

**CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
ELLON TULIO CASSOL**

**UTILIZAÇÃO DA ÁGUA DA CHUVA NA PRODUÇÃO DO CONCRETO PRÉ-
MOLDADO EM UMA INDÚSTRIA DA CIDADE DE GUARANIAÇU - PR. ESTUDO
DE CASO**

**CASCADEL - PR
2017**

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
ELLON TULIO CASSOL

**UTILIZAÇÃO DA ÁGUA DA CHUVA NA PRODUÇÃO DO CONCRETO PRÉ-
MOLDADO EM UMA INDÚSTRIA DA CIDADE DE GUARANIAÇU – PR. ESTUDO
DE CASO**

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.

**Professora Orientadora: Engenheira Civil Me.
Andréa Resende Souza.**

CASCADEL - PR
2017

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

ELLON TULIO CASSOL

**UTILIZAÇÃO DA ÁGUA DA CHUVA NA PRODUÇÃO DO CONCRETO PRÉ-
MOLDADO EM UMA INDÚSTRIA DA CIDADE DE GUARANIAÇU - PR. ESTUDO
DE CASO**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação da Professor (a) Eng.^a Civil Me. Andréa Resende Souza.

BANCA EXAMINADORA



Orientador (a) Prof.^a Eng.^a Civil Me. Andréa Resende Souza
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenharia Civil, Mestre



Professor (a) Eng. Civil Esp. Jefferson Teixeira Olea Homrich
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Civil, Especialista



Professor (a) Eng.^a Civil Me. Maria Vânia Nogueira do Nascimento Peres
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenharia Civil, Mestre

Cascavel, 05 de junho de 2017.

RESUMO

O presente trabalho consiste em um estudo de caso realizado em uma indústria de pré-moldados de concreto da cidade de Guaraniaçu – Paraná, com a finalidade de identificar os processos necessários para a utilização da água da chuva na fabricação do concreto pré-moldado, afim de obter os parâmetros mínimos de resistência à compressão e trabalhabilidade do concreto com a utilização da água da chuva, como água de amassamento do concreto, em conformidade com os ensaios de especificação, conforme a Norma Brasileira ABNT NBR 15900 – *Água para amassamento do concreto*, a qual demonstra se essa água poderá ser utilizada na produção do concreto pré-moldado para fins estruturais. Foi realizada a classificação dos agregados utilizados pela empresa para compor o traço, através de ensaios de granulometria por peneiramento. Sabendo que o traço utilizado neste estudo foi fornecido pelo Gerente de Produção da empresa, sendo especificado como 1:4:4, foram apenas reduzidas as quantidades de cada material para composição das misturas, diferindo-se apenas o tipo de água a ser utilizada, afim de verificar o abatimento do concreto em seu estado fresco, através dos ensaio de abatimento do tronco de cone (Slump test) e moldar corpos de prova para posterior verificação da resistência a compressão do concreto feito com água da chuva e do concreto feito com água de abastecimento público. Por fim, com a análise físico-química da água da chuva, fornecida pelo laboratório responsável, verificou-se que a mesma atende a todos os parâmetros prescritos na NBR 15900, sendo possível sua utilização na produção do concreto. Como prova e complemento, obteve-se o resultado de abatimento do concreto moldado com água da chuva atingindo a média de 5,33cm, sendo inferior ao do concreto com água de abastecimento público com média de 18,5cm, representando que poderia atingir maior resistência pela menor trabalhabilidade da mistura. Assim, como resultado final, obteve-se os valores de resistência à compressão dos corpos de prova, sendo que o concreto da Série 1 (contendo água da chuva), resistiu 28,15% a mais do que o concreto da Série 2 (contendo água de abastecimento público).

Palavras-chave: Concreto pré-moldado. Água da chuva. Resistência. Trabalhabilidade.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Curva granulométrica referente à Zona Ótima da Areia	45
Gráfico 2: Curva granulométrica referente à Zona Utilizável da Areia	45
Gráfico 3: Curva granulométrica do agregado graúdo	47
Gráfico 4: Resistência à compressão dos corpos de prova.....	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Processo de aglomeração do cimento	15
Figura 2: Fluxograma de aceitação da água para amassamento do concreto	23
Figura 3: Vista aérea do local da Indústria	32
Figura 4: Recipientes com água da chuva para composição da mistura	33
Figura 5: Areia utilizada na mistura em processo de secagem.....	34
Figura 6: Brita utilizada na mistura em processo de secagem.....	34
Figura 7: Cimento utilizado na mistura	35
Figura 8: Carrinho utilizado como medida para traço do concreto	36
Figura 9: Fôrmas cilíndricas para moldagem dos corpos de prova	37
Figura 10: Corpos-de-prova da Série 1 (água da chuva)	39
Figura 11: Pesagem das amostras de areia e brita para ensaio	41
Figura 12: Peneiras adaptadas ao seus respectivos agitadores	42
Figura 13: Formulário de preenchimento Ficha de Controle Tecnológico do Concreto.....	49
Figura 14: Manual de preenchimento da Ficha de Controle Tecnológico do Concreto.....	50
Figura 15: Selo de identificação do corpo de prova	51
Figura 16: Preparação do molde e dimensões do tronco de cone para ensaio.....	52
Figura 17: Medição do abatimento do concreto	53
Figura 18: Corpos de prova em processo de retificação.....	54
Figura 19: Rompimento dos CP's	54
Figura 20: Fluxograma inicial – Ensaio preliminares	58
Figura 21: Continuação do fluxograma – Contaminantes	59
Figura 22: Parte final do fluxograma – Compostos ligados a durabilidade	61
Figura 23: Medição do abatimento do concreto da Série 1	62
Figura 24: Medição do abatimento do concreto da Série 2	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação de acordo com as dimensões nominais das areias.....	16
Tabela 2: Classificação nominal de acordo com as dimensões nominais da pedra britada.....	16
Tabela 3: Conjunto de peneiras da série normal e intermediária	17
Tabela 4: Classificação do concreto pela resistência característica a compressão.....	19
Tabela 5: Classificação da consistência por abatimento	19
Tabela 6: Requisitos e procedimentos de ensaio para inspeção preliminar de água destinada ao amassamento de concreto	25
Tabela 7: Teor máximo de cloreto em água para amassamento.....	25
Tabela 8: Teor máximo de íons cloreto para proteção das armaduras do concreto.....	26
Tabela 9: Requisitos para concreto exposto a soluções contendo sulfatos.....	27
Tabela 10: Métodos de ensaios para determinação dos contaminantes e seu teores máximos.	28
Tabela 11: Limite de variância para tempo de pega e resistência a compressão.....	29
Tabela 12: Ensaio físicos	30
Tabela 13: Redução do traço para composição das misturas	37
Tabela 14: Composição granulométrica do agregado miúdo	44
Tabela 15: Limites de distribuição granulométrica do agregado miúdo (ABNT NBR 7211) .	44
Tabela 16: Limites granulométricos do agregado graúdo	46
Tabela 17: Composição granulométrica do agregado graúdo	47
Tabela 18: Boletim de qualidade do cimento CP V-ARI-RS Obras Especiais	48
Tabela 19: Comparação dos Requisitos da NBR 15900 com a análise das águas	55
Tabela 20: Comparação dos requisitos da NBR 15900 e das análises das águas utilizadas	57
Tabela 21: Resultado dos ensaio preliminares	59
Tabela 22: Determinação dos contaminantes	60
Tabela 23: Determinação dos compostos ligados a durabilidade.....	60
Tabela 24: Resultados de abatimento	63

