

CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ - FAG
FRANCIS EDUARDO MACHADO

**VERIFICAÇÃO DA VIABILIDADE DO APROVEITAMENTO DA CINZA
DE LENHA COMO ADIÇÃO AO CONCRETO**

CASCADEL
2017

CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ - FAG
FRANCIS EDUARDO MACHADO

**VERIFICAÇÃO DA VIABILIDADE DO APROVEITAMENTO DA CINZA
DE LENHA COMO ADIÇÃO AO CONCRETO**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Profª. Orientadora: Me. Maria Vânia Nogueira do Nascimento Peres.

CASCADEL
2017

CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ - FAG
FRANCIS EDUARDO MACHADO

**VERIFICAÇÃO DA VIABILIDADE DO APROVEITAMENTO DA CINZA
DE LENHA COMO ADIÇÃO AO CONCRETO**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil. Prof^ª. Orientadora: Me. Maria Vânia Nogueira do Nascimento Pêres.

BANCA EXAMINADORA


Orientadora: Prof^ª. Me. Maria Vânia Nogueira do Nascimento Pêres
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheira Civil


Professor Esp. Jefferson Teixeira Olea Homrich
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Civil


Professora Me. Andrea De Souza Resende
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheira Civil

Cascavel, 08 de junho de 2017

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha mãe, à minha esposa e ao meu filho, pelo amor infinito e compreensão. Pessoas sem as quais eu não teria conseguido.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus, pela força divina em minha vida.

À minha esposa, filho e mãe, por entenderem minha ausência diária durante esta longa caminhada.

À minha professora orientadora por ter desempenhado papel exemplar no norteamento deste trabalho.

EPÍGRAFE

“Vida, faculdades, produção — e, em outros termos, individualidade, liberdade, propriedade — eis o homem. E, apesar da sagacidade dos líderes políticos, estes três dons de Deus precedem toda e qualquer legislação humana, e são superiores a ela”.

Frederic Bastiat.

RESUMO

A lenha é utilizada largamente por indústrias de diversos setores com a finalidade de gerar de energia. O calor proveniente da combustão deste material faz funcionar linhas de produção de indústrias frigoríficas, farmacêuticas, laticínios e silos de armazenamento de grãos, como soja e milho. As cinzas geradas a partir da queima de qualquer material representam um resíduo de difícil descarte, visto que a destinação deve ser realizada em aterros apropriados que, na maioria dos municípios brasileiros, não existe. Este trabalho teve por objetivo verificar a viabilidade técnica do aproveitamento da cinza de madeira como adição ao concreto, substituindo 7%, 14% e 21% do volume de cimento da mistura. As cinzas utilizadas são provenientes da grelha da caldeira de combustão, utilizada em uma indústria frigorífica no município de Toledo, Oeste do Paraná. Primeiramente foram realizados ensaios de caracterização química e física das cinzas, para identificar sua granulometria, massa específica e composição química. Com os resultados da caracterização foi definido um traço para produção do concreto de referência. Foram moldados 20 (vinte) corpos de prova, sendo 5 (cinco) unidades para cada teor de substituição. Após 28 (vinte e oito) dias de cura controlada, 4 (quatro) dos corpos de prova foram submetidos à ruptura por compressão axial, em ensaio normalizado, para obtenção da resistência característica de cada um dos elementos. O quinto corpo de prova de cada teor de adição de cinza foi utilizado para a realização do ensaio de absorção por imersão, a fim de aferir o potencial de absorção do material e sua variação em função do aumento do teor de cinzas na mistura. Para a resistência à compressão, foi possível notar que uma adição de 7% de cinzas na mistura causou uma redução de 3,95%, de 35,4MPa para 34MPa. Para a absorção, notou-se que as amostras com 14% de cinzas apresentaram o menor teor de absorção, em torno de 6,09% da massa seca em estufa. Para o índice de pozolanicidade, o material da argamassa “B”, com adição de cinzas, apresentou desempenho de cerca de 46,34% da resistência em relação à argamassa “A”, sem adição. Como a NBR 5752 (ABNT, 2014) impõe um desempenho mínimo de 75% para ensaios em argamassa, pode-se concluir que o material não apresenta atividade pozolânica. Quanto ao fator resistência, o material apresentou redução da resistência dos corpos de prova ensaiados, o que confirma a inviabilidade da utilização como adição ao concreto.

Palavras chave: concreto; cinzas de madeira; resistência à compressão; capacidade de absorção.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Procedimento experimental desenvolvido.....	28
Figura 2: Curva granulométrica das duas amostras de cinza ensaiadas.....	30
Figura 3: Agitador mecânico com as peneiras posicionadas.....	30
Figura 4: Duas amostras peneiradas.....	31
Figura 5: Curva granulométrica das duas amostras de areia ensaiadas.....	32
Figura 6: Curvas granulométricas dos dois materiais ensaiados.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição dos Cimentos Portland, comuns e compostos.....	23
Tabela 2: Composição granulométrica das duas amostras de cinza ensaiadas.....	29
Tabela 3: Composição granulométrica das duas amostras de areia ensaiadas.....	31
Tabela 4: Limites da composição granulométrica do agregado graúdo.....	33
Tabela 5: Limites da composição granulométrica do agregado miúdo.....	34
Tabela 6: Consumo de material para execução dos concretos.....	35
Tabela 7: Resultado da análise química semiquantitativa.....	39
Tabela 8: Resultados do rompimento dos Corpos de Prova de argamassa.....	40
Tabela 9: Resultados do rompimento dos Corpos de Prova de concreto.....	41
Tabela 10: Capacidade de absorção das amostras.....	43

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Resistências obtidas no ensaio de compressão de argamassa	40
Gráfico 2: Resistência à compressão do concreto	42
Gráfico 3: Capacidade de absorção das amostras	43

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: teor de umidade em corpos de prova	36
Equação 2: resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto .	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP: Associação Brasileira de Cimento Portland.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

CBC: Cinzas do bagaço de cana.

CP: Cimento Portland.

DNER-MR: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Método de ensaio.

IPARDES: Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social.

ISO: *International Organization for Standardization* – Organização Internacional de Padronização.

NBR: Norma Regulamentadora Brasileira.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	16
1.1 INTRODUÇÃO	16
1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA.....	17
1.2.1 Objetivo geral.....	17
1.2.2 Objetivos específicos.....	17
1.3 JUSTIFICATIVA	17
1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	18
1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE	18
1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	18
CAPÍTULO 2	20
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1.1 Reutilização de resíduos sólidos.....	20
2.1.2 Cinza de madeira.....	21
2.1.3 Concreto: definição e componentes.....	21
2.1.3.1 Cimento.....	22
2.1.3.2 Agregados.....	23
2.1.3.3 Adições minerais.....	24
2.1.3.4 Concreto com adição de cinzas	24
2.1.3.5 Pozolanas	25
2.1.3.6 Filer.....	25
2.1.4 Efeito das adições minerais nas propriedades do concreto	26
2.1.4.1 Concreto no estado fresco	26
2.1.4.2 Concreto no estado endurecido	26
CAPÍTULO 3	28
3.1 METODOLOGIA.....	28
3.2 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO	28
3.2.1 Análise física das cinzas.....	29
3.2.1.1 Granulometria por peneiramento.....	29

3.2.1.2	Massa específica através do método do picnômetro	32
3.2.1.3	Índice de atividade pozolânica	32
3.2.2	Composição química do material.....	33
3.2.2.1	Espectrometria por fluorescência de raios X	33
3.3	MATERIAIS UTILIZADOS	33
3.3.1	Agregado graúdo	33
3.3.2	Agregado miúdo	34
3.3.3	Aglomerante	34
3.3.4	Adições.....	34
3.4	DOSAGEM DO CONCRETO.....	34
3.4.1	Traço de referência.....	34
3.5	Corpos de prova	35
3.5.1	Ensaio realizado.....	35
3.5.1.1	Ensaio de absorção por imersão – procedimento.....	36
3.5.1.2	Ensaio de rompimento de corpo de prova por compressão axial – proced. ...	37
CAPÍTULO 4		38
4.1	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	38
4.1.1	Resultados quanto à caracterização física.....	38
4.1.1.1	Curva granulométrica da cinza e da areia	38
4.1.1.2	Massa específica da cinza e da areia.....	39
4.1.2	Resultados quanto à caracterização química.....	39
4.1.2.1	Espectrometria por fluorescência de raio X	39
4.1.3	Resultados quanto à caracterização mecânica.....	40
4.1.3.1	Índice de atividade pozolânica	40
4.1.3.2	Variação da resistência característica à compressão	41
4.1.3.3	Capacidade de absorção	43
CAPÍTULO 5		45
5.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
CAPÍTULO 6		46

6.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	46
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
	ANEXOS.....	51

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

A região Oeste do Paraná constitui uma parte do território brasileiro conhecida pela intensa atividade agrícola e agroindustrial. Nesta região estão instaladas dezenas de fábricas que processam milhares de toneladas de alimentos como soja, milho, trigo e carnes.

As cidades de Toledo e Cascavel são duas das principais cidades da região, compondo um importante eixo de desenvolvimento no Estado do Paraná. Na cidade de Toledo, a atividade agropecuária atingiu o valor de 1,7 bilhão de reais em 2014, sendo o maior PIB agropecuário do Estado (IPARDES, 2015).

A demanda por energia que abasteça de forma satisfatória estas cadeias produtivas é intensa. Para a agroindústria, adotou-se uma estratégia muito utilizada no mundo para a obtenção de energia: a combustão de biomassa. De acordo com Bell (2012, p. 129), a lenha é o principal combustível utilizado para secagem de grãos pelas cooperativas agrícolas, e é apontada como combustível economicamente viável. Segundo o Ipardes (2015), somente no município de Toledo, Oeste do Paraná, o volume produzido de lenha alcançou a marca de 300.000m³ em 2014, incluindo eucalipto, pinus e outras madeiras.

Várias são as qualidades de madeira utilizada neste processo. Existem enormes florestas privadas na região, que ao apresentarem árvores adultas, são cortadas e transformadas em lenha para a queima nos fornos industriais. Dessa queima surgem dois resíduos: a cinza da grelha da caldeira e a cinza coletada no filtro da chaminé, cujo objetivo é emitir gás menos poluente na atmosfera.

As adições ao concreto são procedimento adotados visando sempre alguma melhoria nas propriedades do mesmo, seja em estado fresco ou endurecido. Algumas adições podem melhorar a trabalhabilidade do concreto em estado fresco. Outras, por exemplo, reduzem o índice de permeabilidade após endurecido.

O trabalho de pesquisa apresentado trata da verificação da viabilidade técnica da utilização da cinza da grelha da caldeira industrial, proveniente da queima da lenha de madeira para geração de energia, como adição à mistura de concreto para utilização estrutural.

1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

1.2.1 Objetivo geral

Verificar a viabilidade técnica do aproveitamento da cinza de madeira como adição ao concreto.

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar a cinza da queima da madeira quanto a sua atividade pozolânica;
- Avaliar a resistência à compressão aos 28 dias do concreto com substituição parcial do cimento pela cinza em 7%, 14% e 21% em volume de cimento, e compará-la a do concreto de referência;
- Avaliar a capacidade de absorção do concreto com substituição parcial do cimento pela cinza em 7%, 14% e 21% em volume de cimento, e compará-la a do concreto de referência.

1.3 JUSTIFICATIVA

A combustão de lenha gera milhares de toneladas de cinzas. Por todo o território nacional utiliza-se essa fonte de energia para alimentar indústrias dos mais diversos setores produtivos.

A cinza gerada nestas indústrias é, muitas vezes, descartada de maneira inadequada, o que coloca em risco o solo e os lençóis freáticos.

De acordo com Vaske (2012), a quantidade de cinza produzida no país, aliada às cinzas já consagradas como adição ao concreto pode permitir que se encontre uma destinação útil e limpa para esse resíduo, como já ocorre com materiais semelhantes, como cinza da casca de arroz ou a cinza volante.

A região Oeste do Paraná é conhecida pela força da produção agrícola. Também se destacam as atividades industriais de carnes e derivados. Estas indústrias geram centenas de toneladas de cinzas que podem ser aproveitadas como adição ao concreto em obras da região.

O resíduo gerado a partir da queima de qualquer biomassa representa um passivo ambiental difícil de ser tratado, visto que o descarte deve ocorrer em aterro apropriado e receber o tratamento devido, a fim de evitar a poluição de rios, solo e ar. O aproveitamento do material proveniente da queima da lenha como adição ao concreto resultaria em uma ótima solução para esse enorme problema ambiental inerente à atividade industrial.

A importância de se desenvolver conhecimento voltado para as adições ao concreto reside no fato de que elas podem melhorar significativamente algumas das características desse material. Além dessa melhoria, também podem ser uma boa opção de redução do passivos ambientais criados por materiais de difícil descarte.

1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

A cinza de madeira, proveniente da caldeira industrial, pode ser utilizada como adição ao concreto, sem que este apresente perda significativa de resistência à compressão?

1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE

A partir de alguns estudos existentes sobre o tema, tem-se condições de avaliar algumas hipóteses acerca dos resultados a adição da cinza ao concreto. De acordo com Vaske (2012), a cinza de lenha de eucalipto pode ser utilizada como adição ao concreto, com efeito predominante de filler, em percentuais de 15%, trazendo benefícios econômicos, técnicos e ambientais.

Assim, apresenta-se como hipótese aceitável a substituição de até 15% das cinzas sem a resistência do concreto se altere de forma significativa.

1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa realizada a partir desse estudo teve algumas limitações a serem consideradas.

O material utilizado como adição ao concreto foi definido, especificamente, como cinza de madeira, proveniente da grelha da caldeira industrial, não considerando outro tipo de resíduo.

Foi verificada a influência da adição do resíduo no concreto apenas em termos de resistência à compressão do mesmo, não sendo realizado qualquer outro ensaio de caracterização do concreto fresco ou endurecido.

Os teores de material a serem experimentados foram: 7%, 14% e 21%, sempre em relação ao volume de cimento.

Para a obtenção dos resultados finais, foram realizados, os seguintes ensaios para caracterizar o material: granulometria por peneiramento, de acordo com a NBR 7217 – Agregados – Determinação da composição granulométrica (ABNT 1987), massa específica pelo método do frasco do picnômetro, seguindo a DNER-ME 093/94 e índice de atividade pozolânica de acordo com o método proposto pela ABNT NBR 5752 – Materiais pozolânicos: Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos vinte e oito dias (ABNT 2014).

As cinzas utilizadas são provenientes da queima de madeira em caldeiras industriais. Essas caldeiras geram energia consumida em linhas de produção de indústrias frigoríficas na região Oeste do Paraná. Também são utilizadas em silos para secagem de grãos armazenados.

Para utilização neste trabalho, o material passou por peneira simples com a finalidade única de retirar as impurezas de maior dimensão contidas nas amostras. As amostras foram utilizadas “*in natura*”, sem que tivessem passado por nenhum tipo de moagem ou calcinação.

Foram moldados 16 (dezesseis) corpos de prova de concreto e 12 (doze) corpos de prova de argamassa para rompimento aos 28 dias.

CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 Reutilização de resíduos sólidos

A partir da fixação do homem a terra e o surgimento do conceito de propriedade, os indivíduos passaram a utilizar os recursos naturais de acordo com as suas necessidades de subsistência (LEAL, 2008).

A Revolução Industrial do século XVIII representou um marco na história da existência humana em termos de acesso a bens e serviços nunca antes disponibilizados. No entanto, os efeitos colaterais da geração de resíduos e agentes poluentes chama a atenção pela gravidade e dificuldade de se dar destinação adequada a esses materiais.

