentou significativamente, gerando uma grande expansão no mercado, com intensificação na produção agropecuária até os dias atuais (CAMARGO; HENKES; ROSSATO, 2016; RODRIGUES et al. 2014).

Além do crescimento, a avicultura demonstrou um enorme aprimoramento, aproveitando, assim, o máximo potencial do frango de corte, com tecnologias mais sofisticadas e gerando processos produtivos com capacidade de abate cada vez maior. O Brasil passou a ser o segundo produtor mundial de carne de aves, com uma produção prevista de 12,3 milhões de toneladas, o seguimento apresentou um crescimento de 238,75% entre os anos de 2000 e 2010 (CAMARGO; HENKES; ROSSATO, 2016; RODRIGUES et al. 2014; IGUMA et al. 2014).

O aumento na produção de frango de corte resulta em uma grande quantidade de efluentes, visto que, quanto maior a quantidade de frango produzida, maior seu consumo de água, chegando a 30 litros por ave, e que, conseqüentemente gera um aumento na produção do lodo (BAILONE; ROÇA, 2017).

Este lodo gerado na estação de tratamento de efluentes do abatedouro de aves é uma denominação genérica para sólidos que se acumulam no sistema de tratamento de esgotos, e que devem ser descartados periódica ou continuamente, dependendo da capacidade do sistema de tratamento de efluentes (LIMA, 2013).

Quando oriundo do processo de flotação, este lodo passa por um processo sequencial, iniciando pelo peneiramento, equalização e, finalmente, a flotação. Durante a flotação, é utilizado o policloreto de alumínio, para a melhor aglomeração do resíduo. Por fim, após a flotação, o lodo é transferido para um secador, onde é possível reduzir seu volume e umidade (BATISTA, 2015).

Este resíduo tem uma quantidade significativa de microorganismos capazes de causar doenças aos seres humanos por meio de vetores que tenham contato com o mesmo, sendo que alguns dos agentes bacterianos mais presentes são *Salmonella spp.*, *Shigella sp.*, *Escherichia coli*, *Vibrio cholerae*, *Leptosira sp* (BATISTA, 2015).

A quantidade de lodo produzido em 2010 chegou a 220 mil toneladas. Devido às condições apresentadas, o descarte final do lodo se torna cada vez mais restrito, sendo necessário dar prioridade às adaptações e readequações dos sistemas de tratamento, podendo promover, assim, uma potencialização e aprimoramento dos recursos (GODOY, 2013; DAMASCENO, 2009).

A incineração do lodo surgiu como forma de diminuir seu volume e sua matéria orgânica, obtendo assim um melhor aproveitamento para sua disposição. A queima da mesma não elimina todos os contaminantes agressivos ao meio ambiente, portanto, existe a necessidade de incorporação a novos produtos (LIMA, 2013).

A incorporação de materiais considerados resíduos industriais leva a uma significativa redução do CO<sub>2</sub>, e as cinzas de lodo favorecem a reutilização, visto sua abundância, compatibilidade e baixo custo (HEMALATHA et al. 2016).

Diante do exposto, o presente artigo visa analisar o comportamento da cinza de lodo de esgoto (CLE), proveniente de estação de tratamento de efluentes de frigorífico de aves, objetivando a sua suplementação em cimento, bem como a disposição adequada do resíduo, antes empregada de maneira deletéria ao meio ambiente.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS**

O cimento utilizado na presente pesquisa foi o CP II F40, da marca Votoran. A massa específica do cimento foi determinada pelo ensaio estabelecido pela NBR 16605 (ABNT, 2017). Os agregados miúdos e graúdos utilizados foram fornecidos por uma concreteira, situada na cidade de Maringá, estado do Paraná. A granulometria foi determinada de acordo com NBR 248 (ABNT, 2003). A massa específica do agregado foi determinada por meio das NBR NM 52 e 53 (ABNT, 2009 e 2009).

Ao longo da pesquisa, foi utilizada água potável, oriunda do sistema de abastecimento de água do Município de Maringá, situada no estado do Paraná.

O lodo utilizado neste trabalho foi recolhido em uma estação de tratamento de efluentes de um abatedouro, localizado na cidade de Maringá, estado do Paraná, a qual produz em média 46 mil toneladas de lodo mensal. Após o lodo passar pelo sistema de flotação e desidratação, foi realizada a secagem por meio de centrífuga rotativa da marca MADEC, com capacidade de 1000 kg/h, sendo que o material atingiu temperaturas entre 240 a 270°C, a uma umidade de 13,92%.

O ensaio de lixiviação, solubilização, inflamabilidade, corrosividade e reatividade foram realizados em conformidade com a redação da NBR 10004 (ABNT 2004) anexos a NBR 10005 e 10006 (ABNT, 2004 e 2004), respectivamente, sendo que para o ensaio de lixiviação e solubilização a determinação do pH, foi realizada nos termos da NBR 9251 (ABNT, 1986).