SUMÁRIO

1	CAPÍTULO 1	10
1.1	INTRODUÇÃO	10
1.2	OBJETIVOS	11
1.2.1	Objetivo Geral	11
1.2.2	Objetivos Específicos	11
1.3	JUSTIFICATIVA	12
1.4	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	12
1.5	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	13
2	CAPÍTULO 2	14
2.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1.1	Concreto	14
2.1.1.1	Composição do concreto	14
2.1.1.2	Fatores que influenciam a qualidade do concreto	18
2.1.2	Classes de resistência e consistência do Concreto	18
2.1.2.1	O Concreto Pré-Moldado	20
2.1.3	A Norma Brasileira ABNT NBR 15900	21
2.1.3.1	A qualidade e a importância da água no concreto	21
2.1.3.2	Tipos De Águas e Definições	22
2.1.3.3	Requisitos e Procedimentos De Ensaio	22
2.1.3.4	Avaliação Preliminar	24
2.1.3.5	Propriedades Químicas	25
2.1.3.6	Tempo De Pega e Resistência à Compressão	28
3	CAPÍTULO 3	31
3.1	METODOLOGIA	31
3.1.1	Tipo de estudo e local da pesquisa	31
3.1.2	Caracterização das amostras	31
3.1.2.1	Água de amassamento do concreto	32
3.1.2.2	Materiais concreto	33
3.1.2.3	Dosagem do concreto	35
3.1.3	Moldagem e cura dos corpos de prova	37
3.1.4	Coleta de dados	39
3.1.4.1	Água da chuva como água para amassamento do concreto	39
3.1.4.2	Materiais concreto	40
3.1.5	Controle tecnológico do concreto	48
3.1.5.1	Análise do concreto no estado fresco	51
3.1.5.2	Análise do concreto no estado endurecido	53
3.1.6	Análise da água	55
3.2	Análise dos dados	56
4	CAPÍTULO 4	57
4.1	RESULTADOS E DISCUSSÕES	57

4.1.1	Água da chuva como água de amassamento do concreto.....	57
4.1.2	Abatimento do tronco de cone.....	61
4.1.3	Resistência a compressão	63
5.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
6	CAPÍTULO 6.....	66
6.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	66
	REFERÊNCIAS	67
	ANEXO A.....	70
	ANEXO A.....	71
	ANEXO B.....	72
	ANEXO B.....	73
	ANEXO B.....	74
	ANEXO B.....	75
	ANEXO B.....	76
	ANEXO B.....	77
	ANEXO B.....	78
	ANEXO B.....	79
	ANEXO B.....	80
	ANEXO B.....	81
	ANEXO B.....	82
	ANEXO B.....	83

1 CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

A utilização de práticas sustentáveis na construção civil é uma tendência que vem crescendo no mercado atual. No dicionário, o termo *sustentável* se origina do latim *sustentare*, que significa o ato de sustentar, favorecer e conservar. Basicamente, a sustentabilidade é a capacidade de um indivíduo ou um grupo de indivíduos, manter-se dentro de um determinado ambiente sem causar impactos prejudiciais sobre o mesmo. Na prática, a sustentabilidade é a capacidade da utilização de recursos naturais, como por exemplo, a água, que de alguma forma será devolvida para o planeta, por meio de atitudes, práticas, ou técnicas inteligentes desenvolvidas para que tal fato aconteça.

A implantação de sistemas sustentáveis se torna cada dia mais necessária, pois, diferentes grupos como governos, consumidores, investidores e associações, alertam, incentivam e pressionam o setor da construção a incorporar essas práticas em suas atividades. Para isso, o setor da construção civil precisa se aprimorar, fazendo com que as empresas mudem sua forma de produzir e gerir suas obras. Neste sentido, as indústrias devem realizar uma introdução progressiva de práticas sustentáveis, buscando soluções que denotem maior viabilidade econômica para o empreendimento.

A superfície terrestre é composta por de 75% de água. O volume total de água na Terra é estimado em 1,35 milhões de quilômetros cúbicos, sendo que 97,5% deste volume é de água salgada, encontrada em mares e oceanos, e 2,5% é de água doce, porém, localizada em regiões de difícil acesso, como aquíferos (águas subterrâneas) e geleiras. Apenas 0,007% da água doce se encontra em locais de fácil acesso para o consumo humano, como lagos, rios e na atmosfera (UNIÁGUA, 2006).

Quando se trata de sustentabilidade ambiental, a água se torna mais implícita ao uso na construção civil. Com o avanço de estudos na área, é possível afirmar que os recursos naturais são finitos, que a água é um recurso vital e que se não for utilizada de maneira sábia não estará disponível para as gerações futuras.

Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO-ONU, 2006), o Brasil possui a maior reserva de água doce do mundo, porém é um dos maiores desperdiçadores de água potável.

Com o aumento do consumo de água potável e seu consequente desperdício, como não pensar em práticas sustentáveis de reutilização de um dos recursos naturais mais preciosos do planeta?

O uso da água da chuva em indústrias de concreto está gerando muita polêmica no setor da construção civil. O gerente de laboratórios da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) e geólogo, Arnaldo Forti Battagin, considerado um dos principais especialistas no assunto, afirma que não há problema em utilizar a água da chuva na produção de concreto, desde que essa água passe por ensaios e cumpra as exigências mínimas da norma NBR 15900 – *Água para amassamento do concreto – Requisitos* (ABNT, 2009).