Devido às mudanças decorrentes da globalização e revolução tecnológica, novos paradigmas emergem. Entre eles, o do desenvolvimento sustentável, hoje incorporado pelas grandes empresas. O maior desafio, no final deste século, passou a ser, para a indústria, conciliar competitividade e gestão ambiental, ou em outras palavras, produzir com responsabilidade social e ecológica (SOUZA e SILVA, 1996).

Os resíduos são a materialização da parcela que não interessa mais ao seu proprietário. Segundo uma definição proposta pela Organização Mundial da Saúde, um resíduo é algo que seu proprietário não mais deseja em um dado momento e em determinado local, e que não tem um valor de mercado (VALLE, 1995).

Para Zanta e Ferreira (2003), os resíduos podem ser classificados por sua natureza física (seco e molhado), por sua composição química (matéria orgânica e inorgânica), pelos riscos potenciais ao meio ambiente e quanto sua origem.

De acordo com a NBR 10004 – Resíduos sólidos: Classificação (ABNT 2004), um resíduo sólido é todo aquele que resulta de uma atividade doméstica, hospitalar, comercial ou industrial, agrícola e de serviços de varrição.

A reciclagem é definida como o processo de reaproveitamento dos resíduos sólidos, em que os seus componentes são separados, transformados e recuperados, envolvendo economia de matérias-primas e energia, combate ao desperdício, redução

da poluição ambiental e valorização dos resíduos, com mudança de concepção em relação aos mesmos (PNUD, 1998).

A Lei Federal 12.305/2010, revisada em 2012, instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cujo objetivo é, entre outros, incentivar a indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados.

Existem vários estudos que visam identificar a viabilidade em transformar os resíduos gerados em fonte de matéria-prima para novos produtos, contribuindo ainda com a preservação do ambiente, redução de custos e do consumo de energia (LIMA, 2008).

2.1.2 Cinza de madeira

A lenha é um dos principais combustíveis utilizados em caldeiras industriais no Brasil. A atividade florestal no país, especialmente o plantio de produção com os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, compreendem atualmente a base de matéria-prima para uma cadeia produtiva diversificada e integrada, em uma economia estruturada sob a competitividade dos processos (SCHETTINO, 2007).

A cinza gerada do processo de queima resulta em um passivo ambiental difícil de resolver, visto que não existem muitas opções de destinação deste resíduo.

Na cidade de Toledo existem inúmeras indústrias que utilizam a madeira na geração de energia. Dentre elas, frigoríficos e cooperativas que fazem uso do calor gerado para manterem secos os cereais estocados em silos. Segundo o IparDES (2014), esse conjunto de empresas gera uma quantidade de cinzas que supera os 300.000 metros cúbicos anuais.

2.1.3 Concreto: definição e componentes

Utilizado na antiguidade pelos romanos e também pelos egípcios na construção das pirâmides, o concreto há mais de cinco mil anos vem ajudando construtores em suas atividades. Neste período o concreto se tornou o material mais importante e consumido na indústria da construção civil. De acordo com Pedroso (2009), no Brasil são consumidos cerca de 30 milhões de metros cúbicos ao ano.

O concreto é um material composto que consiste essencialmente de um meio contínuo aglomerante, dentro do qual estão mergulhados partículas ou fragmentos de agregados (MEHTA, 1994).

Quando se fala em concreto hidráulico, faz-se referência a uma mistura cujo aglomerante é o cimento hidráulico misturado com água.

Para Petrucci (1998), o concreto hidráulico é um material de construção constituído por mistura de um aglomerante com um ou mais materiais inertes e água.

2.1.3.1 Cimento

O cimento pode ser definido, segundo Mehta (1994), como um material finamente pulverizado que sozinho não é aglomerante, mas desenvolve propriedades ligantes ao reagir com água.

Trata-se de um material que ao entrar em contato com a água, passa a trabalhar como aglomerante, unindo todas as demais partículas presentes na mistura, os agregados. Os tipos de cimento encontrados no mercado podem variar de acordo com a adição que recebem.

De acordo com a ABCP (2002), os principais tipos de cimento utilizados no Brasil são os seguintes:

- Cimento Portland comum;
- Cimento Portland composto;
- Cimento Portland de alto-forno;
- Cimento Portland pozolânico.

Segundo ABCP (2002), são consumidos também, ainda que em menor escala, os seguintes cimentos:

- Cimento Portland de alta resistência inicial;
- Cimento Portland resistente aos sulfatos;
- Cimento Portland branco;
- Cimento Portland de baixo calor de hidratação;
- Cimento para poços petrolíferos.

O fator relevante para que um cimento seja classificado de um tipo ou de outro é a adição aplicada ao mesmo. A Tabela 1 apresenta as classificações em função da adição de cada cimento:

Tabela 1: Composição dos Cimentos Portland, comuns e compostos.

Tipo de cimento portland	Sigla	Composição (% em massa)				Norma Brasileira
		Clínquer + gesso	Escória granulada de alto-forno (sigla E)	Material pozolânico (sigla Z)	Material carbonático (sigla F)	
Comum	CP I	100	-			NBR 5732
	CP I-S	99-95	1-5			
Composto	CP II-E	94-56	6-34	-	0-10	NBR 11578
	CP II-Z	94-76	-	6-14	0-10	
	CP II-F	94-90	-	-	6-10	

Fonte: ABCP (2002).

2.1.3.2 Agregados

Os agregados são materiais que formam a massa do concreto e que são unidos entre si pelo aglomerante. É o material granular, tal como a areia, o pedregulho, a pedra britada ou escória de alto forno, usado com um meio cimentante para formar uma argamassa ou concreto hidráulico (MEHTA, 1994).

Os mais utilizados atualmente são areias e pedras britadas. No entanto, existem agregados alternativos que ganham espaço em estudos acadêmicos, como argila expandida, grãos de polietileno, EPS, entre outros.

Segundo a NBR 7211 – Agregados para concreto: Especificações (ABNT 2009), os agregados para concreto podem ser classificados em dois grandes grupos: agregados miúdos e graúdos.

Agregado miúdo é aquele cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248 – Agregados: Determinação da composição granulométrica (ABNT 2003), com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1 (NBR 7211, ABNT 2009).

Agregado graúdo é aquele cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248 (ABNT 2009), com peneiras definidas pela NBR NM ISO 3310-1(NBR 7211, ABNT 2009).

2.1.3.3 Adições minerais

São conhecidas como adições ao concreto, todo material fino, pulverulento que ao ser adicionado ao composto de concretos e argamassas tem o objetivo de promover alguma alteração da mistura fresca ou endurecida. Mehta e Monteiro (2008) definem adições minerais como materiais insolúveis finamente moídos, de fontes naturais ou alguns subprodutos industriais.

A NBR 11172 – Aglomerantes de origem mineral: terminologia (ABNT 1990) define adições minerais como sendo produtos de origem mineral adicionados aos cimentos, argamassas e concretos, com a finalidade de alterar suas características.

Não se deve confundir os conceitos de adição com aditivo. Os aditivos são produtos químicos adicionados em pequenos teores às caldas, argamassas e concretos, com a finalidade de alterar suas características no estado fresco e/ou no endurecido (NBR 11172, ABNT 1990).

As adições minerais mais comumente utilizadas na construção civil são resíduos gerados em outras indústrias, que seriam descartados em locais inapropriados, com risco de contaminação de solo e água (DAL MOLIN, 2005).

Para Mehta & Aitcin (1990), a utilização de resíduos e subprodutos industriais como adições em concretos traz tantos benefícios que nenhum concreto deveria ser produzido sem tais adições, a menos que existissem razões especiais para isso.

2.1.3.4 Concreto com adição de cinzas

Diversos são os estudos que investigam as possibilidades de uso de cinzas como adição em concretos e argamassas. Cada um destes estudos aborda o tema da forma que mais lhe convém, levando em conta as características de cada região e do material disponível.

2.1.3.5 Pozolanas

As pozolanas são materiais adicionado aos cimento, formando o chamado cimento pozolanico. A ASTM C 618-06 descreve a pozolana como um material silicoso ou silico-aluminoso que, por si mesmo, possui pouco ou nenhum valor cimentício, mas quando finamente dividido e na presença de umidade, reage quimicamente com a cal (liberada na hidratação do cimento Portland) em temperatura ambiente formando compostos com propriedades cimentícias.

2.1.3.6 Filer

O material conhecido com filer tem função de prover o concreto de maior trabalhabilidade, uma vez que é constituído de material finamente moído. Para a ABNT NBR 11578 – Cimento Portland composto, o filer é um material carbonático finamente dividido constituído em sua maior parte por carbonato de cálcio.

De acordo com Resende (2013) em seu “Estudo do efeito da incorporação de cinzas de cavaco de eucalipto como material cimentício suplementar”, a utilização de cinzas pode ocorrer até o percentual de 10% de cimento, sem alterar significativamente as propriedades mecânicas do compósito.

De acordo com Vaske (2012), a cinza de lenha de eucalipto pode ser utilizada como adição ao concreto, com efeito predominante de filler, em percentuais de 15%, trazendo benefícios econômicos, técnicos e ambientais.

De Paula (2008), em seu estudo denominado de “Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) como material de substituição parcial de cimento Portland”, afirma que, do ponto de vista da resistência à compressão, argamassas com teores de CBC entre 0 e 30% indicaram a possibilidade de substituição de até 20% do cimento pela CBC.

Também há estudos realizados no sentido de experimentar a cinza da casca do arroz. Moraes (2001) afirma que embora derive de materiais orgânicos, após a queima é considerada mineral, pois tem em suas composições químicas altas porcentagens de sílica amorfa e isto, aliado as altas superfícies específicas que estas também possuem, conferem alta reatividade pozolânica a este material.

O trabalho objeto deste estudo tem somente a intenção de agregar mais conhecimento e colaborar nas pesquisas utilizando material disponível em abundância na região Oeste do Paraná, a cinza de madeira.

2.1.4 Efeito das adições minerais nas propriedades do concreto

2.1.4.1 Concreto no estado fresco

As adições incorporadas podem trazer diversos benefícios ao produto final. De acordo com Mehta & Aitcin (1990), os seguintes pontos podem ser melhorados na microestrutura do concreto:

- Características reológicas, como coesão e estabilidade melhoram significativamente com a presença dos finos das adições;
- Segmentação dos canais de percolação de água na pasta, reduzindo a exsudação e segregação, conferindo maior homogeneidade da mistura.

Para Carvalho e Figueiredo Filho (2014), a trabalhabilidade depende diretamente, entre outros fatores, da granulometria dos materiais sólidos que compõem a mistura. A presença de finos melhora significativamente as características do concreto fresco.

De acordo com Albuquerque e Lima (2014), as propriedades do concreto no estado plástico são modificadas devido ao aumento da quantidade de materiais finos na massa do concreto, o que faz com que a massa fique unida devido à tensão superficial da água adsorvida na superfície dos materiais finos, tais como a adição mineral.

2.1.4.2 Concreto no estado endurecido

Em função das melhoras observadas no estado fresco, as adições permitem a produção de peças com melhor acabamento, em termos de homogeneidade e solidez, reduzindo o risco de defeitos na peça, como nichos de concretagem.

Um exemplo das propriedades do concreto endurecido é a impermeabilidade, sendo uma característica essencial, quando se estuda estruturas de concretos hidráulicos. Já em estruturas de edificações, não é considerado uma qualidade essencial, sendo de extrema importância, neste caso, as características mecânica e estrutural do concreto (BAUER, 1994).

No concreto endurecido, as características de interesse são as mecânicas, destacando-se as resistências à compressão e à tração (CARVALHO & FIGUEIREDO FILHO, 2014).

A resistência à compressão do concreto pode ser obtida através de ensaio do rompimento de corpo de prova cilíndrico, moldado de acordo com a NBR 5738 e rompido como determina a NBR 5739 (NBR 6118, ABNT 2014).

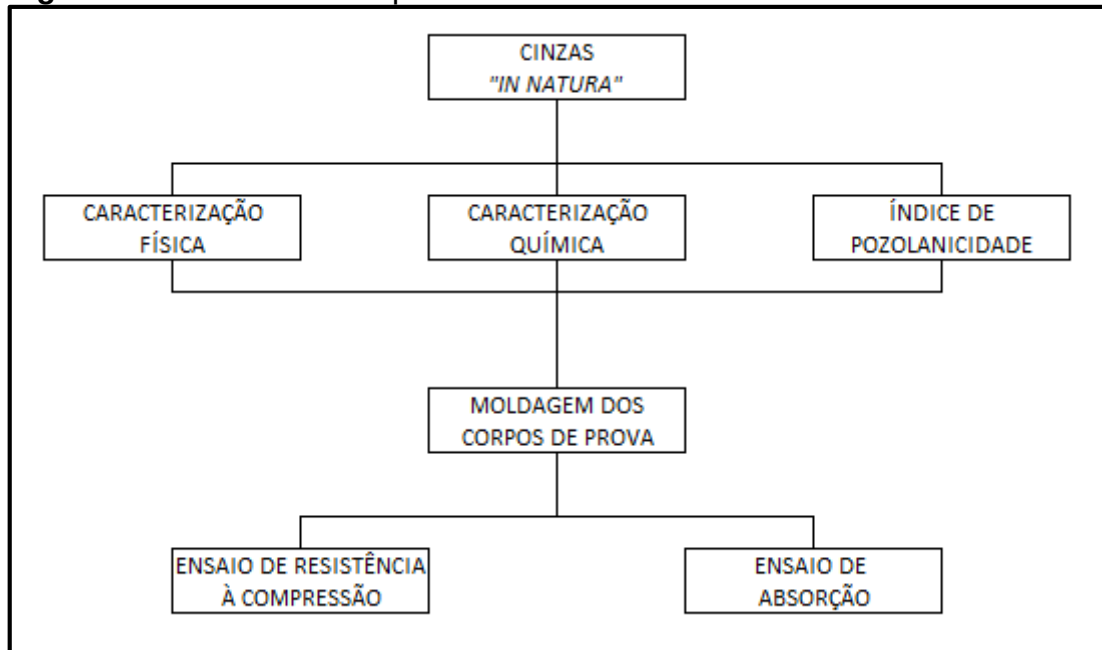
Ainda, de acordo com a NBR 6118 (ABNT 2014), a resistência à tração indireta $f_{ct,sp}$ e a resistência à tração na flexão $f_{ct,f}$ devem ser obtidas em ensaios realizados segundo as normas NBR 7222 (ABNT 2011) e NBR 12142 (ABNT 2010), respectivamente.

CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

O procedimento experimental foi desenvolvido de acordo com o fluxograma contido na Figura 1.

Figura 1: Procedimento experimental desenvolvido.



Fonte: Autor (2017).

3.2 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

A cinza utilizada neste projeto foi coletada em uma empresa localizada no município de Toledo-PR. O material é oriundo da queima em caldeira industrial para o fornecimento de calor às linhas de produção de carnes e embutidos.

Após a coleta do referido material, foram realizados ensaios de caracterização do mesmo e a adoção de um traço de referência para uma resistência à compressão usual. O concreto a ser experimentado teve substituição de parte do cimento da mistura pela cinza coletada em teores de 7%, 14% e 21%.

3.2.1 Análise física das cinzas

3.2.1.1 Granulometria por peneiramento

A distribuição granulométrica do material utilizado neste projeto foi determinada através de ensaio de granulometria por peneiramento, e seguindo as prescrições da NBR 7217– Agregados – Determinação da composição granulométrica (ABNT 1987).

O conjunto de peneiras utilizado para o ensaio de granulometria foi o da série normal, de acordo com a NBR 5734 – Peneiras para ensaio – Especificação (ABNT 1989).

O processo de agitação das peneiras ocorreu utilizando-se o agitador mecânico eletromagnético da marca Bertel.