Os metais pesados (bário, cádmio, chumbo, cromo total, prata, arsênio, mercúrio, selênio, cobre total, ferro total, manganês, zinco e alumínio), assim como fluoreto, sulfato, cloretos, cianeto, fenóis totais e os surfactantes, foram determinados por absorção atômica em um espectrofotômetro Varian Spectr AA-10 Plus, de acordo com *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (EATON; BAIRD; RICE, 2017).

Para a caracterização das propriedades pozolanas, foram verificadas as quantidades de alumínio, cálcio e sílica, de acordo com *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* por espectroscopia de absorção atômica em equipamento Varian Spectr AA-10 Plus. O ensaio de sulfeto seguiu o guia (EATON; BAIRD; RICE, 2017).

Uma parte do lodo (2,5 kg) foi encaminhada para uma estufa de secagem com capacidade de 42 litros, com controlador analógico, a uma temperatura aproximada de  $\pm 105^{\circ}$  C por 12 (doze) horas. Após o período na estufa, o lodo passou por um moinho de barras, da marca Lombard. Modelo nº 5, com 5 HP em 220 V, obtendo uma velocidade aproximada de 33 voltas por minuto, as barras presentes dentro do moinho totalizaram 20,52 kg. O lodo permaneceu no moinho durante 35 minutos.

Após moagem, foi separado o material passante na peneira 600  $\mu$ m, com um peso aproximado de 0,310 kg. Após a separação, foi realizada a granulometria do material, sendo determinada conforme NBR 248 (ABNT, 2003). Após determinada a granulometria, foram separados os materiais finos passantes através da peneira 150  $\mu$ m, e assim utilizado para incorporação.

## **PRODUÇÃO DO CONCRETO**

A formulação do concreto utilizado no trabalho em questão, foi realizada conforme apresentado na Tabela 6.

O fator água/cimento foi definido conforme as disposições das NBR 6118 e NBR 12655 (ABNT,

2014 e 2015), no qual optou-se por uma relação com o valor de 0,65.

Para realização do cálculo das quantidades de materiais, foi utilizada a massa específica de cada material multiplicado pelo traço conforme demonstrado na Tabela 06. Por meio do cálculo, obteve-se o volume para o preenchimento dos corpos de prova. Após a obtenção do volume de cada corpo de prova, foi realizado o gasto de material com cada incorporação, por fim obtendo o volume total de material gasto, podendo ser demonstrado na Tabela 07.

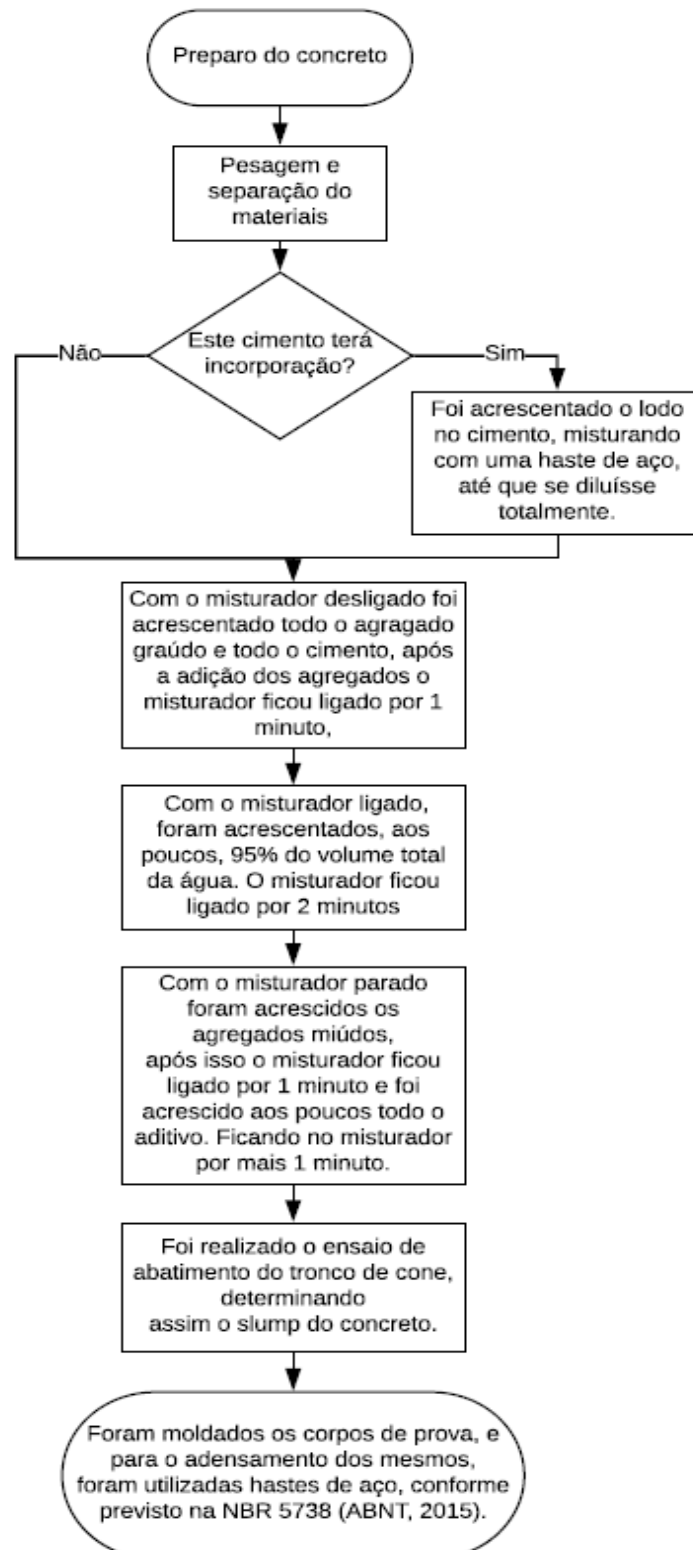
Como a incorporação da CLE (Cinza de Lodo de Efluente) tem uma porcentagem pequena em relação ao volume dos outros componentes, não foi incluída na Tabela 6.