Diante dos fatos apresentados, é possível perceber a importância de se aprofundar no assunto e a necessidade de não desperdiçar a água, e sim, reutilizar, reaproveitar e transmitir o bem ao meio ambiente. Os problemas podem ser minimizados com práticas inteligentes e de fácil aplicação que fazem a diferença a médio e a longo prazo, aumentando a qualidade de vida do planeta, e consequentemente o poder de concorrência entre as empresas e a diminuição dos custos de produção.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Identificar os processos necessários para a utilização inteligente da água da chuva na fabricação do concreto pré-moldado em indústrias, a fim de atingir valores de resistência superiores ao do concreto produzido com água de abastecimento público.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar análise da água da chuva para identificar suas propriedades;
- Caracterizar os materiais utilizados para produção do concreto pré-moldado;
- Desenvolver ensaios para análise de resistência e abatimento do concreto pré-moldado.

1.3 JUSTIFICATIVA

O desperdício de água nas indústrias tem acarretado inúmeros problemas nos últimos tempos, prejudicando o meio ambiente e as próprias indústrias, gerando gastos indesejáveis. O acúmulo de água nos sistemas de captação pública, o uso inadequado da água na produção industrial, dentre outros fatores, tem influenciado muito na degradação ambiental e desperdício desse bem tão precioso.

A má utilização, o desperdício e a escassez da água se tornam cada vez mais evidentes, fazendo com que as indústrias repensem a maneira de utilizar a água como meio de produção na construção civil. Para auxiliar neste processo, precisa-se buscar métodos inteligentes de reutilizar a água da chuva, a qual felizmente pode ser utilizada para diversas finalidades, como limpeza de máquinas e equipamentos, para uso sanitário, irrigação, e até mesmo na produção de concreto, desde que obedeça aos parâmetros mínimos estabelecidos pela NBR 15900 – *Água para amassamento do concreto* (ABNT, 2009).

Considerando que a água não é um recurso infinito, ou seja, que ela pode acabar (ONU, 2006), e que a concorrência no ramo da construção civil vem aumentando nos últimos anos, é que se deve desenvolver e aplicar práticas inteligentes de produção sustentável nas indústrias, a fim de preservar os recursos naturais e diminuir os custos de produção.

Por meio deste trabalho, buscou-se realizar as análises necessárias para que esta utilização inteligente seja possível. Para tanto, realizou-se a análise dos processos adequados para que o concreto atingisse a resistência necessária para fins estruturais, a fim de demonstrar os benefícios e incentivar as indústrias a adquirirem tais métodos para diminuir seus custos e aumentar a competitividade no ramo que trabalham, gerando, assim, uma melhoria na qualidade de vida em prol do meio ambiente.

1.4 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Quais os processos necessários para que as indústrias utilizem a água da chuva na produção de pré-moldados de concreto? A água da chuva pode ser utilizada como água de amassamento do concreto? A utilização da água da chuva faz com que o concreto atinja a resistência necessária para fins estruturais?

1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa foi limitada à análise físico-química da água da chuva da região de Guaraniaçu – Paraná e aos processos necessários para a utilização desta água na produção de concreto em uma indústria de pré-moldados e artefatos de concreto em geral.

A indústria está localizada na BR 277, KM 524, na cidade de Guaraniaçu, região oeste do estado do Paraná, sobre os lotes 01 e 02, quadra 01, do loteamento industrial II deste município. A indústria possui uma área térrea de 16.520m² (dezesesseis mil, quinhentos e vinte metros quadrados), sendo aproximadamente 1.840m² (um mil, oitocentos e quarenta metros quadrados) em área de cobertura, dividindo-se em ambiente administrativo e de produção, podendo haver aumento destas áreas em meados de 2017.

2 CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Serão abordados os conceitos fundamentais, normas e procedimentos utilizados para a elaboração deste estudo de caso.

2.1.1 Concreto

O concreto é o produto resultante do endurecimento da mistura de aglomerante hidráulico (cimento), agregado miúdo (areia), agregado graúdo (pedra) e água, adequadamente proporcionados, podendo conter ou não aditivos e/ou adições em sua composição. Desta mistura, pelo menos três partes do volume do concreto são ocupados pelos agregados, demonstrando que a qualidade dos materiais é de essencial importância (BASTOS, 2005). Segue algumas nomenclaturas empregadas quanto ao agrupamento dos materiais utilizados para formar o concreto:

Cimento + Água = Pasta de Cimento

Pasta de Cimento + Areia = Argamassa

Argamassa + Aço = Argamassa Armada

Argamassa + Brita = Concreto

Concreto + Adições = Concretos Especiais

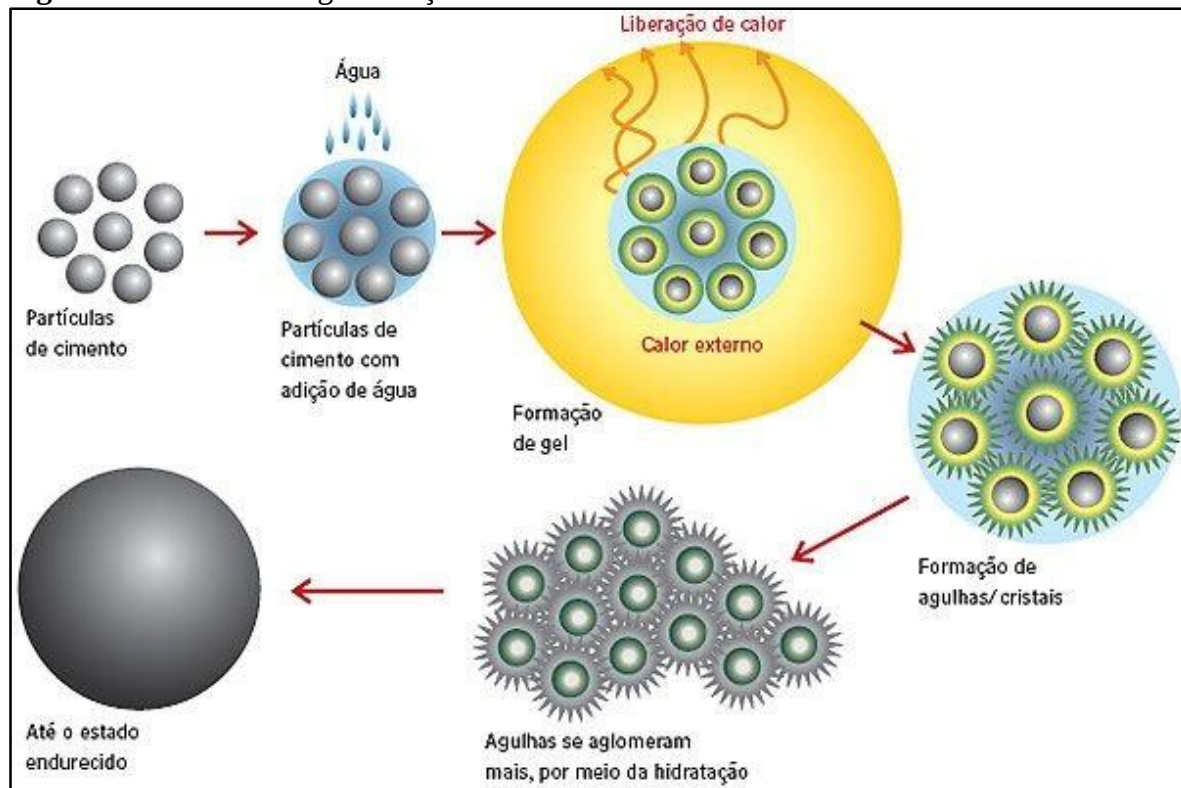
Concreto/Concretos Especiais + Aço = Concreto Armado