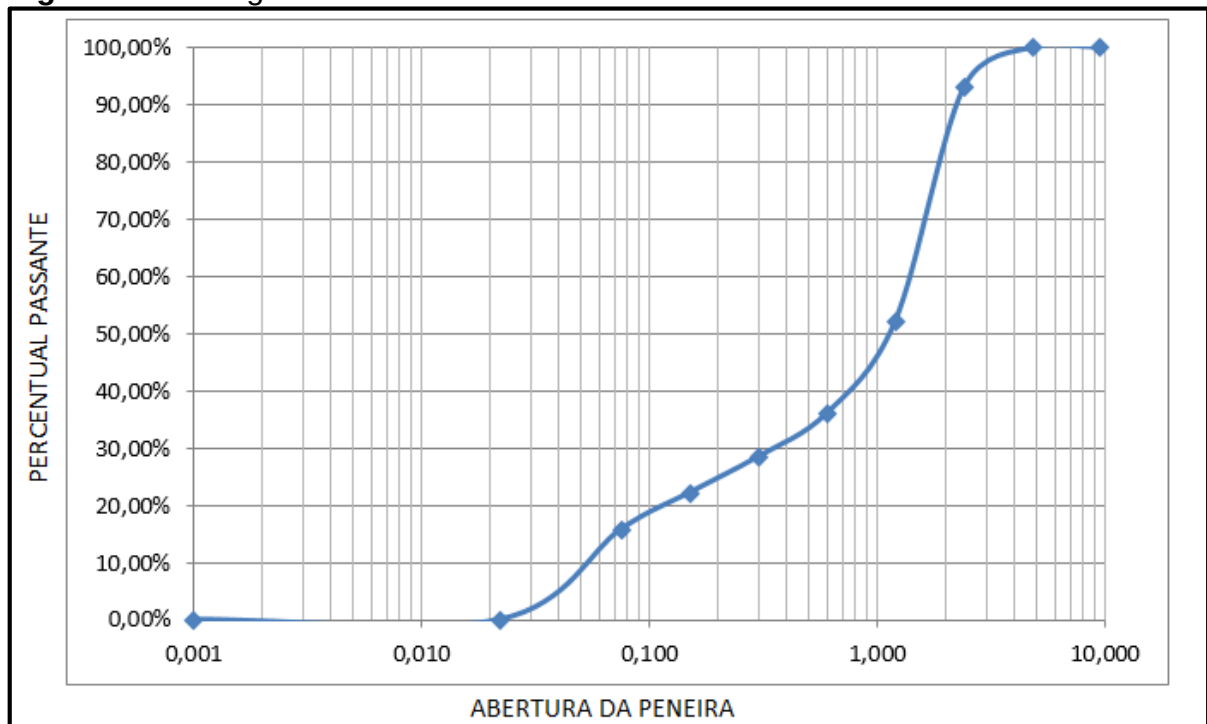
A pesagem do material retido em cada peneira foi realizada em balança de precisão 500g e resolução de 0,1% da massa da amostra. A Tabela 2 apresenta a composição granulométrica de duas amostras ensaiadas. A Figura 2 apresenta a curva granulométrica de duas amostras de cinza ensaiadas.

Tabela 2: Composição granulométrica das duas amostras de cinza ensaiadas.

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA - NBR 7217 - CINZA								
PENEIRAS		1ª DETERMINAÇÃO		2ª DETERMINAÇÃO		Massa retida média (g)	% Retida média	% Retida acumulada
nº	mm	Peso Retido (g)	% Retida	Peso Retido (g)	% Retida			
3/8	9,5	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	4,8	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	2,4	15,12	6,48	17,47	7,57	16,30	7,02	7,02
16	1,2	97,36	41,71	92,25	39,97	94,81	40,84	47,86
30	0,600	35,55	15,23	39,24	17,00	37,40	16,12	63,98
50	0,300	18,08	7,75	17,04	7,38	17,56	7,56	71,54
100	0,150	15,12	6,48	14,00	6,07	14,56	6,27	77,81
200	0,075	15,29	6,55	14,48	6,27	14,89	6,41	84,23
Fundo	0,022	36,92	15,82	36,31	15,73	36,62	15,77	100,00
TOTAL		233,44	100	230,79	100		100,00	452,45
Diâmetro Máximo retido:			2,4mm	Módulo de Finura:			4,52	

Fonte: Autor (2017).

Figura 2: Curva granulométrica das duas amostras de cinza ensaiadas.



Fonte: Autor (2017).

A Figura 3 e Figura 4 ilustram alguns momentos do procedimento de peneiramento e separação das amostras por faixa granulométrica.

Figura 3: Agitador mecânico com as peneiras posicionadas.



Fonte: Autor (2017).

Figura 4: Duas amostras peneiradas.

Fonte: Autor (2017).

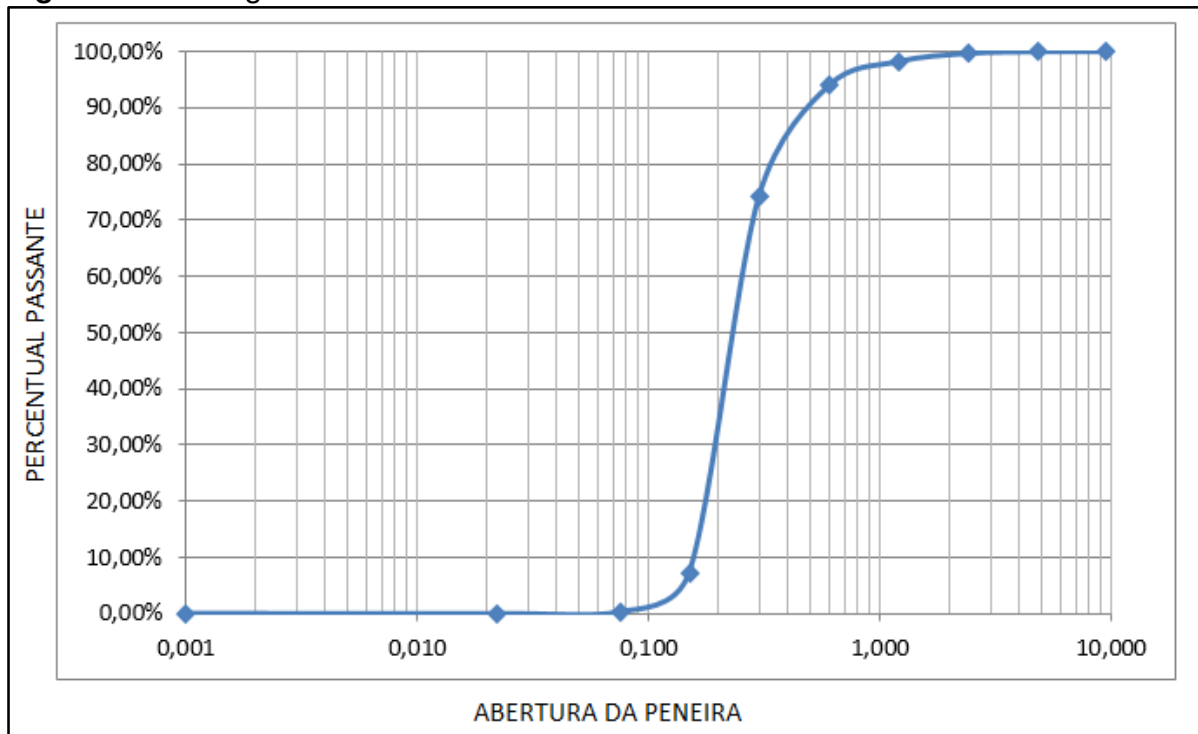
Para a areia utilizada no trabalho, a pesagem do material retido em cada peneira foi realizada também em balança de precisão 500g e resolução de 0,1% da massa da amostra. A Tabela 3 apresenta a composição granulométrica de duas amostras ensaiadas. A Figura 5 apresenta a curva granulométrica de duas amostras de areia ensaiadas.

Tabela 3: Composição granulométrica das duas amostras de areia ensaiadas.

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA - NBR 7217 - AREIA								
PENEIRAS		1ª DETERMINAÇÃO		2ª DETERMINAÇÃO		Massa retida média (g)	% Retida média	% Retida acumulada
nº	mm	Peso Retido (g)	% Retida	Peso Retido (g)	% Retida			
3/8	9,5	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	4,8	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	2,4	1,57	0,31	1,64	0,33	1,61	0,32	0,32
16	1,2	7,04	1,41	7,33	1,47	7,19	1,44	1,76
30	0,600	21,16	4,23	22,27	4,45	21,72	4,34	6,10
50	0,300	97,70	19,54	99,87	19,96	98,79	19,75	25,85
100	0,150	334,10	66,81	334,71	66,91	334,41	66,86	92,71
200	0,075	37,01	7,40	32,92	6,58	34,97	6,99	99,70
Fundo	0,022	1,50	0,30	1,50	0,30	1,50	0,30	100,00
TOTAL		500,08	100	500,24	100		100,00	326,44
Diâmetro Máximo retido:			2,4mm	Módulo de Finura:			3,26	

Fonte: Autor (2017).

Figura 5: Curva granulométrica das duas amostras de areia ensaiadas.



Fonte: Autor (2017).

3.2.1.2 Massa específica através do método do picnômetro.

As cinzas utilizadas neste projeto tiveram suas massas específicas determinadas através do processo conhecido como método do picnômetro.

O ensaio de massa específica foi realizado seguindo as prescrições da DNER-ME 093 (1994) – Solos: determinação da densidade real.

O ensaio foi realizado no Laboratório de Mecânica dos Solos, do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz – FAG.

3.2.1.3 Índice de atividade pozolânica

O ensaio para determinação do índice de atividade pozolânica foi executado conforme prescreve a NBR 5752– Materiais pozolânicos – Determinação do índice de desempenho do cimento Portland aos vinte e oito dias (ANBT 2014). Este ensaio é uma medida direta do grau de pozolanicidade do material por meio da determinação da resistência à compressão simples, conforme a NBR 7215 – Cimento Portland: Determinação da resistência à compressão (ABNT 1996).

3.2.2 Composição química do material

3.2.2.1 Espectrometria por fluorescência de raios X

Método usual para determinação de composição química de materiais em geral. O ensaio baseia-se no princípio de que a absorção de raios X por parte do material provoca excitação nos átomos, que permite a radiação secundária chamada fluorescência. Cada elemento constituinte da amostra emite uma onda com comprimento característico diferente, possibilitando identificar os componentes químicos da amostra.

O ensaio de espectrometria por fluorescência de raios X foi executado no LAMIR – Laboratório de Minerais e Rochas da Universidade Federal do Paraná e seguiu procedimento próprio do laboratório.

3.3 MATERIAIS UTILIZADOS

3.3.1 Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado na confecção dos concretos foi a brita 1, cuja dimensão máxima característica é de 19mm. A Tabela 4 ilustra a zona granulométrica onde se situa tal agregado.

Tabela 4: Limites da composição granulométrica do agregado graúdo.

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada				
	Zona granulométrica $d/D^{1)}$				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
75 mm	-	-	-	-	0 – 5
63 mm	-	-	-	-	5 – 30
50 mm	-	-	-	0 – 5	75 – 100
37,5 mm	-	-	-	5 – 30	90 – 100
31,5 mm	-	-	0 – 5	75 – 100	95 – 100
25 mm	-	0 – 5	5 – 25 ²⁾	87 – 100	-
19 mm	-	2 – 15 ²⁾	65 ²⁾ – 95	95 – 100	-
12,5 mm	0 – 5	40 ²⁾ – 65 ²⁾	92 – 100	-	-

Fonte: NBR 7211 (ABNT 2005).

3.3.2 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado na confecção dos concretos foi a areia média, cuja faixa granulométrica está situada entre 0,3 mm e 1,2 mm. A Tabela 5 ilustra a zona granulométrica onde se situa tal agregado.

Tabela 5: Limites da composição granulométrica do agregado miúdo

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100
NOTAS				
1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.				
2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.				
3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.				

Fonte: NBR 7211 (ABNT 2005).

3.3.3 Aglomerante

O aglomerante empregado na confecção das amostras de concreto para este trabalho foi o Cimento Portland, CPPII-Z.

3.3.4 Adições

A adição utilizada para a confecção dos concretos deste projeto foi a cinza de madeira, e as porcentagens de substituição de cimento por cinza, em volume, foram de 7%, 14% e 21%.

3.4 DOSAGEM DO CONCRETO

3.4.1 Traço de referência

O traço de referência é a proporção de materiais empregados na produção do concreto com 0% de adição de cinzas. Esse concreto serviu como parâmetro de comparação com os concretos com presença de cinzas adicionadas.

O traço de referência utilizado, em massa, foi 1:1,9:2,85 (cimento CP II - Z: areia quartzosa: brita 1 de basalto), fator água cimento 0,46, um traço para concreto convencional de consistência plástica (*slump test* de 100 a 120mm), para uma resistência de 30 MPa e o consumo de cimento de 413Kg/m³. Esse traço foi retirado do trabalho de Meneses (2011). A Tabela 6 apresenta as quantidades utilizadas em cada betonada na execução do concreto.

Tabela 6: Consumo de material para execução dos concretos.

TEOR DE CINZA EM VOLUME (%)	MASSA DE CIMENTO (kg)	MASSA DE AREIA (kg)	MASSA DE BRITA (kg)	MASSA DE ÁGUA (kg)
0%	12,39	23,54	35,31	5,6
7%	11,52	23,54	35,31	5,6
14%	10,66	23,54	35,31	5,6
21%	9,79	23,54	35,31	5,6

Fonte: Autor (2017).

3.5 Corpos de prova

Os corpos de prova foram moldados de acordo com a NBR 5738 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova (ABNT, 2015).

Foram confeccionados corpos de prova cilíndricos com diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm. A moldagem foi realizada no Laboratório de Materiais de Construção Civil do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz - FAG.

Foram moldados 05 (cinco) corpos de prova para cada mistura, sendo adicionadas porcentagens de 0%, 7%, 14% e 21% de cinzas de madeira, totalizando 20 (vinte) corpos de prova. Essas porcentagens são relativas ao volume de cimento do traço de referência. Das 05 (cinco) amostras, 04 (quatro) foram utilizadas para o ensaio de compressão axial e 01 (um) para o ensaio de absorção.

3.5.1 Ensaio realizados

Para a obtenção dos resultados finais do trabalho, foram realizados dois ensaios, a saber:

- Ensaio de absorção por imersão, de acordo com a NBR 9778 - Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica (ABNT 1987);
- Ensaio de rompimento de corpo de prova por compressão axial, de acordo com a NBR 5739 – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos (ABNT 2007).

3.5.1.1 Ensaios de absorção por imersão – procedimento

- Foi determinada a massa de um corpo de prova cilíndrico (10x20) cm ao ar e mantê-la em estufa à temperatura de $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$. A amostra teve sua massa aferida durante o período na estufa com os tempos de 24 horas, 48 horas e 72 horas;
- Após secagem em estufa, a amostra foi resfriada ao ar à temperatura de $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$, e determinada sua massa seca;
- Completada a secagem em estufa e determinada a massa, foi realizada a imersão da amostra em água à temperatura de $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$, durante 72 horas, conforme descrito abaixo:
 - A amostra foi mantida com 1/3 de seu volume imerso nas primeiras 4 horas e 2/3 nas 4 horas subsequentes, sendo completamente imerso nas 64 horas restantes;
- A massa da amostra submersa foi aferida após 24, 48 e 72 horas de imersão. As determinações foram efetuadas após enxugar-se a superfície da amostra com toalha absorvente;
- Após completada a saturação, foi realizada a pesagem em balança de precisão, anotando a massa da amostra saturada com superfície seca;
- O teor de umidade, em porcentagem, foi determinado através da Equação 1:

$$W = \left(\frac{B-A}{A} \right) \times 100 \quad (1)$$

Onde:

W : Teor de umidade, em %;

A : Massa da amostra seca em estufa, em g;

B : Massa da amostra, saturada com superfície seca, com temperatura de (23 ± 2) °C, em g.