A produção dos corpos de prova, assim como a sua respectiva moldagem, foi efetuada nos moldes da NBR 5738 (ABNT, 2015), possuindo diâmetro de 10 cm e altura de 30 cm.

Os materiais (cimento, areia, brita, água e aditivos) foram pesados em uma balança digital, da marca Urano, com capacidade de 20.000 g e resolução de 5 g, e, na sequência, foram separados em recipientes. O concreto foi preparado com um misturador Versátil THB 20, da marca Betomaq, com capacidade de 9 a 10 litros.

O preparo do concreto foi realizado conforme a Figura 1:

**Figura 1:** Fluxograma do preparo do concreto.



Fonte: Os autores, (2019).

## CARACTERIZAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Os corpos de prova foram caracterizados com relação aos ensaios de trabalhabilidade e resistência a

compressão axial, conforme a NBR NM 67 e NBR 7680-1 (ABNT, 1998 e 2015), respectivamente.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

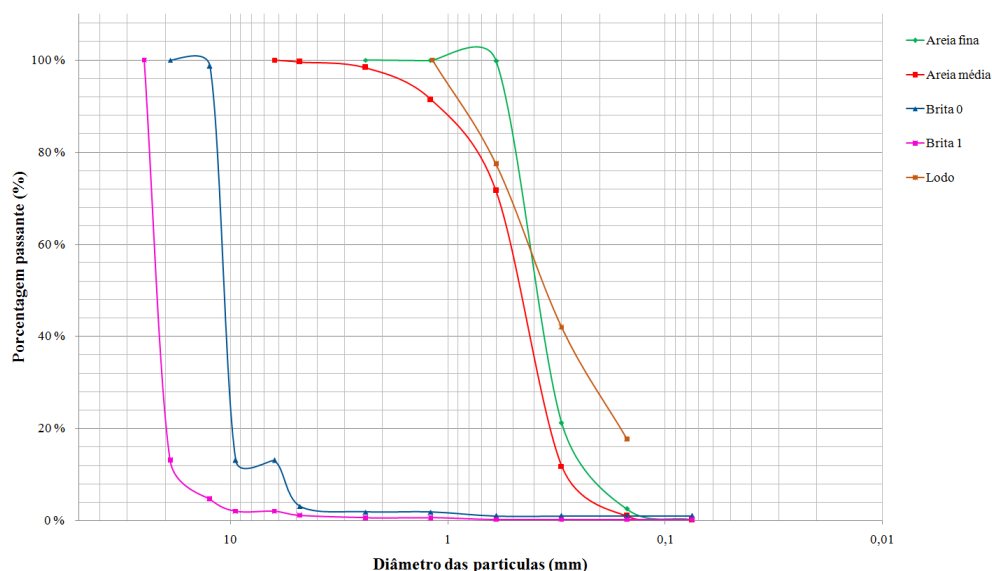
O lodo utilizado no trabalho passou pelo processo de calcinação, pois, além de reduzir a matéria orgânica, emite uma pequena quantidade de poluentes, visto que, a queima pode gerar uma quantidade inviável destes.

Para a redução da granulometria, o lodo passou por um processo de moagem. A diminuição da finura está diretamente relacionada ao aumento da resistência à compressão, sendo que a finura do resíduo também pode influenciar na trabalhabilidade do concreto (COSTA, 2013).

Após determinado período de moagem, a granulometria do resíduo estagnou, não sendo viável a continuação do processo.