2.1.1.1 Composição do concreto

O aglomerante hidráulico refere-se ao cimento Portland, que em geral, é um produto que possui como componentes básicos o calcário, a argila e o minério de ferro, que após serem calcinados e moídos assumem a forma de pó com alta capacidade de aglomeração. Quando o pó é misturado com a água, ocorre a hidratação desses materiais, formando um gel que faz com que as partículas se transformem em cristais que possuem grande facilidade de aglomeração, resultando no endurecimento da mistura, conforme ilustrado na Figura 1. A intensidade do calor

liberado na hidratação durante as primeiras idades influencia na velocidade do endurecimento e no aumento da resistência do concreto (LAGUNA, L.A; HIKEMATSU, PAULA, 2009).

Figura 1: Processo de aglomeração do cimento



Fonte: Laguna, Hikematsu e Paula (2009)

Segundo Farias e Palmeira (2007), agregados são fragmentos de rochas, popularmente denominados e diferenciados como pedras e areias. Estes fragmentos possuem diferentes dimensões, variando muito de tamanho, sendo utilizadas para diferentes finalidades.

Segundo Neto (2005), os agregados podem ser classificados como naturais, britados, artificiais ou reciclados, sendo que os agregados naturais são encontrados na natureza, derivados de rochas existentes na crosta da terra, já preparadas ao uso, enquanto que os agregados artificiais ou britados, são geralmente obtidos pela britagem realizada em pedreiras, tendo como resultado a pedra britada, pedrisco, pedregulho britado, entre outros. Os agregados artificiais são derivados de processos industriais e os agregados reciclados são os resíduos industriais decorrentes de entulhos de construção ou demolição.

Os agregados, sob o ponto de vista granulométrico, são subdivididos em agregados miúdos e agregados graúdos.

- Agregados miúdos: “são agregados cujos seus grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75mm”. Pode ser utilizado tanto areais naturais quando areias artificiais, obtidas de processos industriais (ABNT NBR 7211, 2005, p. 5)

De acordo com ABNT NBR 7225 – *Materiais de pedra e agregados naturais* (ABNT, 1993), as areias são divididas em três grupos, cujas dimensões dos grãos que relacionam o tipo de areia, estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1: Classificação de acordo com as dimensões nominais das areias

Tipo de Areia	Tamanho nominal	
	Mínimo	Máximo
Grossa	1,20	2,00
Média	0,42	1,20
Fina	0,075	0,42

Fonte: Adaptada ABNT NBR 7225 (1993, p. 2 e 3)

- Agregados graúdos: “são provenientes de rochas estáveis, cujos grãos passam pela peneira de malha com abertura nominal de 75mm e que ficam retidas na peneira de 4,75mm” (ABNT NBR 7211, 2005, p. 3). As pedras britadas, que de acordo com a NBR 7225 – *Materiais de pedra e agregados naturais* (ABNT, 1993), são divididas por tamanhos e numeradas de 1 a 5 conforme Tabela 9.

Tabela 2: Classificação nominal de acordo com as dimensões nominais da pedra britada

Pedra britada Número	Tamanho nominal	
	Aberturas de peneiras de malhas quadradas (mm)	
	Mínimo	Máximo
1	4,8	12,5
2	12,5	25
3	25	50
4	50	76
5	76	100

Fonte: Adaptada ABNT NBR 7225 (1993)

O concreto deve ter uma boa distribuição granulométrica a fim de preencher todos os vazios, pois a porosidade, por sua vez, também tem influência na permeabilidade e na resistência das estruturas de concreto.

Os ensaios de granulometria para determinação das propriedades físicas dos agregados, devem ser realizados de acordo com a NBR NM 248 - *Agregados - Determinação da composição granulométrica* (ABNT, 2003), com peneiras definidas pela NBR NM ISO 3310 – *Peneiras de ensaio – Requisitos técnicos e verificação* (ABNT, 1997). As dimensões das peneiras que podem ser utilizadas estão ilustradas na Tabela 3.

Tabela 3: Conjunto de peneiras da série normal e intermediária

Série normal	Série intermediária
76 mm	-
-	64 mm
-	50 mm
38 mm	-
-	32 mm
-	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,8 mm	-
2,4 mm	-
1,2 mm	-
0,600 mm	-
0,300 mm	-
0,150 mm	-

 Agregado
Graúdo
 Agregado
Miúdo

Fonte: Adaptada ABNT 7211 (1997, p. 4)

No preparo do concreto, deve-se ter muito cuidado com a qualidade e a quantidade de água utilizada na mistura, conforme mostra o item 2.1.3.1. Se a quantidade de água for inferior à necessária, a reação não ocorrerá por completo e se for superior, a resistência diminuirá em função dos poros que surgirão quando este excesso de água entrar em estado de evaporação (MEHTA, KUMAR; MONTEIRO, 1994).