3.5.1.2 Ensaios de rompimento de corpo de prova por compressão axial – procedimento

- Foi determinado o diâmetro e a altura do corpo de prova cilíndrico, com precisão de 0,1 mm, e calculado a área de seção transversal do mesmo;
- Os corpos de prova foram rompidos aos vinte e oito dias de idade.
- Após a limpeza dos pratos do equipamento e das faces dos corpos de prova, os mesmos foram posicionados verticalmente no equipamento;
- O carregamento foi aplicado obedecendo a uma taxa de variação constante, sem choques e igual a $(0,45 \pm 0,15)$ MPa/s;
- O carregamento não foi interrompido durante o processo;
- A resistência à compressão do corpo-de-prova foi calculada pela Equação 2:

$$f_c = \frac{4F}{\pi \times D^2} \quad (2)$$

Onde:

f_c : Resistência à compressão, em megapascals;

F : Força máxima alcançada, em Newtons;

R : Diâmetro do corpo-de-prova, em milímetros;

Após a conclusão dos trabalhos de moldagem e rompimento dos corpos de prova, foi determinado qual dos teores experimentados foi o mais adequado para emprego na produção de concreto com adição da cinza.

CAPÍTULO 4

4.1 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

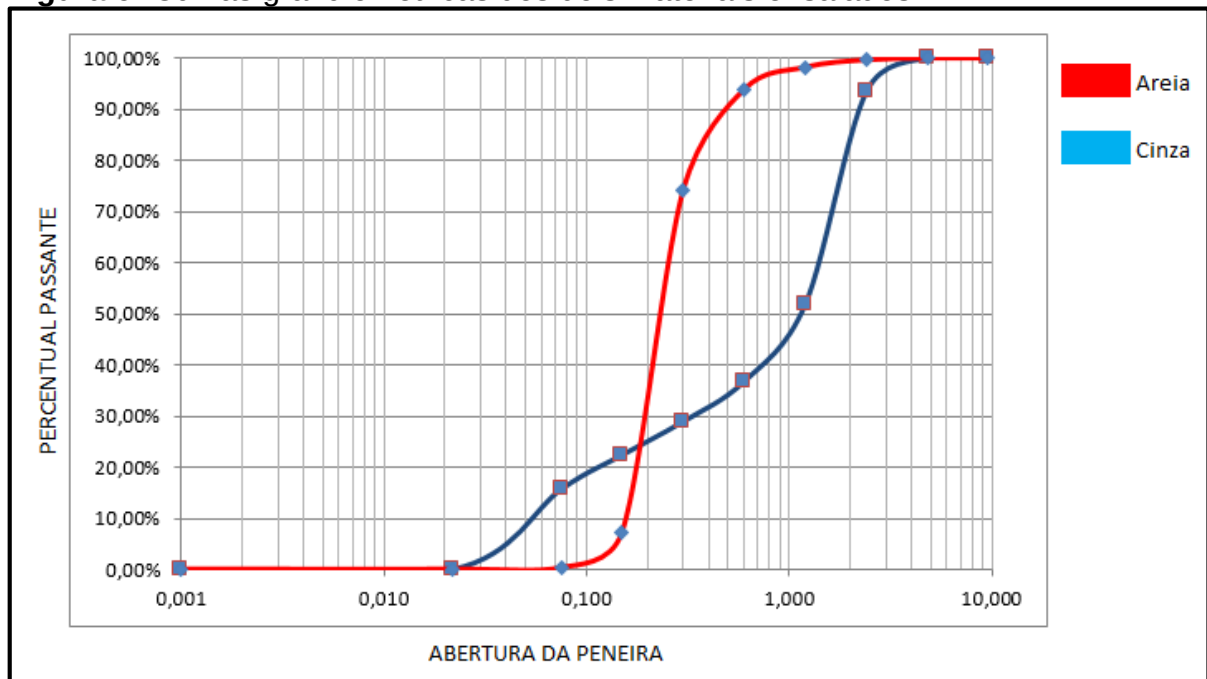
Após a obtenção dos resultados dos ensaios, os mesmos foram processados e tratados adequadamente para a apresentação em formato de tabelas e gráficos separadamente para cada ensaio.

4.1.1 Resultados quanto à caracterização física

4.1.1.1 Curva granulométrica da cinza e da areia

Notou-se uma grande variação da composição granulométrica entre as cinzas e a areia ensaiadas, algo já esperado devido a finura visível das cinzas. A Figura 6 ilustra a diferença entre as curvas dos materiais.

Figura 6: Curvas granulométricas dos dois materiais ensaiados.



Fonte: Autor (2017).

4.1.1.2 Massa específica da cinza e da areia

O ensaio de massa específica da cinza, de acordo com o método do picnômetro, revelou um valor de 1,393kg/dm³, ou 1.939kg/m³.

Para o agregado miúdo (areia) o ensaio de massa específica pelo frasco de Le Chatelier apresentou resultado de 2,664kg/dm³, ou 2.664kg/m³.

4.1.2 Resultados quanto à caracterização química

4.1.2.1 Espectrometria por fluorescência de raio X

Para a caracterização química do material, foi realizada uma análise química semiquantitativa por espectrometria de fluorescência de raios X (FRX). Esta análise evidencia as concentrações químicas que formam a estrutura da amostra de cinza. O ensaio foi realizado no LAMIR – Laboratório de Minerais e Rochas da Universidade Federal do Paraná. Destaca-se a grande quantidade de Óxido de Cálcio (43,8%) na massa da amostra. Esse composto químico é utilizado largamente na indústria de cimentos. Também é importante observar o baixo teor de sílica (SiO₂), que ficou em torno de 1,2%. De acordo com a ABNT NBR 12653/1992, um material deve apresentar 65% desse composto para ser considerado uma pozolana natural.

O procedimento foi realizado utilizando-se Espectrômetro de Fluorescência de Raios X – marca PANalytical, modelo Axios Max. A perda ao fogo foi determinada através de aquecimento ao forno à 1.000° durante um período de 2 horas. A Tabela 7 apresenta todos os componentes encontrados na amostra.

Tabela 7: Resultado da análise química semiquantitativa.

Amostra 191/17	CaO (%)	K ₂ O (%)	MnO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	P ₂ O ₅ (%)	MgO (%)	Cl (%)	SiO ₂ (%)
	43,8	10,3	2,5	2,4	2,1	1,3	1,3	1,2
	SO ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	SrO (%)	Na ₂ O (%)	BaO (%)	Rb ₂ O (%)	P.F. (%)
	0,8	0,6	0,3	0,2	0,1	< 0,1	< 0,1	32,98

Fonte: Autor (2017).

4.1.3 Resultados quanto à caracterização mecânica

4.1.3.1 Índice de atividade pozolânica

De acordo com a NBR 5752 (ABNT, 2014) são considerados materiais com potencial pozolânico aqueles que atingirem desempenho igual ou superior a 75% da resistência da amostra de referência. Os resultados são apresentados na Tabela 8.

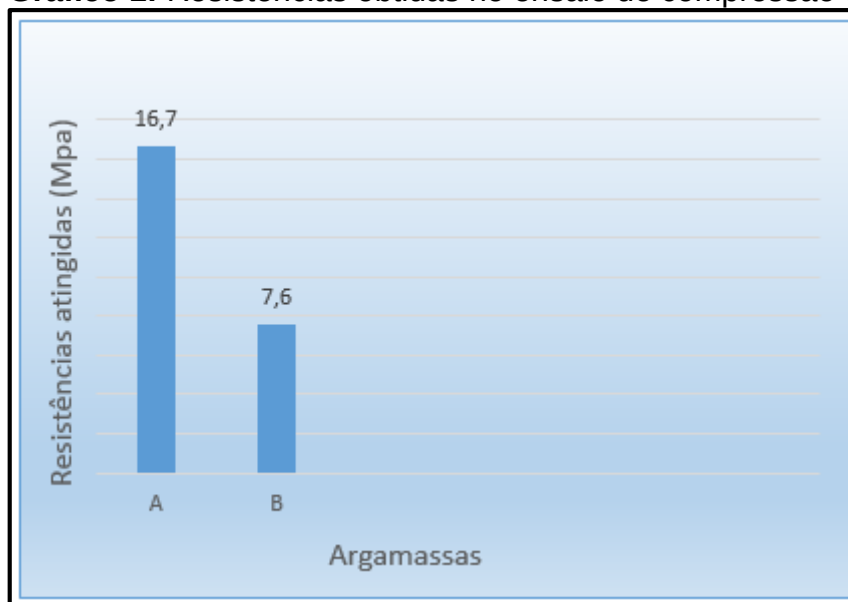
Tabela 8: Resultados do rompimento dos Corpos de Prova de argamassa.

ARGAMASSA	RESISTÊNCIAS OBTIDAS						fck (Mpa)
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	
A	16,4	13,4	13,4	15,5	11,7	13,2	16,4
B	7,6	6,7	7,1	6,8	6,8	5	7,6

Fonte: Autor (2017).

Com base nos dados especificados na Tabela 8 é possível observar no Gráfico 1 a variação de resistência.

Gráfico 1: Resistências obtidas no ensaio de compressão de argamassa.



Fonte: Autor (2017).

A partir da análise do Gráfico 2 é possível visualizar as resistências obtidas para cada teor de adição das cinzas, em MPa, para corpos de prova cilíndricos dimensões 5x10 cm. Também é possível perceber que o desempenho da argamassa

“B”, que recebeu o material analisado, ficou em 46,34% da resistência da argamassa “A”, sem adição. Esse resultado tem relação direta com o baixo teor de sílica observado na análise química (1,2%).

Os resultados dos ensaios apontam para uma perda de, aproximadamente, 55% de resistência à compressão dos corpos de prova com adição de cinza, deixando claro que o material não apresenta atividade pozolânica satisfatória.

4.1.3.2 Variação da resistência característica à compressão

O objetivo geral do projeto foi estudar a viabilidade do uso das cinzas como adição, sem que haja perda da resistência aos esforços de compressão no concreto. Para tanto, foi feita uma comparação entre os resultados finais dos corpos de prova com adição, usando como referência os resultados dos corpos de prova com 0% de adição.

A Tabela 9 apresenta os resultados dos ensaios de resistência à compressão para as amostras estudadas.

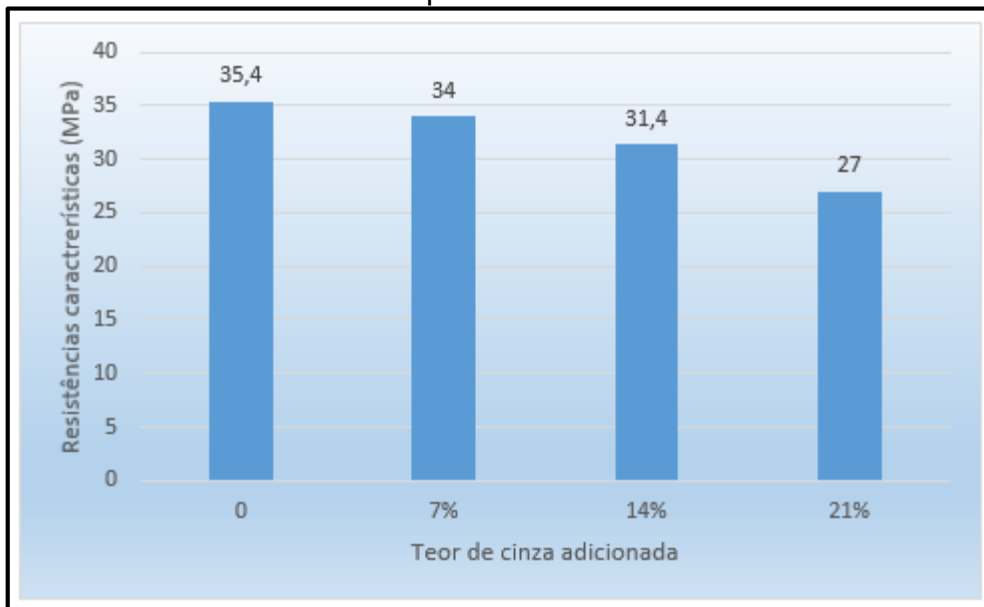
Tabela 9: Resultados do rompimento dos Corpos de Prova de concreto.

TEOR DE CINZA EM VOLUME (%)	RESISTÊNCIAS OBTIDAS				fck (Mpa)
	CP1	CP2	CP3	CP4	
0%	31,7	35,9	32,4	32,6	35,9
7%	32,2	34	32,3	32	34
14%	30,7	28,4	30,7	31,4	31,4
21%	27	25,3	26,9	25,3	27

Fonte: Autor (2017).

Com base nos dados especificados na Tabela 8 é possível observar no Gráfico 2 a variação de resistência entre as amostras.

Gráfico 2: Resistência à compressão do concreto.



Fonte: Autor (2017).

A partir da análise do Gráfico 2 é possível visualizar as resistências obtidas para cada teor de adição das cinzas, em MPa. Também é possível perceber a variação da resistência em função da porcentagem de adição desse material.

O traço utilizado para o presente trabalho previa uma resistência característica de 30 MPa. Nota-se, no entanto, que a resistência efetivamente obtida para esse traço foi de 35,4 MPa. Neste sentido tem-se, para adição de 7% de cinza, uma redução de 3,95% da resistência, apresentando resistência de 34MPa. Com 14% de adição a resistência foi reduzida em 11,30% e com 21% de adição a resistência teve redução de 23,73%.

Em Vaske (2012), que utilizou as cinzas do coletor de uma caldeira fumotubular, os resultados apresentaram um incremento da ordem de 15% na resistência com adição de 15% de cinzas de eucalipto. Em seu trabalho, Vaske obteve por análise química um percentual de sílica de 3,45% em média para suas amostras. Baixo para os 65% observados pela norma, porém muito mais alto do que os resultados encontrados neste trabalho, que ficou em 1,2% Para De Paula (2008), que experimentou a utilização de cinza do bagaço de cana em argamassa, o material pode ser utilizado em teores de até 20% sem apresentar perda significativa de resistência à compressão.

4.1.3.3 Capacidade de absorção

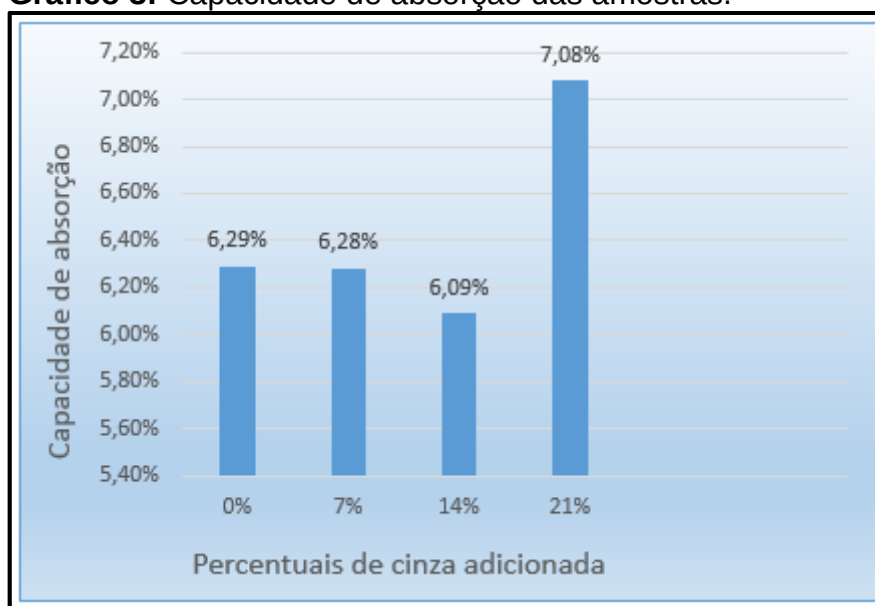
O ensaio de capacidade de absorção teve o objetivo de determinar a capacidade que um concreto tem de reter água em seu interior. Nota-se que as amostras que apresentaram menor abatimento do tronco de cone (*slump test*) também apresentaram percentuais mais baixos de absorção. Os resultados obtidos são apresentados através da Tabela 10 e do Gráfico 3.