Para uma melhor avaliação da dimensão do grão, após o lodo ser moído, foi separado um material mais fino, conforme demonstrado na Figura 4. A partir deste, realizou-se o ensaio de granulometria. Conforme COSTA (2013), há um aumento da resistência à compressão, com o aumento da finura da cinza, devido a correlação entre a finura e resistência. O material passante pela peneira 0,15 mm foi incorporado ao cimento.

**Figura 2:** Curva granulométrica dos agregados.



Fonte: Os autores, (2019).

Para os ensaios de granulometria dos agregados miúdos e graúdos do concreto, foram utilizados 1000 kg de cada material, exceto o lodo, sendo utilizada a quantidade de 0,310 kg. A Figura 2 apresenta

a curva granulométrica dos agregados e do lodo.

Para avaliação da atividade pozolânica do lodo, foram analisadas as quantidades de alumínio, cálcio e sílica, determinando assim, as condições exigíveis para que materiais pozolânicos sejam utilizados como aditivos.

A substituição da cinza de lodo de estação de tratamento de efluente melhora a resistência mecânica (por meio do aumento da atividade pozolânica) bem como a durabilidade, e reduz a reação álcali-agregado (HEMALATHA et al. 2016).

O ensaio realizado demonstrou a presença de alumínio, cálcio e sílica. As proporções foram respectivamente 2,16 mg/Kg, 3.406,80 mg/Kg e 335 mg/Kg.

O resultado apresentado demonstra a viabilidade na incorporação de lodo de ETE de frigorífico de aves como disposição adequada para o resíduo, pois o mesmo apresenta características que inicialmente apresentam aumento na resistência do concreto; porém, não podem ser considerados aditivos pozolânicos, pois não representam a porcentagem exigida pela NBR 5739 (ABNT, 2018).

Para os ensaios de lixiviação do lodo “in natura”, as concentrações dos parâmetros não ultrapassam os limites máximos permitidos ao anexo F da NBR 10004 (ABNT, 2004), ou seja, o material não é considerado tóxico. Para análise comparativa, apresenta-se os resultados do ensaio na Tabela 01.

**Tabela 1:** Ensaio de lixiviação de acordo com a NBR 10005/2004 (ABNT, 2004).

PARÂMETROS	RESULTADOS ANALÍTICOS	NBR 10005 ABNT, 2004	UN	L.Q./FAIXA	INÍCIO ENSAIO
Fluoretos	6,35	≤ 150,00	mg/L	0,1	03/07/2018
pH	7,25	-	U pH	2	22/06/2018
Arsênio	0,01	≤ 1,00	mg/L	0,01	26/06/2018
Bário	0,1	≤ 70,00	mg/L	0,1	26/06/2018
Cádmio	0,01	≤ 0,500	mg/L	0,01	26/06/2018
Chumbo	0,1	≤ 1,00	mg/L	0,1	26/06/2018
Cromo Total	0,02	≤ 5,00	mg/L	0,02	26/06/2018
Mercúrio	0,001	≤ 0,100	mg/L	0,001	25/06/2018
Prata	0,02	≤ 5,00	mg/L	0,02	26/06/2018
Selênio	0,01	≤ 1,00	mg/L	0,01	25/06/2018

Fonte: Os autores, (2019).



Para os ensaios de solubilização, as concentrações dos parâmetros fenóis totais, surfactantes, alumínio, ferro e manganês, ultrapassaram os limites máximos permitidos ao anexo G da NBR 10004 (ABNT, 2004). O resíduo analisado é considerado classe II A - não inerte, sendo que podem conter biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. É possível analisar os resultados na Tabela 2.

**Tabela 2:** Ensaio de solubilização conforme NBR 10006/2004 (ABNT, 2004).

PARÂMETROS	RESULTADOS ANALÍTICOS	NBR 10006 (ABNT, 2004)	UN	L.Q./FAIXA	INÍCIO ENSAIO
Fenóis Totais	0,83	≤ 0,01	mg/L	0,01	26/06/2018
Cianeto Total	0,02	≤ 0,07	mg/L	0,01	25/06/2018
Cloretos	160,81	≤ 250,00	mg/L	5	26/06/2018
Fluoretos	< 0,10	≤ 1,50	mg/L	0,1	25/06/2018
Nitrato (como N)	6,2	≤ 10,0	mg/L	0,5	28/06/2018
pH	5,45	-	U pH	2	25/06/2018
Sulfato	< 2	≤ 250	mg/L	2	05/07/2018
Surfactantes (como LAS)	2	≤ 0,50	mg/L	0,2	26/06/2018
Alumínio	0,25	≤ 0,20	mg/L	0,01	26/06/2018
Arsênio	< 0,01	≤ 0,01	mg/L	0,01	26/06/2018
Bário	0,15	≤ 0,70	mg/L	0,05	26/06/2018
Cádmio	< 0,005	≤ 0,005	mg/L	0,005	26/06/2018
Chumbo	< 0,005	≤ 0,010	mg/L	0,005	09/07/2018
Cobre Total	0,06	até 2,00	mg/L	0,01	26/06/2018
Cromo Total	< 0,01	≤ 0,05	mg/L	0,01	26/06/2018
Ferro Total	3,54	≤ 0,30	mg/L	0,01	26/06/2018
Manganês	2,687	≤ 0,100	mg/L	0,005	26/06/2018
Mercúrio	< 0,001	≤ 0,001	mg/L	0,001	25/06/2018
Prata	< 0,01	≤ 0,05	mg/L	0,01	26/06/2018
Selênio	< 0,01	≤ 0,01	mg/L	0,01	25/06/2018
Sódio	80	≤ 200,0	mg/L	1	28/06/2018
Zinco Total	0,277	≤ 5,000	mg/L	0,005	26/06/2018