Segundo Arnaldo Battagin, membro do conselho diretor do Instituto Brasileiro do Concreto (Ibracon) e gerente dos laboratórios da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), aditivos, são produtos químicos adicionados em pequena quantidade aos concretos de cimento Portland, como: plastificantes (P), retardadores de pega (R), aceleradores de pega (A), plastificantes retardadores (PR), plastificantes aceleradores (PA), incorporadores de ar (IAR), dentre outros. Os aditivos utilizados em concreto de cimento Portland devem cumprir com os requisitos estabelecidos na NBR 11768 – *Aditivos para concreto de cimento Portland* (ABNT, 1992).

Ainda segundo Arnaldo Battagin, as adições, “geralmente utilizadas em quantidades maiores, são de origem mineral e, por comumente apresentarem propriedades ligantes, são usadas para substituir parte do cimento para a obtenção de concretos com características especiais”. Os exemplos mais comuns de adições são: escória de alto forno, cinza volante, sílica ativa de ferrosilício e metacaulinita.

Ou seja, as adições conferem ao concreto, propriedades que ele originalmente não tinha, enquanto os aditivos potencializam ou enfraquecem uma característica previamente encontrada no concreto.

2.1.1.2 Fatores que influenciam a qualidade do concreto

Segundo Walter Pfeil (1985), para obter as características essenciais do concreto, como a facilidade de manuseio quando em estado fresco, boa resistência mecânica, durabilidade e impermeabilidade quando em estado endurecido, é preciso conhecer os fatores que influenciam a qualidade do concreto para que possa ter um maior controle aos procedimentos utilizados em sua produção.

Um dos fatores é referente a qualidade dos materiais utilizados em sua composição, assim como, a ideal proporção de cada um deles na composição da mistura, considerando a relação basicamente entre as quantidades de: cimento, agregados miúdo, agregado graúdo e água. Outro fator, não menos importante, é a manipulação, a qual deve ser adequada após a produção da mistura, devendo o concreto ser transportado, lançado nas fôrmas e adensado corretamente.

Deve ainda, ter uma cura cuidadosa, pelo fato da hidratação do cimento continuar por um tempo bastante longo, sendo que as condições ambientais favorecem as reações que se procedem. Desse modo, deve-se evitar a evaporação prematura da água necessária à hidratação do cimento, sendo este o processo de cura do concreto.

2.1.2 Classes de resistência e consistência do Concreto

De acordo com a NBR 8953 – *Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento* (ABNT, 2014), “os concretos para fins estruturais são classificados nos grupos I e II, conforme a resistência característica à compressão (f_{ck})”, como mostra a Tabela 4, sendo permitida a especificação de valores intermediários. São determinados a partir do ensaio de corpos de prova moldados, de acordo com a NBR 5738 – *Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpo-de-prova* (ABNT, 2003) e rompidos conforme a NBR 5739 – *Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos* (ABNT, 2007).

Tabela 4: Classificação do concreto pela resistência característica a compressão

Classe de Resistência Grupo I	Resistência característica à compressão (MPa)	Classe de Resistência Grupo II	Resistência característica à compressão (MPa)
C20	20	C55	55
C25	25	C60	60
C30	30	C70	70
C35	35	C80	80
C40	40	C90	90
C45	45	C100	100
C50	50		

Fonte: Adaptada ABNT NBR 8953 (1992, p. 4)

Os concretos com classe de resistência inferior a C20 não são estruturais e, caso sejam utilizados, devem ter seu desempenho atendido conforme NBR 6118 – *Projeto de estruturas de concreto* – Procedimento (ABNT, 2004) e NBR 12655 – *Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação* (ABNT, 2015) para aceitação de sua utilização.

Os concretos também são classificados pela sua consistência no estado fresco, determinada a partir do ensaio de abatimento do tronco de cone prescrito na NBR NM 67 - *Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone* (ABNT, 1996), de acordo com as classes da Tabela 5, ilustrando os valores de abatimento para algumas aplicações típicas. Sendo que, em comum acordo com as partes, podem ser criadas classes especiais de consistência, explicando a respectiva faixa de variação do abatimento.

Tabela 5: Classificação da consistência por abatimento

Classe	Abatimento (mm)	Aplicações típicas
S10	$10 < A < 50$	Concreto extrusado, vibroprensado ou centrifugado
S50	$50 < A < 100$	Alguns tipos de pavimentos e de elementos de fundação
S100	$100 < A < 160$	Elementos estruturais, com lançamento convencional do concreto
S160	$160 < A < 220$	Elementos estruturais com lançamento bombeado do concreto
S220	< 220	Elementos estruturais esbeltos ou com alta densidade de armaduras

NOTA 1: Os exemplos desta Tabela são ilustrativos e não abrangem todos os tipos de aplicações.

Fonte: Adaptada ABNT NBR 8953 (1992, p. 4)

2.1.2.1 O Concreto Pré-Moldado

A Norma Brasileira NBR 9062, define elementos pré-moldados como sendo os elementos executados fora do local de utilização definitiva da estrutura, sem necessidade de um controle de qualidade rigoroso, o qual se dispensa a existência de laboratórios e demais instalações congêneres próprias, sendo este quesito o que se difere dos elementos pré-fabricados, lembrando que os elementos pré-moldados devem ser executados conforme prescrições da NBR 14931 – *Execução de Estruturas de Concreto – Procedimentos* (ABNT, 2004), e da NBR 12655 – *Concreto de Cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento* (ABNT, 2015).

Os elementos pré-moldados representam uma opção válida para racionalizar o processo de produção. Essas peças apresentam algumas características significativas, são elas: rapidez de execução, controle de qualidade, menor desperdício de material, projetos de modulação e relativo nível organizacional de produção (PEDERIVA, 2009).

A racionalização conseguida com o uso dos pré-moldados permite que os materiais disponíveis para a execução de um empreendimento sejam melhor aproveitados, sem demandar profundas alterações tecnológicas (PEDERIVA, 2009).

De acordo com dados da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) no concreto pré-moldado, deverá ser utilizado o cimento Portland de alta resistência inicial, o CP V-ARI, o qual tem alta reatividade em baixas idades, conseguida pela utilização de uma dosagem diferente de calcário e argila na produção do clínquer¹, e pela moagem mais fina do cimento. Assim, ao reagir com a água o CP V-ARI adquire elevada resistência, com maior velocidade, proporcionando maior rendimento ao concreto, porém, devido a essa alta reatividade, necessita de uma cura bastante cuidadosa, principalmente nas primeiras idades.