Tabela 10: Capacidade de absorção das amostras.

TEOR DE CINZA EM VOLUME (%)	MASSA SECA (g)	MASSA ÚMIDA (g)	MASSA DE ÁGUA (g)	SLUMP TEST (cm)	CAPACIDADE DE ABSORÇÃO (%)
0,0%	3688	3920	232,0	9,5	6,29%
7,0%	3660	3890	230,0	8,0	6,28%
14,0%	3696	3921	225,0	8,0	6,09%
21,0%	3604	3859	255,0	10,0	7,08%

Fonte: Autor (2017).

Gráfico 3: Capacidade de absorção das amostras.



Fonte: Autor (2017).

De acordo com o que se pode visualizar no Gráfico 3, percebe-se que a adição de 7% de cinza não alterou significativamente a capacidade de absorção do concreto. O teor de 21% de cinza provocou um aumento da absorção para 7,08%. Interessante notar que, com o teor de cinza em 14%, a capacidade de absorção do concreto ficou inferior à do concreto de referência.

CAPÍTULO 5

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O material utilizado com expectativa de viabilidade apresentou decremento em sua resistência da ordem de 4% com adição de 7% de cinzas. Em trabalhos similares, com o de Vaske (2012), obtiveram-se resultados de melhora da resistência dos corpos de prova ensaiados. O mesmo não ocorreu no presente trabalho. Isso mostra que as cinzas não colaboraram com aumento da resistência a compressão do concreto, tornando-a inviável para utilização com essa finalidade.

Em relação ao teor de absorção, foi possível perceber que com 14% de cinzas adicionadas, a absorção foi menor do que o teor do concreto de referência, apontando para uma característica de redução da capacidade de absorção pela adição das cinzas. Também notou-se que baixos resultados no ensaio de abatimento do tronco de cone (*slump test*) coincidiram com baixa permeabilidade do concreto ensaiado.

Para o índice de atividade pozolânica, o material não se enquadra nas exigências normativas vigentes, pois não apresentou o desempenho mínimo determinado pela norma.

Com base nos resultados dos estudos apresentados e, considerando que o objetivo era saber se o material poderia ser utilizado como adição, melhorando a característica de resistência a compressão do concreto, é possível afirmar que a cinza ensaiada não é viável para essa finalidade.

CAPÍTULO 6

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade da adição de cinzas provenientes de caldeira industrial, formadas a partir da queima de madeiras variadas. Considerando que a segurança das estruturas de concreto depende diretamente da qualidade da mistura utilizada, podem-se propor várias formas de pesquisa complementares, desde a busca de novos materiais, passando pela formulação de normas técnicas, chegando a processos de execução mais seguros. Vários trabalhos podem ser desenvolvidos neste sentido.

No campo dos materiais, alguns aspectos que não fizeram parte do escopo dessa pesquisa podem compor novos estudos, sugere-se:

- Realizar um estudo utilizando cinzas de uma única madeira, a fim de verificar a influência de uma única espécie na mistura;
- Realizar estudos com porcentagens diferentes, reduzindo o intervalo entre as mesmas a fim de encontrar outras opções de dosagem, possibilitando definir um teor ideal de substituição de cimento por cinza;
- Avaliar a viabilidade de utilização desse material, ou de outro similar, para adição em concreto auto-adensável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. **Guia básico de utilização de cimento Portland**. São Paulo. ABCP, 2002.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 23**. Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2000.

_____. **NBR 5738**. Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 6118**. Projeto de estruturas de concreto - procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 7211**. Agregados para concreto - especificação. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 10004**. Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 11172**. Aglomerantes de origem mineral. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 12653**– Materiais pozolânicos. Rio de Janeiro, 1992.

ALBUQUERQUE, T.R.O, LIMA, N.L.A. **Adições minerais ao concreto: melhores propriedades, maior economia e mais sustentabilidade**. *Revista Interdisciplinar da Universidade Veiga de Almeida*. Rio de Janeiro, RJ. 59f. 2014.

ALLEN, T. **Particle Size Measurement**, 4^a edition, London: Chapman and Hall, 1993.

ALVES, S. M. S. **Desenvolvimento de compósitos resistentes através da substituição parcial do cimento por resíduo da indústria cerâmica**. Universidade Federal da Paraíba. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). João Pessoa, 2002.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, “ACI Committee 116.R-00. “Cement and concrete terminology”. **ACI Manual of Concrete Practice, Part 1**, Detroit: American Concrete Institute, 2002, 73 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C 618: **Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw Calcined Natural Pozzolan For Use in Concrete**. Philadelphia, 2008.

BARSOUM, M. W., GANGULY A., **Microstructural Evidence of Reconstituted Limestone Blocks in the Great Pyramids of Egypt**. Journal American Ceramic Society, 2006.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de Construção: 5.ed**. Rio de Janeiro: ABDR Afiliada, 1994. v.1.

BELL, Raquel Alves de Oliveira. **Demanda de lenha para secagem de grãos no Estado do Paraná**. Curitiba: UFPR, 2012.

BRASIL. Câmara dos Deputados. **Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010. 2ª revisão**. Brasília: 2012.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. São Carlos: EdUFSCAR, 2014.

CORDEIRO, L. N. P. **Análise da variação do índice de amorfismo da cinza de casca de arroz sobre atividade pozolânica**. 2009. 98f. Dissertação (mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.

DALL MOLIN, D.C.C. **Adições minerais para concreto**. In: Concreto: ensino, pesquisa e reutilização. IBRACON. São Paulo, 2005.

DE PAULA, Marcos O. Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB. 5f. 2008.

DNER-ME 093/94 – **Solos: determinação da densidade real**. Brasília, 1994.

ESTADO DO PARANÁ. Instituto Ambiental do Paraná. **Inventário estadual de resíduos sólidos industriais do estado do Paraná**. Relatório jan. 2004/maio 2009.

ESTADO DO PARANÁ. Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Anuário Estatístico do Estado do Paraná**. Relatório 2014.

FREITAS, J. C., CAO VILA, L. **Obtenção e caracterização de peças porosas de alumina obtidas por gelatinização**. 2014. 30f. Dissertação (graduação em Engenharia Química). Universidade Federal de Alfenas, MG. Poços de Caldas, 2014.

HILDEBRAND, H. **Refractive Index Considerations in Light Scattering Particle Size Measurements in Advances in Process Control Measurements for the Ceramic Industry**, A. Jillavenkatesa and G. Onoda, ed., American Ceramic Society, Westerville, OH p. 379, 1999 apud JILLAVENKATESA, A.; DAPKUNAS S. J.; LUM L.H. GOETZEL, G. C. Particle Size Characterization, NIST Recommended Practice guide - Special Publication 960-1, Washington, 2001.

JILLAVENKATESA, A.; DAPKUNAS S. J.; LU M L.H. GOETZEL, G. C. **Particle Size Characterization, NIST Recommended Practice guide - Special Publication 960-1**, Washington, 2001.

LEAL, G.C.S.G; FARIAS, M.S.S; ARAÚJO, A.S. (2008). **O processo de industrialização e seus impactos no meio ambiente urbano**. Qualitas, São Paulo, 2008.

LIMA, Luis G. **Caracterização Geoquímica, Mineralógica, Termogravimétrica, e por Espectrometria de Infravermelho de Argilominerais Representativos da**

Porção Central da Província Borborema. Geochimica Brasiliensis. v. 25, n. 1, 2011. Disponível em: <<http://www.geobrasiliensis.org.br/ojs/index.php/geobrasiliensis/issue/view/48>>. Acesso em: 15 out. 2016.

MASSAZZA, F. **Pozzolana and Pozzolanic Cements.** In: Hewlett, P. C. (ed.), Lea's Chemistry of Cement and Concrete, 4 th edition, Arnold Publishers, London, 1998.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. (2008). **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** São Paulo-SP. IBRACON, 674 p.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. (2008). **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** Pini, 1994

MEHTA, P. K.; AITCIN, P.C. Principles underlying production of High-Performance Concrete. **Cement, Concrete e Aggregates**, Philadelphia: ASMT. v12, n.2, p.70-78, 1990.

MENESES, Ilzinete Andrade. **Avaliação de concreto com adição de fibras de pet submetido a altas temperaturas.** 2011. 90f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2011.

MORAES, Regis da Costa. **Efeitos físico e pozolânico das adições minerais sobre a resistência mecânica do concreto.** 2001. 178f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria, RS. Santa Maria, 2001.

MOURA, Maria José; FIGUEIREDO, Maria Margarida. **Aplicação das Técnicas de Picnometria de Gás e de Porosimetria de Mercúrio à Caracterização da Madeira de E. globulus.** Silva Lusitana, Lisboa, v. 2, n. 10, p.207-216, jun. 2002.

PAPINI, Claudemir J. **Análise granulométrica de pós metálicos por difração de laser via seca.** 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Foz do Iguaçu, 2006.

PEDROSO, Fábio Luis. **Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem.** Concreto e construções. Ibracon. São Paulo, 2009.

PETRUCCI, Eladio G. R. **Concreto de cimento Portland.** Ed. revisada. São Paulo. Globo, 1998.

PNUD. **Educação Ambiental na Escola e na Comunidade.** Brasília: Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento/ONU, 1998.

BRASIL, **Política nacional de resíduos sólidos.** Lei no 12.305/2010. Brasília, 2010.

POHL, M.C. **Light Scattering, ASM Handbook**, v.I, p. 250-255,1998.

BRASIL, **Resolução nº 313, de 29 de outubro de 2002.** Diário Oficial da União, Brasília, 22 nov. 2002.

RESENDE, Domingos Sávio de. **Estudo do efeito da incorporação de cinzas de cavaco de eucalipto como material cimentício suplementar**. 2013. 165f. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais). Programa de pós-graduação. Faculdade Estadual de Minas Gerais. Ouro Preto.

SOUZA, R.S; SILVA, R.J. **A geração de resíduos industriais e sua destinação**. Departamento de Produção - Escola Federal de Engenharia de Itajubá, 1996.

SCHETTINO, Stanley. **A geração de resíduos industriais e sua destinação**. Anais da X Semana de Estudos Florestais e I Seminário de Atualização Florestal – Inicentro. Curitiba, 1996.

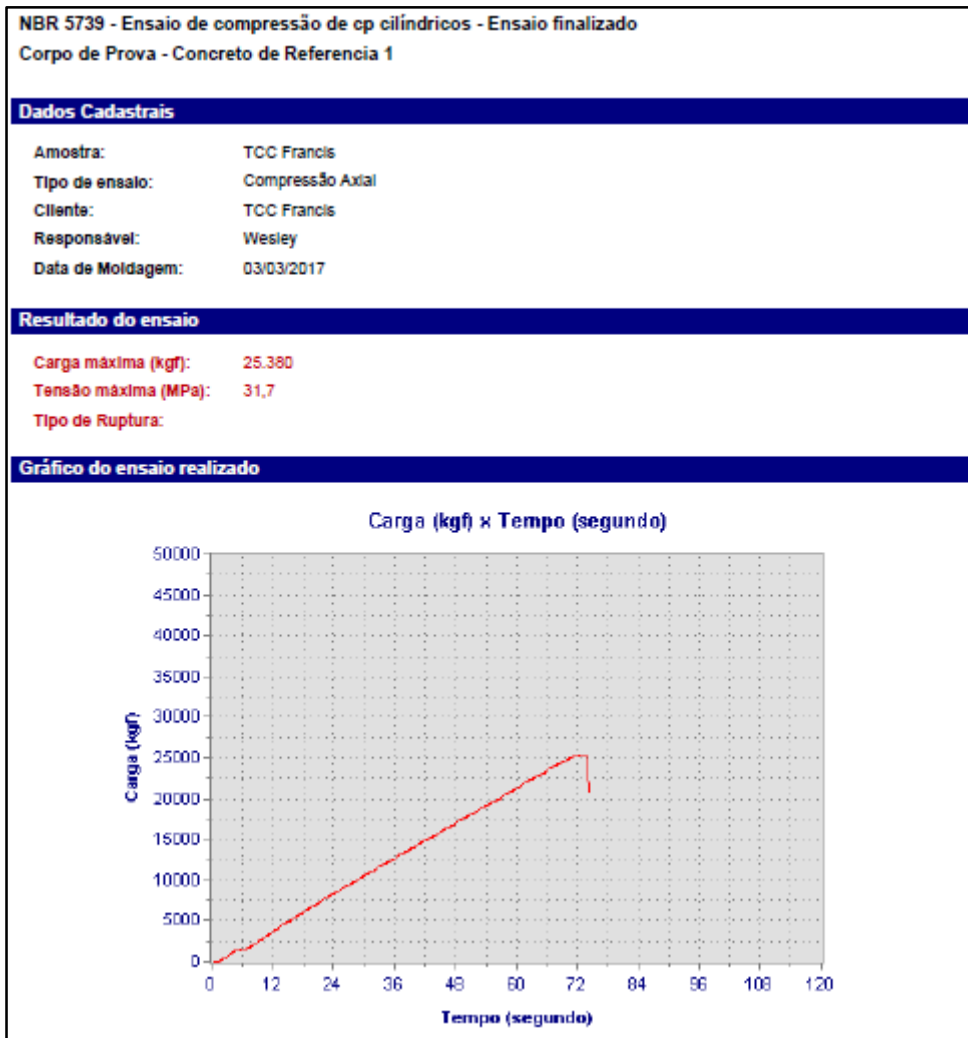
VALLE, C.E. (1995); **“Qualidade Ambiental: Como Ser Competitivo Protegendo o Meio Ambiente: (como se preparar para as Normas ISO 14000) ”**; São Paulo - Pioneira Ed.

VASKE, Nei Ricardo. **Estudo preliminar da viabilidade do aproveitamento da cinza proveniente de filtro multiciclone pela combustão de lenha de eucalipto em caldeira fumotubular como adição ao concreto**. 2012. 325f. Tese (Doutorado em Engenharia). UFRGS. Porto Alegre, 2012.

ZANTA, V. M., FERREIRA, C. F. A. **Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos**. In: CASTILHOS JUNIOR, A. B. (Coordenador). **Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro Sustentável para Municípios de Pequeno Porte**. 1ª ed. São Carlos, SP: RiMa Artes e textos, v.1, p. 1-18, 2003.

ANEXOS

ANEXO 1: Laudo do ensaio de rompimento do concreto de referência, CP1.



ANEXO 2: Laudo de rompimento do concreto de referência, CP2.

NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado

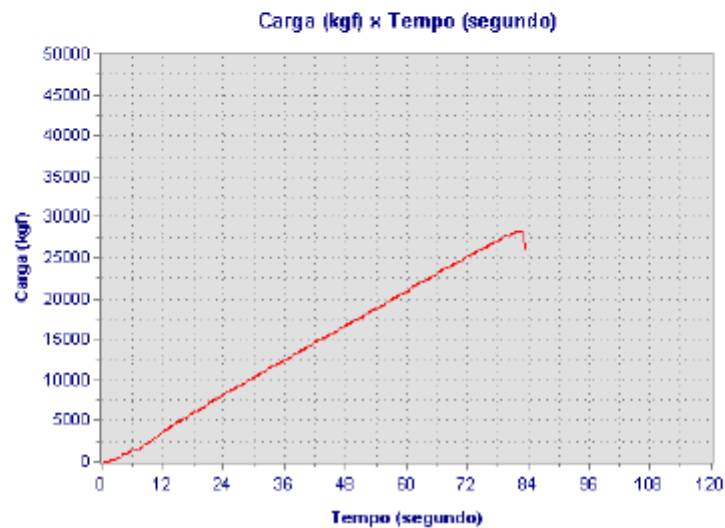
Corpo de Prova - Concreto de Referência 2

Dados Cadastrais

Amostra: TCC Francis
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente: TCC Francis
Responsável: Wesley
Data de Moldagem: 03/03/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 28.190
Tensão máxima (MPa): 35,9
Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado

ANEXO 3: Laudo de rompimento de concreto de referência, CP3

NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado

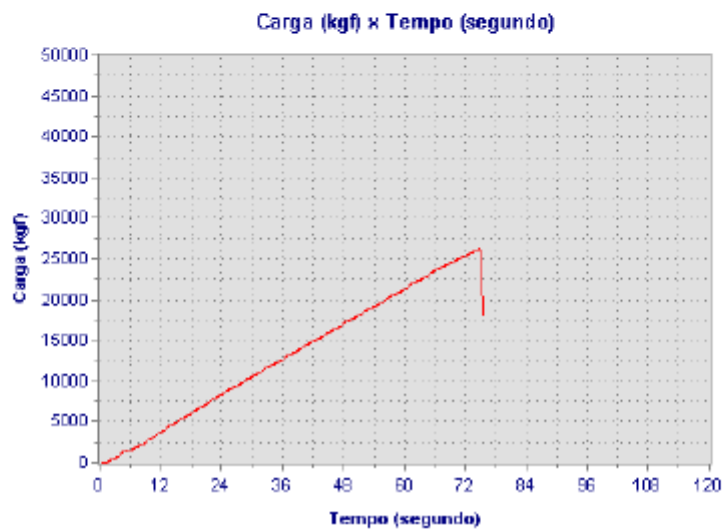
Corpo de Prova - Concreto de Referência 3

Dados Cadastrais

Amostra: TCC Francis
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente: TCC Francis
Responsável: Wesley
Data de Moldagem: 03/03/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 25.960
Tensão máxima (MPa): 32,4
Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado

ANEXO 4: Laudo de rompimento de concreto de referência, CP4.

NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado

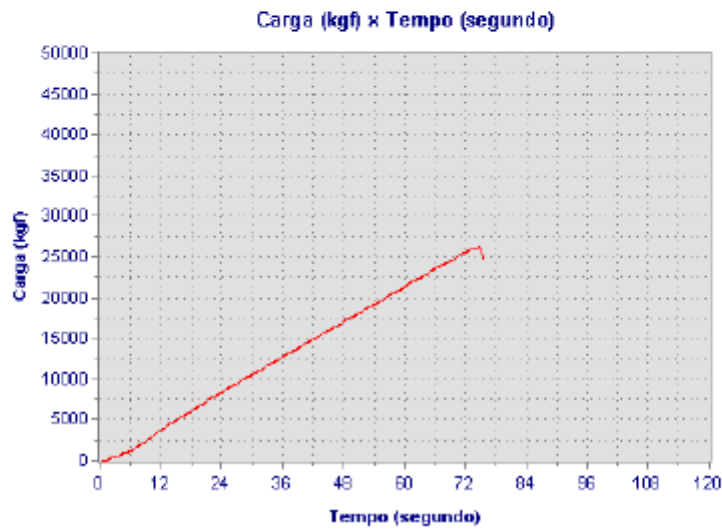
Corpo de Prova - Concreto de Referência 4

Dados Cadastrais

Amostra: TCC Francis
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente: TCC Francis
Responsável: Wesley
Data de Moldagem: 03/03/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 26.090
Tensão máxima (MPa): 32,6
Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado

ANEXO 5: Laudo de rompimento de concreto com 7% de adição, CP1.

NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado

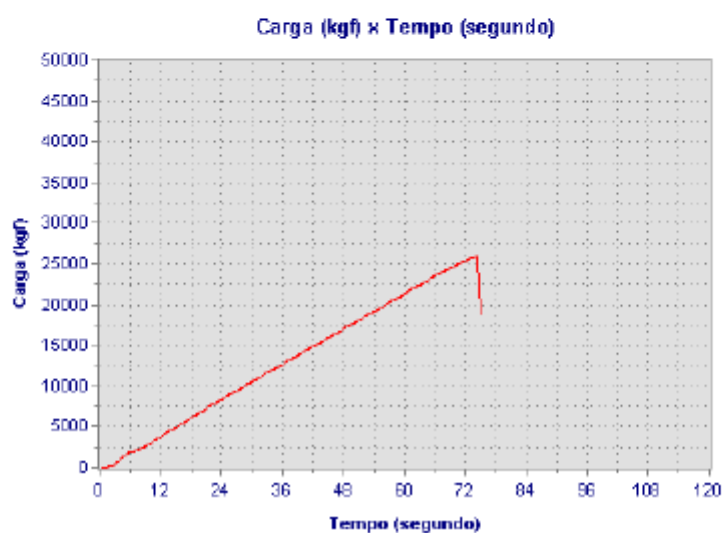
Corpo de Prova - 7% de adição

Dados Cadastrais

Amostra: TCC Francis
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente: TCC Francis
Responsável: Wesley
Data de Moldagem: 03/03/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 25.760
Tensão máxima (MPa): 32,2
Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado

ANEXO 6: Laudo de rompimento de concreto com 7% de adição, CP2.

NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado

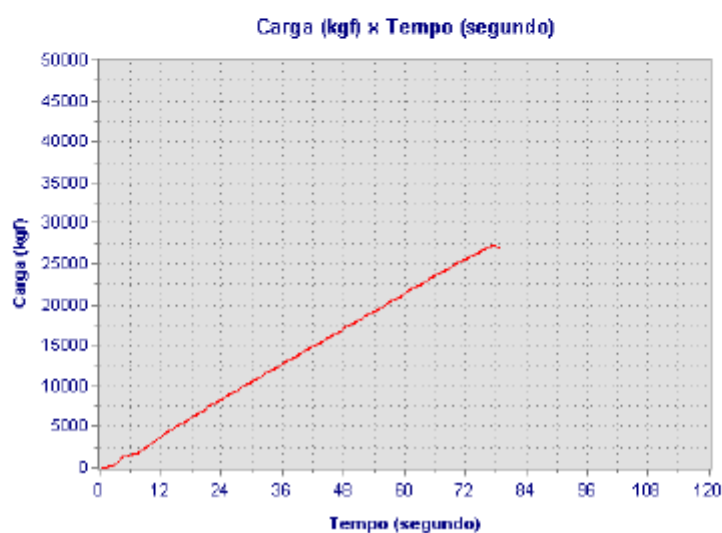
Corpo de Prova - 7% de adição 2

Dados Cadastrais

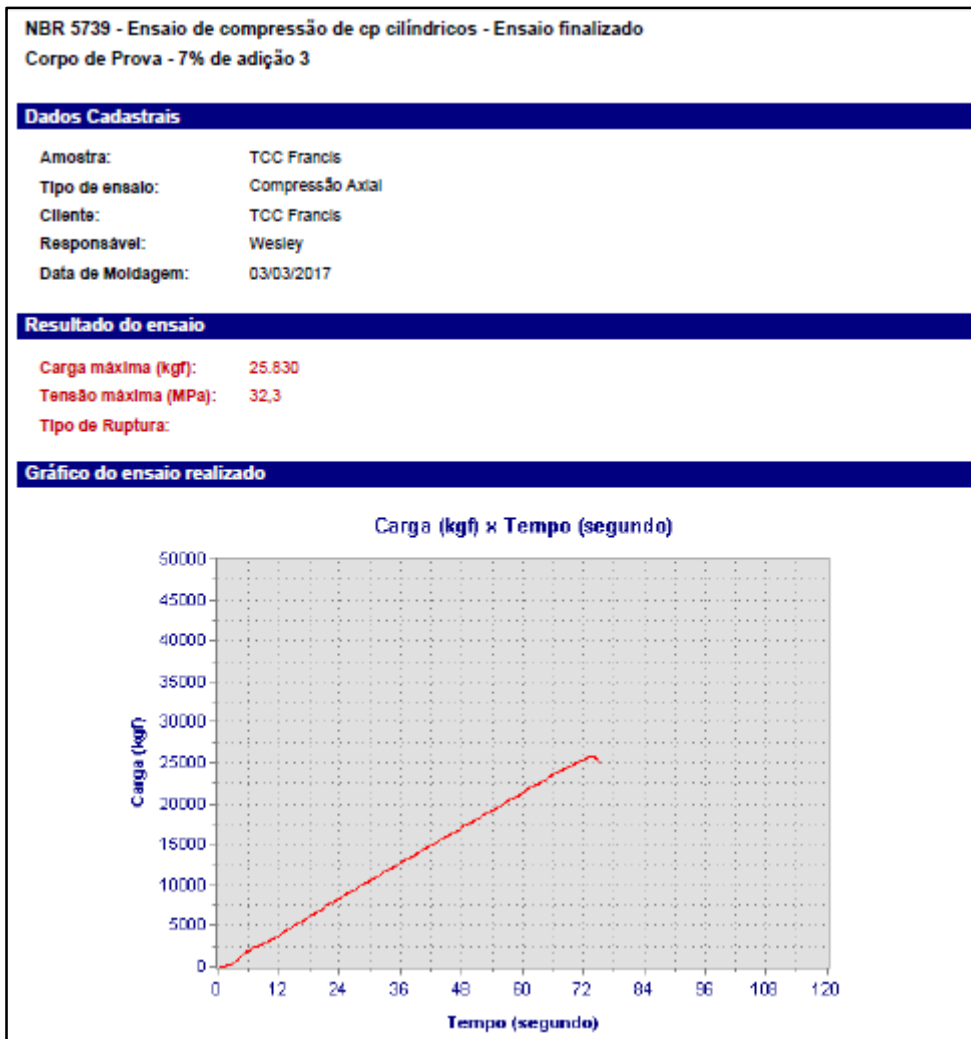
Amostra: TCC Francis
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente: TCC Francis
Responsável: Wesley
Data de Moldagem: 03/03/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 27.240
Tensão máxima (MPa): 34,0
Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado

ANEXO 7: Laudo de rompimento de concreto com 7% de adição, CP3.



ANEXO 8: Laudo de rompimento de concreto com 7% de adição, CP4.

NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado

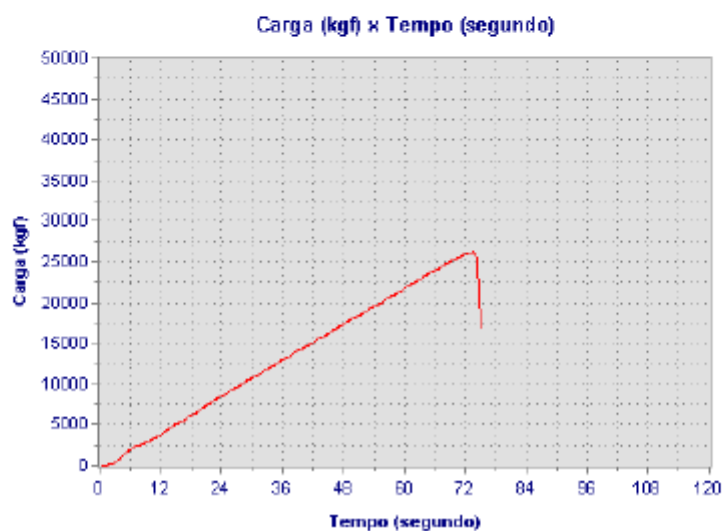
Corpo de Prova - 7% de adição 4

Dados Cadastrais

Amostra: TCC Francis
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente: TCC Francis
Responsável: Wesley
Data de Moldagem: 03/03/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 26.180
Tensão máxima (MPa): 32,0
Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado

ANEXO 9: Laudo de rompimento de concreto com 14% de adição, CP1.

NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado

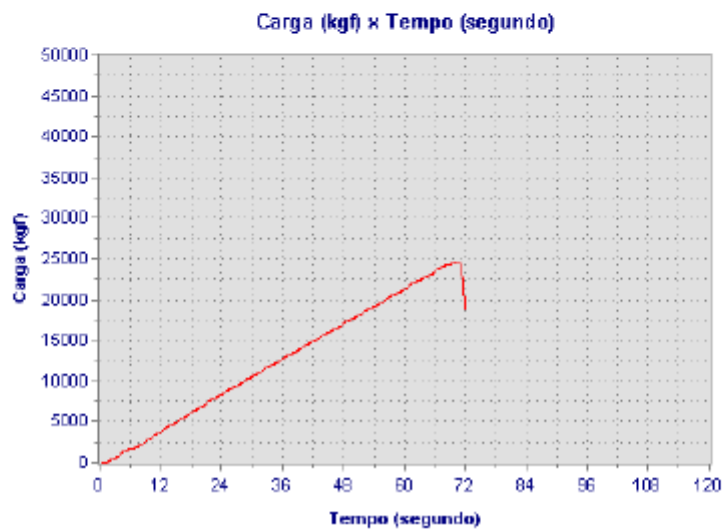
Corpo de Prova - 14% de adição 1

Dados Cadastrais

Amostra: TCC Francis
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente: TCC Francis
Responsável: Wesley
Data de Moldagem: 03/03/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 24.560
Tensão máxima (MPa): 30,7
Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado

ANEXO 10: Laudo de rompimento de concreto com 14% de adição, CP2.

NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado

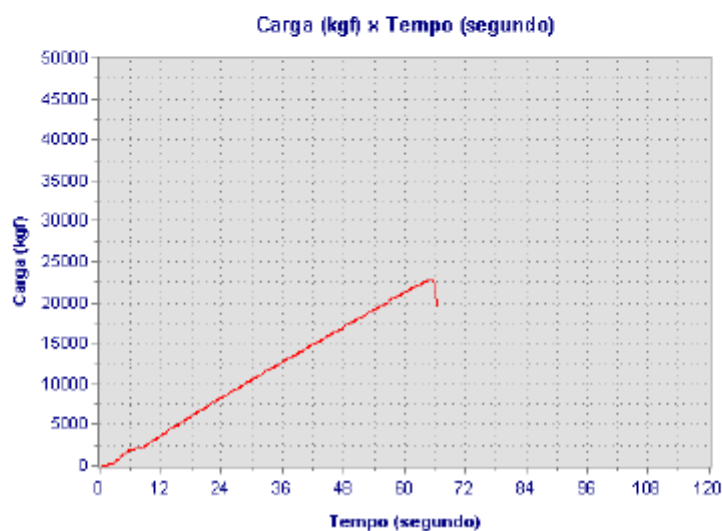
Corpo de Prova - 14% de adição 2

Dados Cadastrais

Amostra: TCC Francis
 Tipo de ensaio: Compressão Axial
 Cliente: TCC Francis
 Responsável: Wesley
 Data de Moldagem: 03/03/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 22.720
 Tensão máxima (MPa): 28,4
 Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado

ANEXO 11: Laudo de rompimento de concreto com 14% de adição, CP3.

NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado

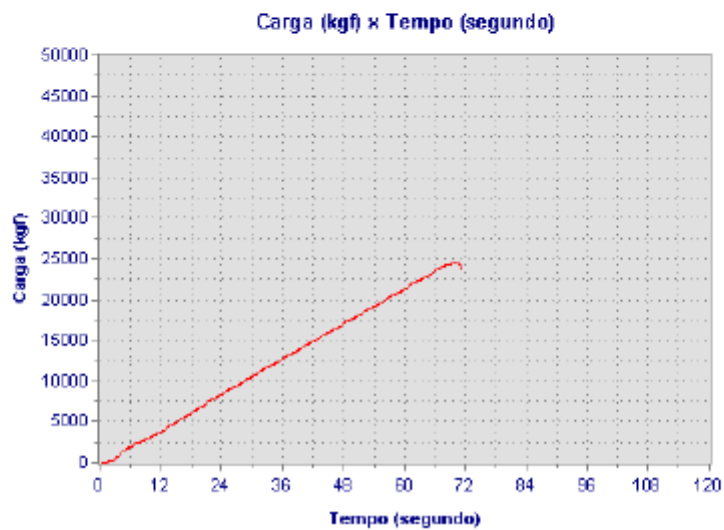
Corpo de Prova - 14% de adição 3

Dados Cadastrais

Amostra: TCC Francis
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente: TCC Francis
Responsável: Wesley
Data de Moldagem: 03/03/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 24.580
Tensão máxima (MPa): 30,7
Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado

ANEXO 12: Laudo de rompimento de concreto com 14% de adição, CP4.

NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado

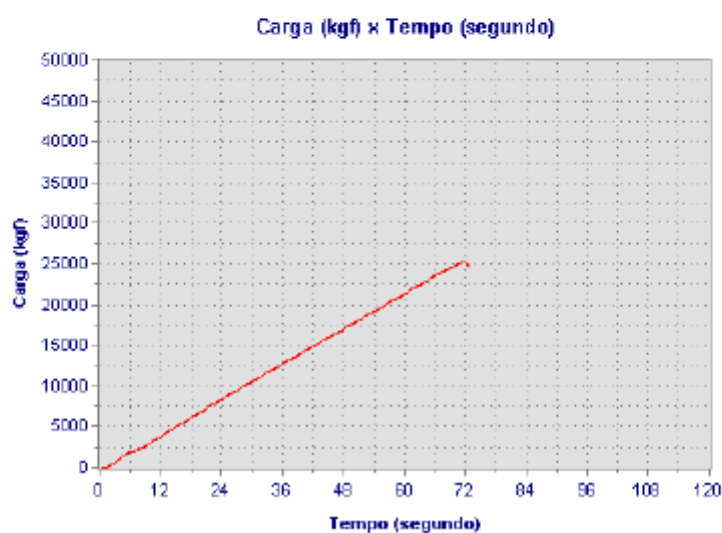
Corpo de Prova - 14% de adição 4

Dados Cadastrais

Amostra: TCC Francis
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente: TCC Francis
Responsável: Wesley
Data de Moldagem: 03/03/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 25.140
Tensão máxima (MPa): 31,4
Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado

ANEXO 13: Laudo de rompimento de concreto com 21% de adição, CP1.

NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado

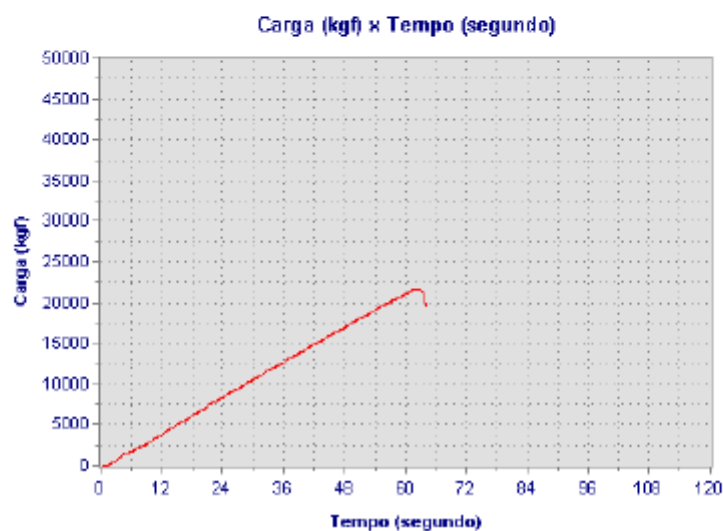
Corpo de Prova - 21% de adição 1

Dados Cadastrais

Amostra: TCC Francis
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente: TCC Francis
Responsável: Wesley
Data de Moldagem: 03/03/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 21.620
Tensão máxima (MPa): 27,0
Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado

ANEXO 14: Laudo de rompimento de concreto com 21% de adição, CP2.

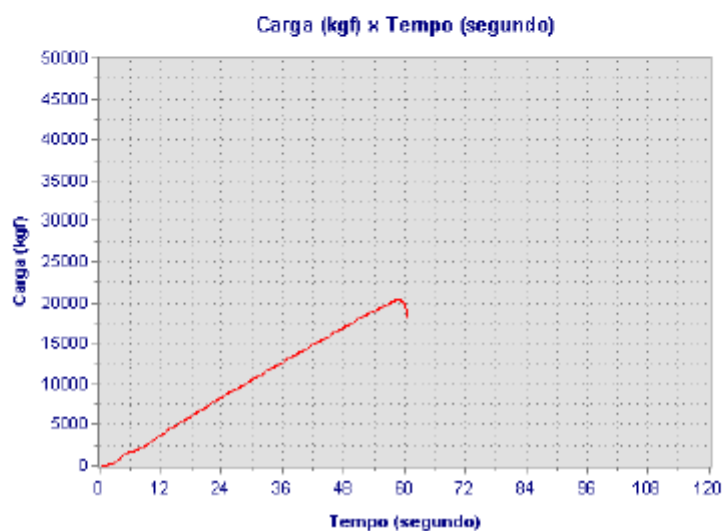
NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado
Corpo de Prova - 21% de adição

Dados Cadastrais

Amostra: TCC Francis
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente: TCC Francis
Responsável: Wesley
Data de Moldagem: 03/03/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 20.260
Tensão máxima (MPa): 25,3
Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado

ANEXO 15: Laudo de rompimento de concreto com 21% de adição, CP3.

NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado

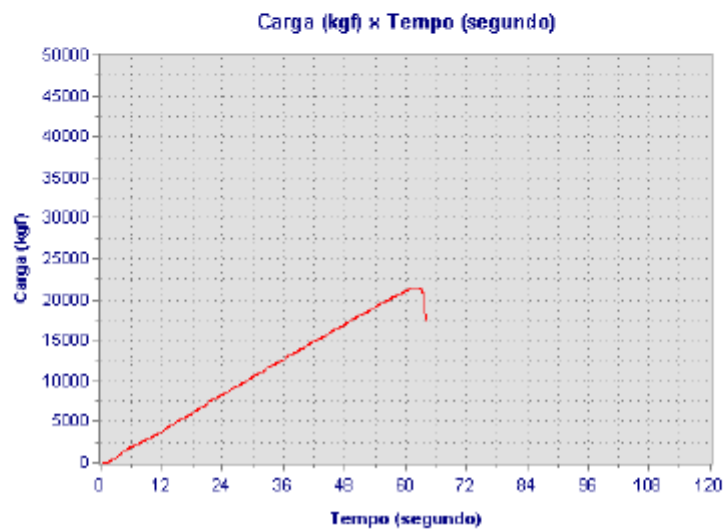
Corpo de Prova - 21% de adição 3

Dados Cadastrais

Amostra: TCC Francis
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente: TCC Francis
Responsável: Wesley
Data de Moldagem: 03/03/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 21.510
Tensão máxima (MPa): 26,9
Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado

ANEXO 16: Laudo de rompimento de concreto com 21% de adição, CP4.

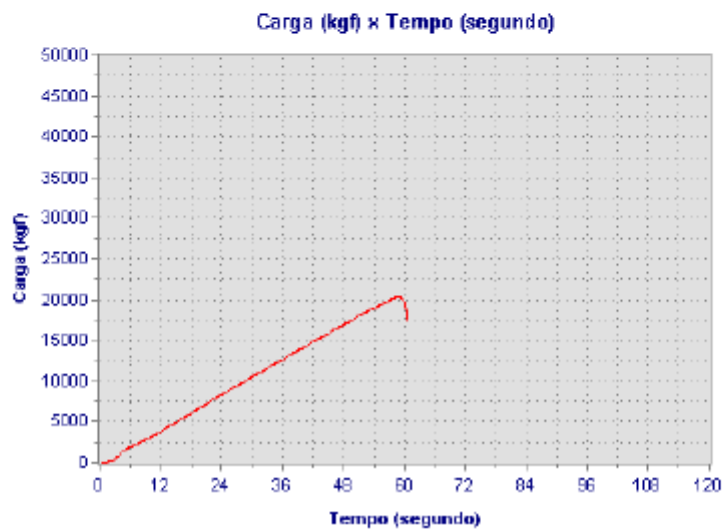
NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado
Corpo de Prova - 21% de adição 4

Dados Cadastrais

Amostra: TCC Francis
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente: TCC Francis
Responsável: Wesley
Data de Moldagem: 03/03/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 20.260
Tensão máxima (MPa): 25,3
Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado

ANEXO 17: Laudo de rompimento de argamassa com 0% de adição, CP1.

NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado

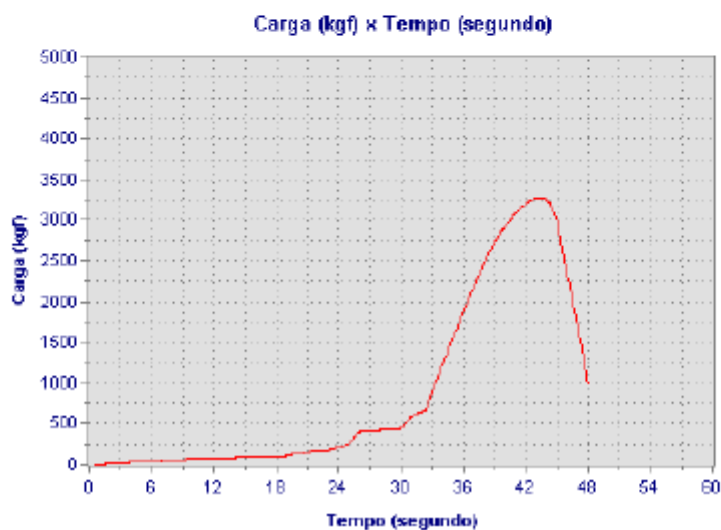
Corpo de Prova - CP Referencia 1

Dados Cadastrais

Amostra: TCC Francis
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente: Francis
Responsável: Wesley
Data de Moldagem: 10/03/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 3.280
Tensão máxima (MPa): 16,4
Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado

ANEXO 18: Laudo de rompimento de argamassa com 0% de adição, CP2.

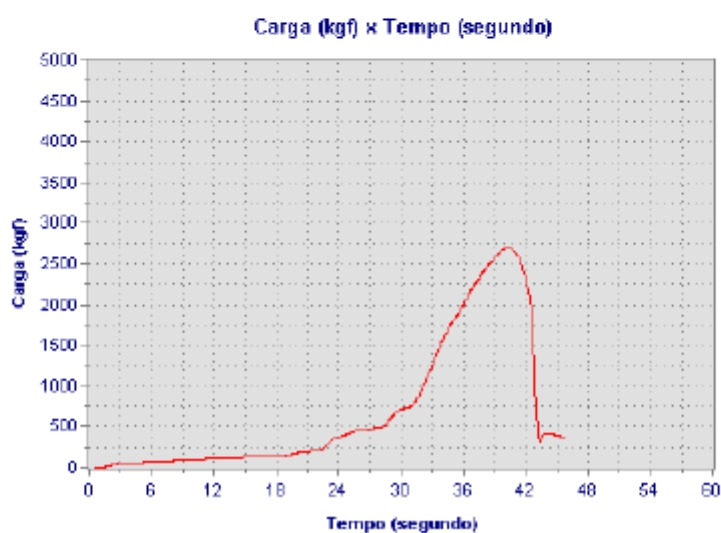
NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado
Corpo de Prova - CP Referência 02

Dados Cadastrais

Amostra: TCC Francis
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente: Francis
Responsável: Wesley
Data de Moldagem: 10/03/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 2.680
Tensão máxima (MPa): 13,4
Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado

ANEXO 19: Laudo de rompimento de argamassa com 0% de adição, CP3.

NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado

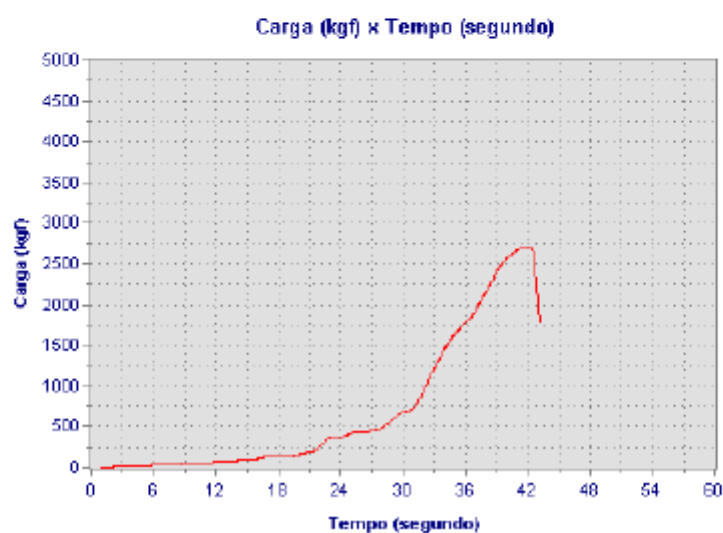
Corpo de Prova - CP Referência 03

Dados Cadastrais

Amostra: TCC Francis
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente: Francis
Responsável: Wesley
Data de Moldagem: 10/03/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 2.690
Tensão máxima (MPa): 13,4
Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado

ANEXO 20: Laudo de rompimento de argamassa com 0% de adição, CP4.

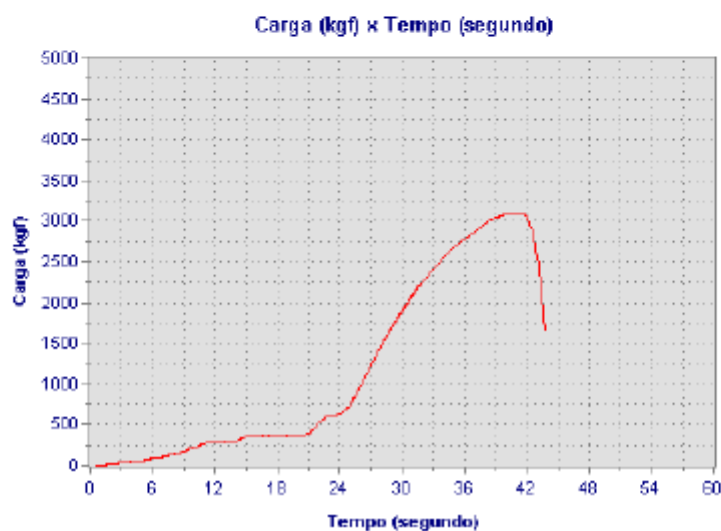
NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado
Corpo de Prova - CP Referência 04

Dados Cadastrais

Amostra: TCC Francis
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente: Francis
Responsável: Wesley
Data de Moldagem: 10/03/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 3.110
Tensão máxima (MPa): 15,5
Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado

ANEXO 21: Laudo de rompimento de argamassa com 0% de adição, CP5.