Fonte: Os autores, (2019).

Por meio do ensaio de periculosidade, foi possível observar que a amostra não produziu fogo em condições normais de T (25°C) e P (1 atm); não produziu fogo nem sob fricção, absorção de umidade ou por alterações químicas espontâneas; quando inflamada, a amostra não queimou vigorosamente; não é corrosiva; não reage violentamente com água e nem forma misturas potencialmente explosivas; não

possui em sua constituição íons cianeto que ultrapassem as concentrações estabelecidas pela NBR 10.004 (ABNT, 2004). Assim, com base nos ensaios de periculosidade, a amostra analisada não se mostrou inflamável, corrosiva ou reativa.

**Tabela 3:** Ensaio de periculosidade conforme NBR 10004/2004 (ABNT 2004).

PARÂMETROS	RESULTADOS ANALÍTICOS	NBR 10004 (ABNT, 2004)	UN	L.Q./FAIXA	INÍCIO ENSAIO
Cianeto Total	0,5	≤ 250,00	mg/Kg	0,01	05/07/2018
Corrosividade	Não detectado	-	-	-	09/07/2018
Inflamabilidade	Não detectado	-	-	-	09/07/2018
pH	4,83	de 2,00 a 12,50	U pH	-	09/07/2018
Reatividade	Não detectado	-	-	-	09/07/2018
Sulfeto	<0,05	≤ 500,00	mg/Kg	0,05	09/07/2018
Umidade Total	13,92	-	%	-	18/06/2018

Fonte: Os autores, (2019).

Para a incorporação de cinza de lodo de esgoto (CLS), foram utilizadas as seguintes porcentagens: 0%, 3%, 5% e 7%, em relação à massa de cimento utilizada. Para determinação das quantidades a serem incorporadas, foram utilizadas as bibliografias descritas na Tabela 4:

**Tabela 4:** Porcentagem de aditivos.

BIBLIOGRAFIA	ADIÇÃO (%)
COSTA (2013)	Adição de 10 - 30
COSTA (2013)	Adição de 5, 10 e 20
COSTA (2013)	Adição de 5 - 20
COSTA (2013)	Adição 5 - 30
COSTA (2013)	Adição de 3 - 10
LIMA (2013)	Adição de 10 - 30

Fonte: Os autores, (2019).

O traço para a produção do presente trabalho foi fornecido por uma concreteira, situada na cidade de Maringá, estado do Paraná. Tal traço é utilizado pela empresa para a produção de concretos com necessidade da incorporação de aditivos, a fim de obter um melhor rendimento do cimento com relação aos agregados e a resistência. Este traço já utiliza um aditivo polifuncional, BF 38, da marca BASF, o

qual foi mantido na incorporação, evitando a retenção de água por parte do resíduo. A Tabela 5 apresenta a formulação do concreto.

**Tabela 5:** Formulação concreto.

TEOR DE ADIÇÃO DA CINZA (%)	TRAÇO DA MASSA						
	CIMENTO	AREIA FINA	AREIA MÉDIA	BRITA 0	BRITA 1	FATOR A/C	CINZA
0	1	1	1,90	1,06	3,20	0,65	0
3	1	1	1,90	1,06	3,20	0,65	0,03
5	1	1	1,90	1,06	3,20	0,65	0,05
7	1	1	1,90	1,06	3,20	0,65	0,07

Fonte: Adaptado de LIMA (2013).

Para definição do fator água/cimento, optou-se pelo valor de 0,65, pois a matéria não sofrerá exposição ao ambiente, de forma que a classe de agressividade fraca atenderia ao estudo inicial.

Para obtenção da quantidade de materiais para realização dos ensaios, foi necessária a obtenção da massa específica de cada agregado, demonstrada pela da Tabela 06.

**Tabela 6:** Massa específica conforme NBR 16605/2017 (ABNT, 2017), NBR NM 52/2009 (ABNT, 2009) e NBR NM 53/2009 (ABNT, 2009).