É importante destacar que a cura do concreto é responsável pela pega e endurecimento do concreto, pois, mantêm o concreto saturado, evitando a evaporação prematura da água necessária para a hidratação do cimento até que os espaços ocupados pela água sejam ocupados pelos produtos de hidratação (BARDELLA; BARBOSA; CAMARINI, 2005).

¹ Clínquer: material granular de 3mm a 25mm de diâmetro, resultante da calcinação de uma mistura de calcário, argila e de componentes químicos como o silício, o alumínio e o ferro. O clínquer é a matéria prima básica de diversos tipos de cimento, inclusive o cimento Portland, necessitando de outras adições, tais como escória de alto forno, pozolanas e cinzas são realizadas de modo a se obter o cimento composto.

2.1.3 A Norma Brasileira ABNT NBR 15900

A norma Brasileira NBR 15900 – *Água para amassamento do concreto* (ABNT, 2009), é um documento composto por 11 partes, as quais especificam os requisitos para a água ser considerada adequada ao preparo de concreto, descrevendo também os procedimentos de amostragem, bem como os métodos para sua avaliação. Trata-se de uma das principais normas citadas neste estudo. Na sequência, seguem os procedimentos referentes a primeira parte desta norma, denominada *Requisitos*, utilizada para classificação da água para amassamento do concreto.

2.1.3.1 A qualidade e a importância da água no concreto

De acordo com Isaia (2011), a água é um componente de extrema importância para o concreto, pois, juntamente com o cimento, produz a matriz resistente que aglutina os agregados e confere a compacidade² da matriz para atingir a durabilidade e a vida útil necessária do concreto, previstas em projeto. Neville (2003) afirma que a qualidade da água tem sido objeto de poucos estudos, geralmente sendo deixada em segundo plano ou até mesmo sendo esquecida.

Ainda de acordo com Neville (2003), existem três aspectos a serem considerados na água de amassamento do concreto. O primeiro deles diz respeito a sua qualidade, neste caso, deve-se levar em conta as impurezas dissolvidas na água ou fora dela, que podem afetar algumas propriedades do concreto. O segundo aspecto é a quantidade de água por unidade de volume de concreto (l/m^3), a qual afeta a trabalhabilidade da mistura. O terceiro aspecto é a quantidade de água em relação a do cimento (relação água/cimento), termo criado por Duff Abrams³ a mais de 90 anos, sendo considerado até hoje um dos principais parâmetros que governa a qualidade global do concreto.

² Compacidade: é a qualidade ou estado daquilo que é compacto; proporção de sólidos em certo volume de material granuloso;

³ Duff A. Abrams (1880 – 1965) pesquisador norte-americano no campo da dosagem e propriedades do concreto. Abrams desenvolveu os conceitos de módulo de finura, a definição de relação água/cimento (em volume) e o método de medida da trabalhabilidade do concreto pelo uso do, hoje denominado, Cone de Abrams. Formulou a conhecida Lei de Abrams, que relaciona a quantidade de água e de cimento (a/c), com a respectiva resistência à compressão, publicado no Bulletin nº 1 do Structural Materials Research Laboratory do Lewis Institute, Chicago, em 1918.

2.1.3.2 Tipos De Águas e Definições

De modo geral, em função de sua origem, é possível verificar se a água pode ser classificada como adequada ou não para a preparação do concreto, conforme item 3.2 a 3.8 da NBR 15900 - *Água para amassamento do concreto* (ABNT, 2009), distinguindo-se os tipos de água e suas definições a seguir:

3.2 Água de abastecimento público

Esta água é adequada para uso em concreto e não necessita ser ensaiada.

3.3 Água recuperada de processos de preparação do concreto

Água utilizada para limpar a parte interna de betoneiras de centrais misturadoras, de caminhões betoneiras, misturadores e bombas de concreto ou água proveniente do processo de recuperação de agregados de concreto fresco. Este tipo de água merece atenção especial, pois, só poderá ser utilizada se atender os requisitos do Anexo A da ABNT NBR 15900.

3.4 Água de fontes subterrâneas

Esta água pode ser classificada como adequada ao uso em concreto, mas deve ser analisada em laboratório.

3.5 Água natural de superfície, água de captação pluvial e água residual industrial

Esta água pode ser adequada para uso em concreto, mas também deve ser ensaiada. Exemplos de água residual industrial: águas recuperadas de processos de resfriamento, corte, fresagem, jateamento e polimento de concretos.

3.6 Água salobra

Somente pode ser usada para concreto não armado, mas também deve ser ensaiada em laboratório. De maneira geral, não é adequada à preparação de concreto protendido ou armado, devido aos elevados teores de cloretos, que podem comprometer a durabilidade do concreto pela corrosão das armaduras.

3.7 Água de esgoto e água proveniente de esgoto tratado

Este tipo de água não deve ser utilizada para uso em concreto.

3.8 Água de reuso proveniente de estação de tratamento de esgoto

É a água tratada por filtração e flotação em estações de tratamento de esgoto, a partir de afluente já tratado para usos não potáveis (ABNT NBR 15900-1/2009).