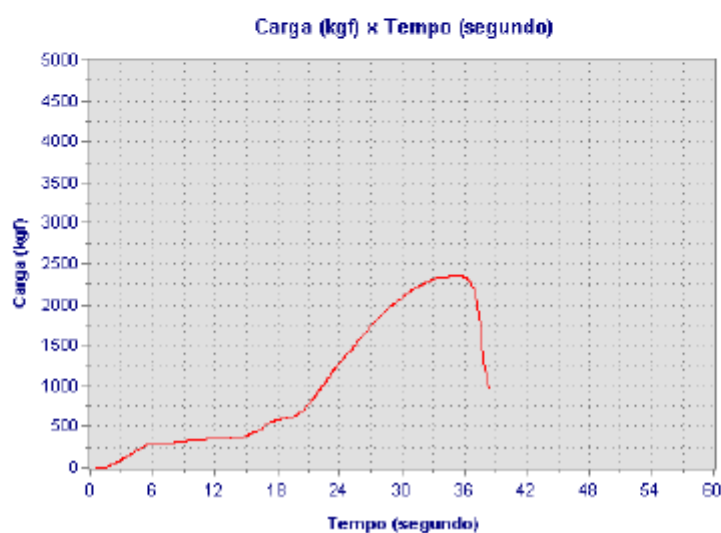
NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado
Corpo de Prova - CP Referência 05

Dados Cadastrais

Amostra: TCC Francis
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente: Francis
Responsável: Wesley
Data de Moldagem: 10/03/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 2.350
Tensão máxima (MPa): 11,7
Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado

ANEXO 22: Laudo de rompimento de argamassa com 0% de adição, CP6.

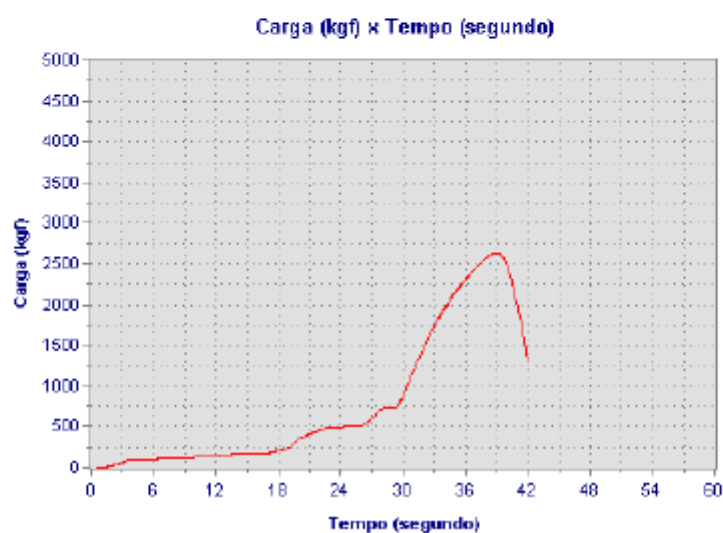
NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado
Corpo de Prova - CP Referência 06

Dados Cadastrais

Amostra: TCC Francis
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente: Francis
Responsável: Wesley
Data de Moldagem: 10/03/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 2.640
Tensão máxima (MPa): 13,2
Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado

ANEXO 23: Laudo de rompimento de argamassa com 25% de adição, CP1.

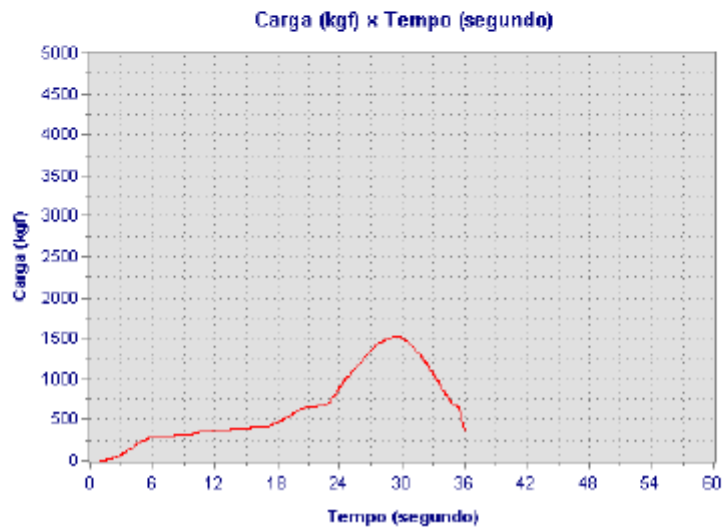
NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado
Corpo de Prova - CP Adição Cinza 01

Dados Cadastrais

Amostra: TCC Francis
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente: Francis
Responsável: Wesley
Data de Moldagem: 10/03/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 1.530
Tensão máxima (MPa): 7,6
Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado

ANEXO 24: Laudo de rompimento de argamassa com 25% de adição, CP2.

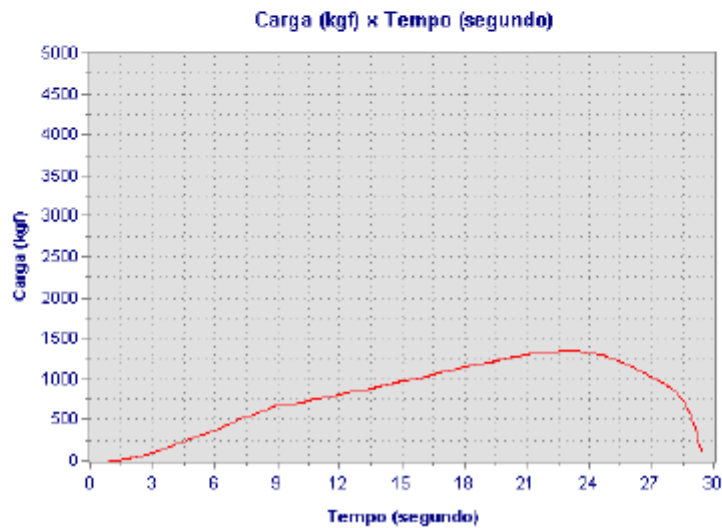
NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado
Corpo de Prova - CP Adição Cinza 02

Dados Cadastrais

Amostra: TCC Francis
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente: Francis
Responsável: Wesley
Data de Moldagem: 10/03/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 1.350
Tensão máxima (MPa): 6,7
Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado

ANEXO 25: Laudo de rompimento de argamassa com 25% de adição, CP3.

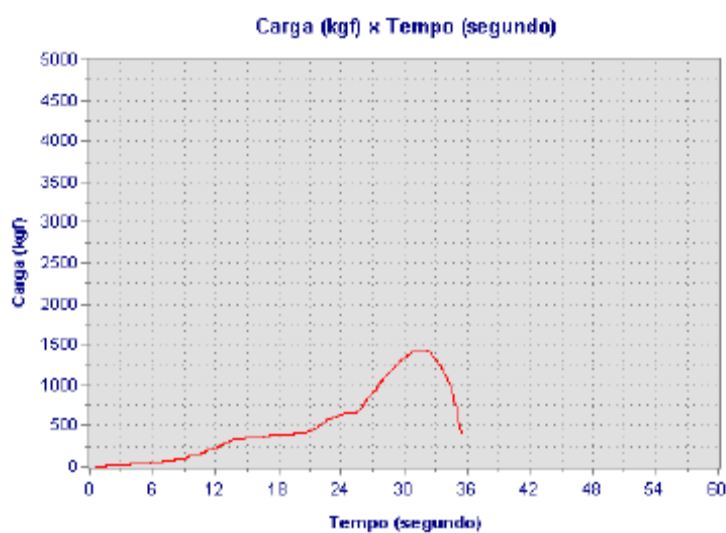
NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado
Corpo de Prova - CP Adição Cinza 03

Dados Cadastrais

Amostra: TCC Francis
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente: Francis
Responsável: Wesley
Data de Moldagem: 10/03/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 1.430
Tensão máxima (MPa): 7,1
Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado

ANEXO 26: Laudo de rompimento de argamassa com 25% de adição, CP4.

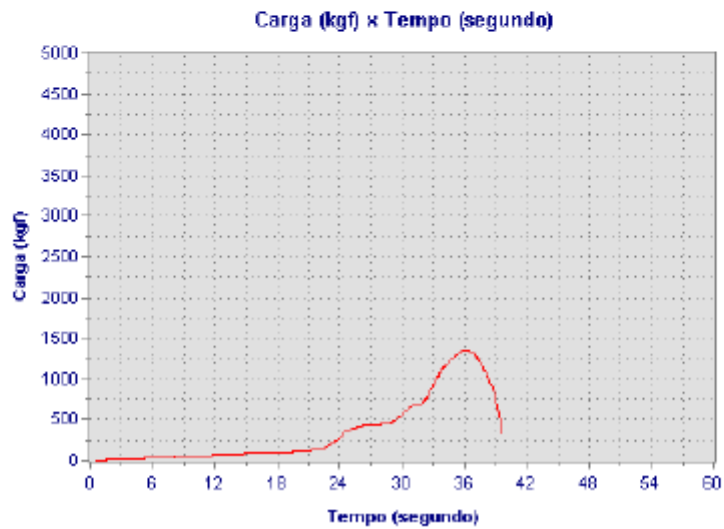
NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado
Corpo de Prova - CP Adição Cinza 04

Dados Cadastrais

Amostra: TCC Francis
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente: Francis
Responsável: Wesley
Data de Moldagem: 10/03/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 1.360
Tensão máxima (MPa): 6,8
Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado

ANEXO 27: Laudo de rompimento de argamassa com 25% de adição, CP5.

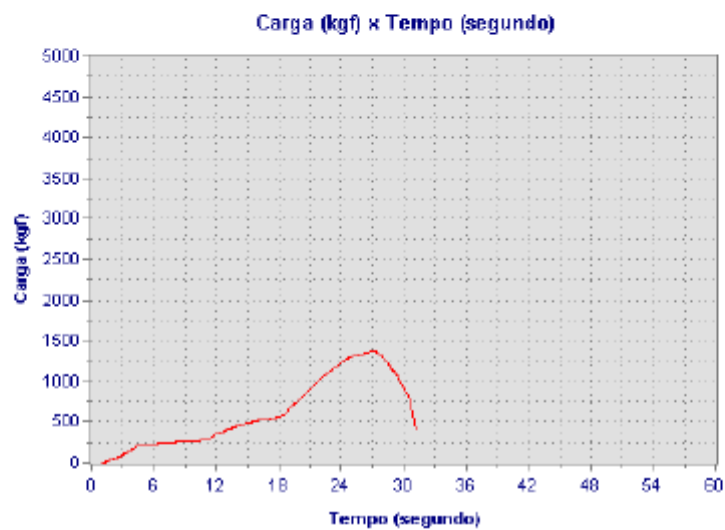
NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado
Corpo de Prova - CP Adição Cinza 05

Dados Cadastrais

Amostra: TCC Francis
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente: Francis
Responsável: Wesley
Data de Moldagem: 10/03/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 1.370
Tensão máxima (MPa): 6,8
Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado

ANEXO 28: Laudo de rompimento de argamassa com 25% de adição, CP6.

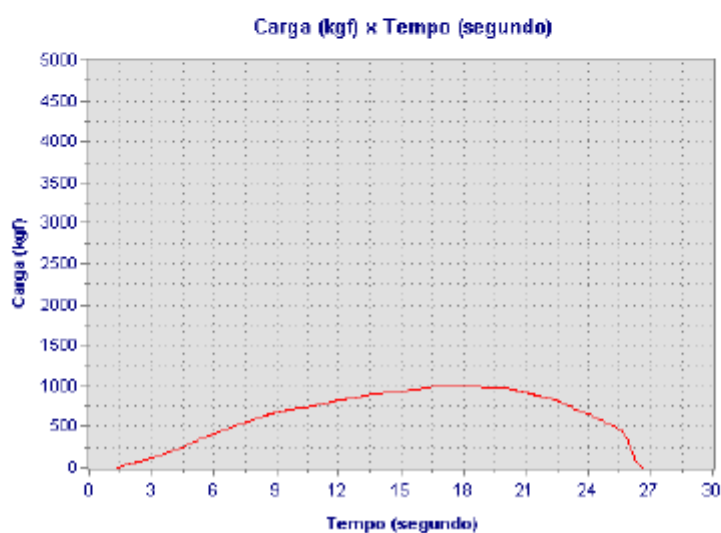
NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado
Corpo de Prova - CP Adição Cinza 06

Dados Cadastrais

Amostra: TCC Francis
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente: Francis
Responsável: Wesley
Data de Moldagem: 10/03/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 1.000
Tensão máxima (MPa): 5,0
Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado

ANEXO 29: Laudo de ensaio de Espectrometria por fluorescência de raio X.

LAMIR – UFPR RESULTADO ANALÍTICO PARA SIMPLES CONHECIMENTO																																																				
1. SOLICITANTE Francis Eduardo Machado																																																				
2. DATA DE EMISSÃO 12/05/2017																																																				
3. TIPO DE ENSAIO Análise química semiquantitativa por espectrometria de fluorescência de raios X OBS: Amostra "tal qual", Espectrômetro PANalytical Axios Max.																																																				
4. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S) Pelo solicitante Cinza Nº. LAMIR 191/17																																																				
5. RESULTADOS Composição Química:																																																				
+ <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;"></th> <th style="width: 10%;">CaO (%)</th> <th style="width: 10%;">K₂O (%)</th> <th style="width: 10%;">MnO (%)</th> <th style="width: 10%;">Fe₂O₃ (%)</th> <th style="width: 10%;">P₂O₅ (%)</th> <th style="width: 10%;">MgO (%)</th> <th style="width: 10%;">Cl (%)</th> <th style="width: 10%;">SiO₂ (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3" style="width: 10%; vertical-align: middle;">Amostra 191/17</td> <td>43,8</td> <td>10,3</td> <td>2,5</td> <td>2,4</td> <td>2,1</td> <td>1,3</td> <td>1,3</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td colspan="8" style="height: 10px;"></td> </tr> <tr> <th style="width: 10%;"></th> <th style="width: 10%;">SO₃ (%)</th> <th style="width: 10%;">Al₂O₃ (%)</th> <th style="width: 10%;">TiO₂ (%)</th> <th style="width: 10%;">ScO (%)</th> <th style="width: 10%;">Na₂O (%)</th> <th style="width: 10%;">BaO (%)</th> <th style="width: 10%;">Rb₂O (%)</th> <th style="width: 10%;">P.F. (%)</th> </tr> <tr> <td></td> <td>0,8</td> <td>0,6</td> <td>0,3</td> <td>0,2</td> <td>0,1</td> <td>< 0,1</td> <td>< 0,1</td> <td>32,98</td> </tr> </tbody> </table>										CaO (%)	K₂O (%)	MnO (%)	Fe₂O₃ (%)	P₂O₅ (%)	MgO (%)	Cl (%)	SiO₂ (%)	Amostra 191/17	43,8	10,3	2,5	2,4	2,1	1,3	1,3	1,2										SO₃ (%)	Al₂O₃ (%)	TiO₂ (%)	ScO (%)	Na₂O (%)	BaO (%)	Rb₂O (%)	P.F. (%)		0,8	0,6	0,3	0,2	0,1	< 0,1	< 0,1	32,98
	CaO (%)	K₂O (%)	MnO (%)	Fe₂O₃ (%)	P₂O₅ (%)	MgO (%)	Cl (%)	SiO₂ (%)																																												
Amostra 191/17	43,8	10,3	2,5	2,4	2,1	1,3	1,3	1,2																																												
		SO₃ (%)	Al₂O₃ (%)	TiO₂ (%)	ScO (%)	Na₂O (%)	BaO (%)	Rb₂O (%)	P.F. (%)																																											
	0,8	0,6	0,3	0,2	0,1	< 0,1	< 0,1	32,98																																												
- P.F. = Perda ao fogo - Resultados normalizados para 100 % Obs.: A análise semiquantitativa possui certo caráter subjetivo e interpretativo. São aceitáveis variações na ordem de ± 10 % nas concentrações indicadas acima, assim como falsas indicações positivas e/ou negativas de elementos em baixas concentrações (traços).																																																				