MATERIAIS	CIMENTO (Kg/m <sup>3</sup> )	AREIA FINA (Kg/m <sup>3</sup> )	AREIA MÉDIA (Kg/m <sup>3</sup> )	BRITA 0 (Kg/m <sup>3</sup> )	BRITA 1 (Kg/m <sup>3</sup> )
Massa específica	3,10	2,62	2,62	2,86	2,86

Fonte: Os autores, (2019).

Por meio dos valores obtidos para o traço e massa específica dos materiais, foi possível obter o volume de materiais utilizados para cada traço e incorporação, conforme Tabelas 07 e 08, respectivamente.

**Tabela 7:** Volume por porcentagens de adição.

TEORES PARA O CÁLCULO DO VOLUME	TRAÇO					
	CIMENTO	AREIA FINA	AREIA MÉDIA	BRITA 0	BRITA 1	ÁGUA
Traço unitário	1	1	1,9	1,06	3,2	0,65

Quantidade de traços aproximada	2,64	2,64	2,64	2,64	2,64	2,64
Traço aumentado	2,640	2,640	5,016	2,798	8,448	1,716
Massa específica dos componentes	3,1	2,62	2,62	2,81	2,81	1
Volume	0,852	1,008	1,915	0,996	3,006	1,716
Volume total do traço	9,49					Litros
Volume total para 4 CP's	9,42					Litros

Fonte: Adaptado de LIMA (2013).

**Tabela 8:** Volume por porcentagens de adição.

MATERIAL (Kg)	ADIÇÕES				VOLUME TOTAL
	CLE 0%	CLE 3%	CLE 5%	CLE 7%	
Cimento	2,64	2,64	2,64	2,64	10,56
Areia Fina	2,64	2,64	2,64	2,64	10,56
Areia Média	5,02	5,02	5,02	5,02	20,06
Brita 0	2,80	2,80	2,80	2,80	11,19
Brita 1	8,45	8,45	8,45	8,45	33,79
Água	1,72	1,72	1,72	1,72	6,86
Aditivo Polifuncinal	0,21	0,21	0,21	0,21	0,84
Lodo	0,00	0,07	0,13	0,18	0,40

Fonte: Adaptado de LIMA (2013).

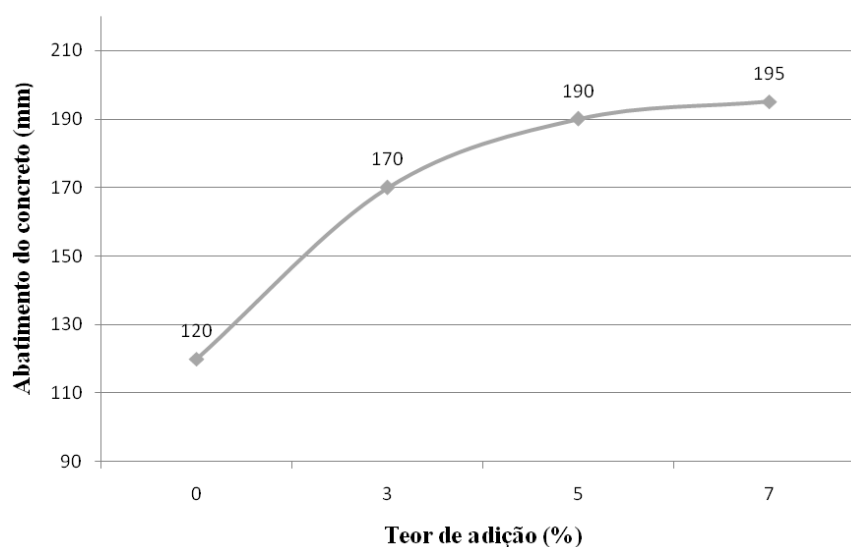
A definição dos ensaios necessários para viabilização da incorporação da cinza de lodo de esgoto foi determinada conforme as propriedades exigidas, sendo a resistência mecânica uma das principais, levando-se em conta a necessidade de resistir a forças de compressão. A definição dos ensaios necessários para viabilização da incorporação da cinza de lodo de esgoto foi determinada conforme as propriedades exigidas, sendo a resistência mecânica uma das principais, levando-se em conta a necessidade de resistir a forças de compressão.

**Tabela 9:** Quantidade de corpos de prova para cada dosagem.

ENSAIO: Resistência à compressão (DIAS)	REFERÊNCIA NORMATIVA	CP'S
3	ABNT (2016)	1
7	ABNT (2016)	1
28	ABNT (2016)	2
	Total	4

Fonte: Adaptado de LIMA (2013).

Após a produção do concreto, foi realizado o ensaio para determinação da sua trabalhabilidade, conforme Figura 3. Foi possível observar que, com o acréscimo da porcentagem de incorporação, ocorreu um aumento na trabalhabilidade do concreto, podendo ser atribuído tal fator devido à quantidade de sílica presente no lodo.

**Figura 3:** Abatimento do concreto de acordo com o teor de adição

Fonte: Os autores, (2019).