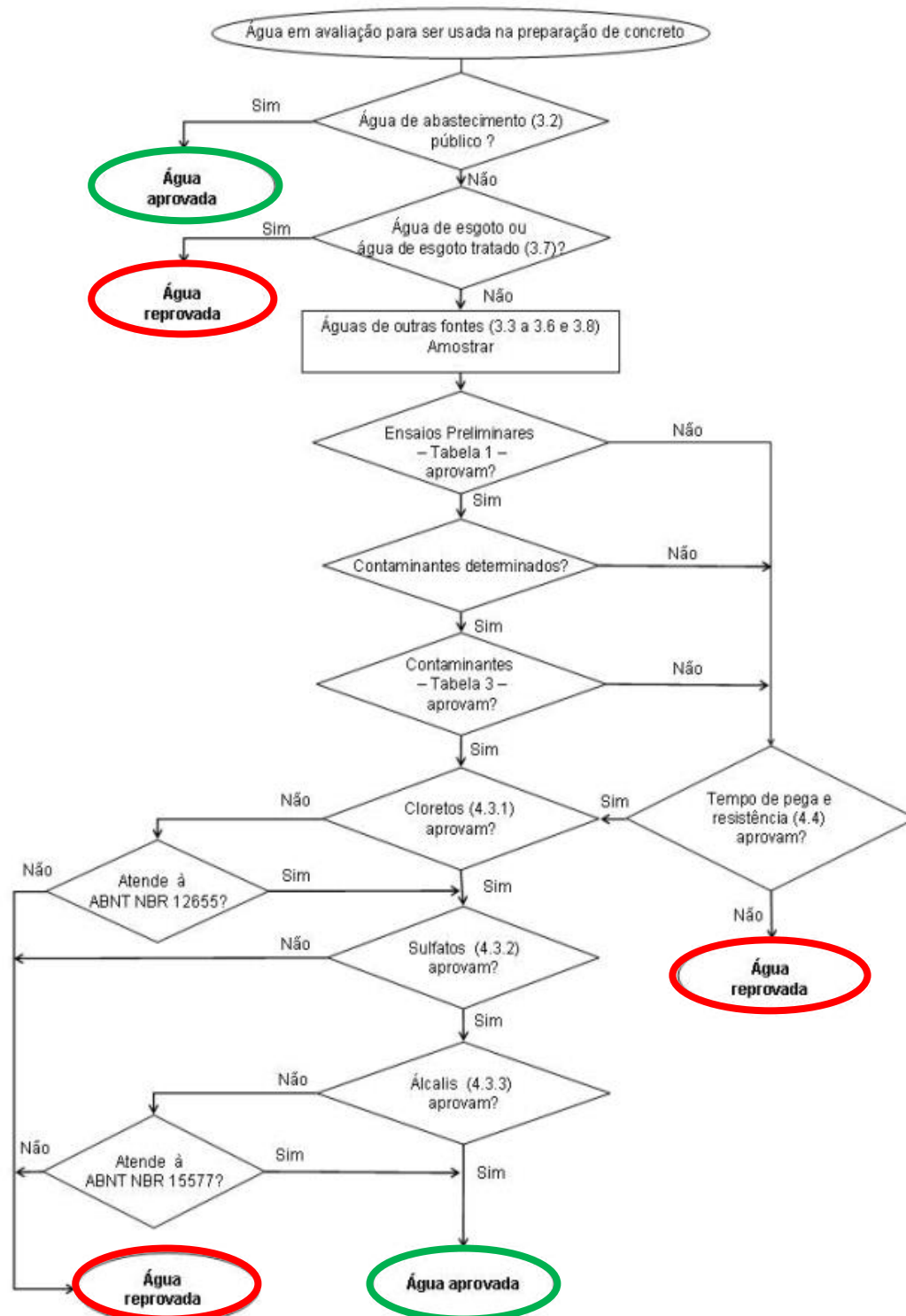
O eventual uso desta água está condicionado ao atendimento dos requisitos da NBR 15900 - *Água para amassamento do concreto* (ABNT, 2009).

2.1.3.3 Requisitos e Procedimentos De Ensaio

A água analisada para utilização como água para amassamento do concreto, deve estar em conformidade com as exigências dos itens referentes a avaliação preliminar de 2.1.4.3, propriedades químicas de 2.1.4.4 e resistência ao tempo de pega e resistência à compressão de 2.1.4.5. Se a água for do tipo águas combinadas, deve ser verificado o Anexo A da NBR 15900

- *Água para amassamento do concreto* (ABNT, 2009) e as suas exigências. O fluxograma Figura 2 a seguir, representa as diretrizes da sequência de ensaios a ser realizada nas amostras de água para aceitação ou rejeição dos seus resultados, visando a utilização adequada desta água como água para amassamento do concreto.

Figura 2: Fluxograma de aceitação da água para amassamento do concreto



Fonte: ABNT NBR 15900 (2009, p. 4)

Segundo Battagin (2011), para a correta coleta da água devem ser utilizados recipientes de plástico, sem uso ou provenientes do armazenamento de água potável, perfeitamente limpos e enxaguados com a mesma água que irão conter. Os recipientes devem ser perfeitamente fechados com tampas limpas, sem defeitos, previamente enxaguadas com a água da amostra extraída. Lembrando que os recipientes devem estar completamente preenchidos com esta água.

Ainda de acordo com Battagin (2011), para efetuar a vedação, é aceitável a utilização de rolha de borracha ou cortiça, desde que seja envolvida em papel manilha, filmes plásticos de polietileno ou fitas de politetrafluoretileno antes de ser colocada no recipiente, de modo a prevenir o seu contato direto com a água, cuidando para que após a amostragem, a água coletada, bem como seu recipiente e respectiva tampa, não sofram nenhuma espécie de contaminação.

2.1.3.4 Avaliação Preliminar

A água deve ser examinada de acordo com os procedimentos de ensaios descritos na NBR 15900-3 - *Água para amassamento do concreto – Parte 3: Avaliação preliminar* (ABNT, 2009), tendo como objetivo anteder aos requisitos da Tabela 6.

. Se a água não estiver de acordo com qualquer uma das exigências da Tabela 6, pode ser usada apenas se for comprovado que é adequada ao uso em concreto, atingindo o tempo de pega e a resistência à compressão necessária, de acordo com o item 2.1.3.6.

Tabela 6: Requisitos e procedimentos de ensaio para inspeção preliminar de água destinada ao amassamento de concreto

Parâmetro	Requisito	Procedimento de ensaio
Óleos e gorduras	Não mais do que traços visíveis	ABNT NBR 15900-3
Detergentes	Qualquer espuma deve desaparecer em 2 min	
Cor	A cor deve ser comparada qualitativamente com água potável devendo ser amarelo claro a incolor, exceto para a água classificada em 3.3	
Material sólido	Máximo de 50 000 mg/L	Para água de fontes classificadas em 3.3, utilizar a metodologia do Anexo A ou ABNT NBR 15900-3. Para os demais tipos de água aplica-se o Projeto ABNT NBR 15900-3
Odor	Água de fontes classificadas em 3.3 não devem apresentar cheiro, exceto um leve odor de cimento e, onde houver escória, um leve odor de sulfeto de hidrogênio após a adição de ácido clorídrico	ABNT NBR 15900-3
	Água de outras fontes deve ser inodora e sem odor de sulfeto de hidrogênio, após a adição de ácido clorídrico	
Ácidos	pH $\geq$ 5	
Matéria orgânica	A cor da água deve ser mais clara ou igual à da solução-padrão, após a adição de NaOH	

Fonte: ABNT NBR 15900 (2009, p. 5)

2.1.3.5 Propriedades Químicas

De acordo com a NBR 15900 – *Água para amassamento do concreto* (ABNT, 2009), deve-se analisar a quantidade de cloreto, sulfatos, álcalis, zinco, chumbo, fosfato, nitrato e o açúcar solúvel em água.