Para determinação da resistência mecânica, os corpos de prova foram rompidos aos 3, 7 e 28 dias, para uma melhor visualização dos resultados obtidos inicialmente e para uma melhor avaliação do comportamento inicial do concreto ao incorporar o resíduo. A resistência aos 7 dias foi optada, pois, conforme NBR 6118 (ABNT, 2014), dependendo do tipo de cimento utilizado, aos 7 dias essa resistência já corresponde a 78% do atingido aos 28 dias, podendo assim obter melhor avaliação da evolução dos resultados da incorporação.

Os resultados referentes à resistência à compressão podem ser visualizados conforme Tabela 10.

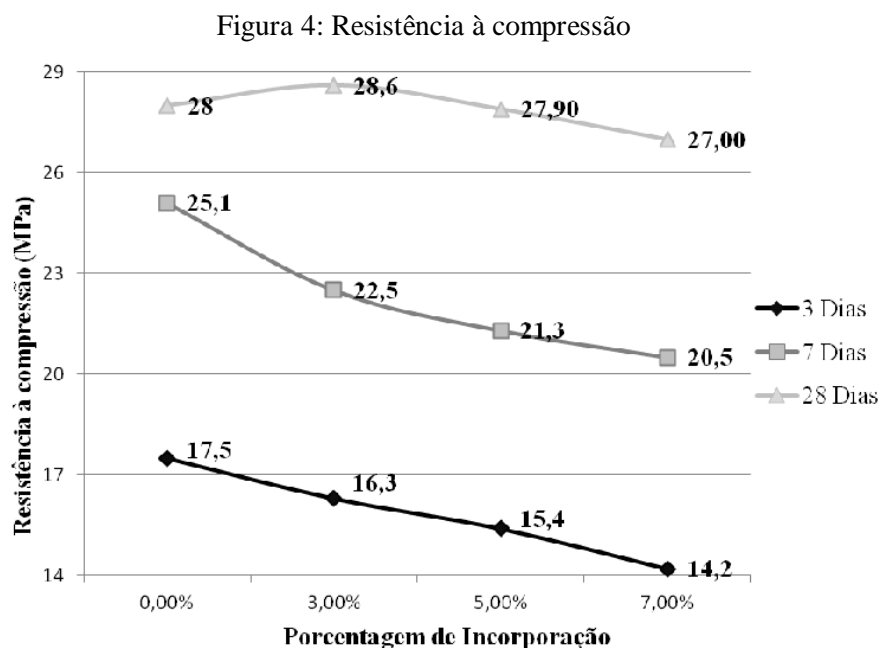
**Tabela 10:** Resistência à compressão NBR 7680-1/2015 (ABNT 2015)

INCORPORAÇÃO (%)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)		
	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS
0	17,5	25,1	28
0,03	16,3	22,5	28,6
0,05	15,4	21,3	27,90
0,07	14,2	20,5	27,00

Fonte: Os autores, (2019).

Para o concreto ora testado, a resistência almejada aos 28 dias seria de 25 MPa, conforme exposto na Tabela 10. O concreto com incorporação de 3% demonstrou uma resistência superior àquele sem incorporação de resíduo, sendo que os demais apresentaram menor resistência, mas, ainda assim, corresponderam ao esperado.

A Figura 4 demonstra a evolução das resistências ao longo dos rompimentos.



Fonte: Os autores, (2019).

Por meio do gráfico, é possível observar que o concreto sem incorporação apresenta maior resistência nos dias iniciais; mas, se comparado ao concreto cuja incorporação do lodo ou cinza é de 3%, apresenta menor resistência ao 28º dia. Conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014), o cimento CP-II utilizado no trabalho em questão deverá apresentar 60% de sua resistência final aos 3 dias, 78% aos 7 dias e 100%

aos 28 dias, de forma que, para a obtenção de uma resistência de 25 Mpa aos 28 dias, era preciso obter uma resistência de 15 Mpa ao terceiro dia, e uma resistência de 19,50 MPa no sétimo dia.

Sendo assim, a incorporação com 7% não obteve um resultado satisfatório na resistência inicial, mesmo obtendo os 25 MPa definidos por norma.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os ensaios químicos demonstraram que o material é classe II A - não inerte, sendo que a amostra não é considerada inflamável, corrosiva e não oferece potencial explosivo. Foi possível observar, no quesito trabalhabilidade, que os corpos de prova que receberam aditivo de cinza de lodo obtiveram trabalhabilidade maior, pois a incorporação é diretamente proporcional à sua trabalhabilidade. Esse aumento é decorrente das características pozolânicas presentes na cinza, principalmente da presença de cal (CARMO; PORTELLA 2016).

Por meio da incorporação, notou-se o aumento da resistência do concreto com incorporação de 3%, comparado ao sem incorporação. A incorporação com 5% de adição foi satisfatória, visto que, a resistência pretendida aos 28 dias era de 25 Mpa, atingindo a resistência de 27,9 MPa, com uma diferença de menos de 1% com relação ao sem aditivo, sendo tal com uma resistência de 28 MPa.

O concreto com incorporação de 7% obteve uma resistência superior aos 25 MPa solicitados; porém, conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014), é necessária uma resistência de 15 MPa aos 3 dias, a qual não atendeu de maneira satisfatória.

Foi possível constatar que os corpos de prova com incorporação obtiveram diminuição na resistência nas idades iniciais comparado com o que não recebeu aditivo, isso se deve à característica pozolânica presente do aditivo. Os concretos com aditivos de pozolânica apresentam uma cura mais lenta, o que é recomendado quando se exige um grande volume (UNEMAT, 2018).

Por meio das análises químicas, notou-se a presença de materiais como alumínio, cálcio e sílica, sendo eles os precursores para a classificação do resíduo como pozolânicas, obtendo assim aumento no desempenho da resistência.

Portanto, torna-se executável a incorporação da cinza de lodo no cimento como uma destinação correta para o resíduo, quando incorporado nas proporções de 3% e 5% ao cimento.

## Referências

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004/2004: Resíduos sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10005/2004: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólido**. Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10006/2004: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12655/2015 - Versão corrigida 2015: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2015.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16605/2017: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2017.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 248/2003: Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738/2015 - Versão corrigida 2016: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2016.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739/2018: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118/2014: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7680-1/2015 - Versão corrigida 2015: Concreto - Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto Parte 1: Resistência à compressão axial**. Rio de Janeiro, 2015.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9251/1986: Água - Determinação do pH - Método eletrométrico - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1986.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 52/2009: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 53/2009: Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 2009.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 67/1998: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.
- BAILONE, R. L.; ROÇA, R. O. Tendências no processamento de frangos de corte. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 1, pp. 65-72, jan./fev. 2017.
- BATISTA, L.F. **Lodos Gerados nas Estações de Tratamento de Esgotos no Distrito Federal: Um Estudo de sua Aptidão para o Condicionamento, Utilização e Disposição final**. Dissertação de Mestrado, UnB, Brasília, DF, 2015.
- CAMARGO, J. A.; HENKES, J. A. ; ROSSATO, I. F. Avaliação do consumo de água em abatedouro de aves visando a redução e ou reutilização de água. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 5, pp. 675-693, jan./dez. 2016.
- CARMO, J. B. M do; PORTELLA, K. F. Estudo comparativo do desempenho mecânico da sílica ativa e do metacaulim como adições químicas minerais em estruturas de concreto. **Cerâmica**, v. 54, n. 331, pp. 309-318, 2016.
- COSTA, F. M. S. da, **Estudo de viabilidade da utilização de cinza de lodo de esgoto com adição em argamassa de cimento Portland**. Dissertação de Mestrado, UFRN, Natal, RN, 2013.



DAMASCENO, S. *et al.*. Caracterização e Readequação de Sistema de Tratamento de Efluentes de Frigorífico de aves. In: **Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos de Animais**, pp. 538-542, Florianópolis, Mar. 2009.

EATON, A. D.; BAIRD, R. B.; RICE, E. W. **Standard methods for the examination of water and wastewater**, 23 ed., Washington, 2017. Editoria UNEMAT, [http://sinop.unemat.br/site\\_antigo/prof/foto\\_p\\_d\\_uploads/fot\\_7092cimento\\_pobtland\\_pdf.pdf](http://sinop.unemat.br/site_antigo/prof/foto_p_d_uploads/fot_7092cimento_pobtland_pdf.pdf) . Acessado em novembro de 2018.

GODOY, L. C. A Logística na Destinação do Lodo de Esgoto. **Revista Científica On-line. Tecnologia – Gestão – Humanismo**, v. 2, n. 1, pp. 79-90, nov. 2013.

HEMALATHA, T. *et al.* Physico-chemical and mechanical characterization of high volume fly ash incorporated and engineered cement system towards developing greener cement. **Journal of Cleaner Production**, v. 125, pp. 268-281, jul. 2016.

IGUMA, M. D. *et al.* Evolução da avicultura no país. **Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea)**, Ano 1, ed. 1, pp. 01-04, out./dez. 2014.

LIMA, J. F. **Avaliação da incorporação de cinzas de lodo de esgoto como adição mineral em concretos de cimento Portland**. Dissertação de Mestrado, UFRN, Natal, RN, 2013.

RODRIGUES, W. O. P. *et al.* Evolução da avicultura de corte no país. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia**, v. 10, n. 18, p. 1666-1684, jul./jul. 2014.

Recebido em: 20/09/2019

Aceito em: 08/11/2019

Endereço para correspondência:

Nome: Luciana Cristina Soto Herek Rezende

Email: [luciana.rezende@unicesumar.edu.br](mailto:luciana.rezende@unicesumar.edu.br)



Esta obra está licenciada com uma Licença [Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).