O teor de cloreto da água não pode exceder os valores máximos especificados na Tabela 7, salvo quando o teor de cloreto do concreto não exceder o valor máximo permitido pela NBR 12655 – *Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento* (ABNT, 2015), conforme ilustrado na Tabela 8.

Tabela 7: Teor máximo de cloreto em água para amassamento

Uso final	Teor máximo de cloreto mg/L	Procedimento de ensaio
Concreto protendido ou graute	500	ABNT NBR 15900-6
Concreto armado	1000	
Concreto simples (sem armadura)	4500	

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 15900 (2009, p. 6)

Tabela 8: Teor máximo de íons cloreto para proteção das armaduras do concreto

Classe de agressividade (5.2.2)	Condições de serviço da estrutura	Teor máximo de íons cloreto (Cl ⁻) no concreto % sobre a massa de cimento
Todas	Concreto protendido	0,05
III e IV	Concreto armado exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura	0,15
II	Concreto armado não exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura	0,30
I	Concreto armado em brandas condições de exposição (seco ou protegido da umidade nas condições de serviço da estrutura)	0,40

Fonte: ABNT NBR 12655 (2015, p. 11)

Segundo Helene (1997), a ação dos cloretos além de ocasionar a despassivação da armadura, aumentam significativamente a condutividade elétrica acelerando o processo de corrosão, provocando o aumento de volume da armadura e consequentes manchas e fissuras na estrutura, podendo chegar ao colapso.

Entre os agentes químicos mais agressivos ao material estão os sulfatos, também conhecidos como óxidos sulfúricos (SO₄²⁻). O mecanismo de ataque consiste em reagir com alguns compostos do cimento, promovendo expansão do material, podendo ocasionar fissuras e trincas ou até mesmo danos mais sérios nas estruturas a médio e longo prazo, Santos (2014).

O teor de sulfato, componente químico expresso como SO₄²⁻, deve ser menor que 2000 mg/L, conforme NBR 15900-7 - *Água para amassamento do concreto – Parte 7: Análise química – Determinação de Sulfato em água* (ABNT, 2009). Se o concreto for exposto a solos ou soluções que contenham esse agente, devem ser preparados com cimento que resistam aos seus ataques, de acordo com a NBR 5737 – *Cimentos Portland resistentes a sulfatos* (ABNT, 1992), atendendo também a Tabela 9, que se refere à relação água/cimento e a resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}).

Tabela 9: Requisitos para concreto exposto a soluções contendo sulfatos

Condições de exposição em função da agressividade	Sulfato solúvel em água (SO ₄) presente no solo % em massa	Sulfato solúvel (SO ₄) presente na água ppm ·	Máxima relação água/cimento, em massa, para concreto com agregado normal ^a	Mínimo f_{ck} (para concreto com agregado normal ou leve) MPa
Fraca	0,00 a 0,10	0 a 150	Conforme Tabela 2	Conforme Tabela 2
Moderada ^b	0,10 a 0,20	150 a 1 500	0,50	35
Severa ^c	Acima de 0,20	Acima de 1 500	0,45	40

^a Baixa relação água/cimento ou elevada resistência podem ser necessárias para a obtenção de baixa permeabilidade do concreto ou proteção contra a corrosão da armadura ou proteção a processos de congelamento e degelo.

^b A água do mar é considerada para efeito do ataque de sulfatos como condição de agressividade moderada, embora o seu conteúdo de SO₄ seja acima de 1500 ppm, devido ao fato de que a etringita é solubilizada na presença de cloretos.

^c Para condições severas de agressividade, devem ser obrigatoriamente usados cimentos resistentes a sulfatos.

Fonte: ABNT NBR 12655 (2015, p. 11)

Se forem utilizados no concreto, agregados que sejam potencialmente reativos com álcalis, de acordo com a NBR 15900-9 – *Água para amassamento do concreto – Parte 9: Análise química – Determinação de álcalis solúveis em água* (ABNT, 2009), o equivalente alcalino de óxido de sódio deverá ser de no máximo 1500 mg/L, caso o limite seja excedido, a água somente deverá ser utilizada após a comprovação de que as medidas de prevenção em relação a reação álcali-agregado foram devidamente tomadas, conforme ABNT NBR 15577-1: *Agregados – Reatividade álcali-agregado, parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto* (ABNT, 2008).

A reação álcalis-agregado (RAA) é um processo químico em que alguns constituintes mineralógicos do agregado reagem com hidróxidos alcalinos (provenientes do cimento, água de amassamento, agregados, pozolanas, agentes externos, etc.) que estão dissolvidos na solução do concreto. Como produto da reação forma-se um gel expansivo, que pode se manifestar de várias formas, desde expansões, movimentações diferenciais nas estruturas e fissurações, até mesmo diminuir a resistência à tração e à compressão (IBRACON, 2011).

Conforme a Norma Brasileira NBR 15900 – *Água para amassamento do concreto* (ABNT, 2009) outras substâncias que podem causar contaminações e influenciar os tempos de pega e resistência do concreto, como açúcares, fosfatos, nitratos, chumbo, zinco e materiais sólidos, têm seus procedimentos de ensaio referenciados na Tabela 10, os quais não devem exceder os limites de teores máximos conforme ilustrado nesta tabela. Na ausência destes ensaios ou quando os limites estabelecidos da Tabela 5 forem ultrapassados, devem ser

realizados ensaios de tempo de pega inicial e final e de resistência à compressão em amostras de referência, paralelamente com as amostras com a água de ensaio conforme 2.1.3.6.

Tabela 10: Métodos de ensaios para determinação dos contaminantes e seu teores máximos.

Contaminante à ser determinado	Teor máximo mg/L	Método de ensaio
Açúcares	100	ABNT NBR 15900-11
Fosfatos (P ₂ O ₅)	100	ABNT NBR 15900-8
Nitratos (NO ₃)	500	ABNT NBR 15900-10
Chumbo (Pb ²⁺)	100	ABNT NBR 15900-5
Zinco (Zn ²⁺)	100	ABNT NBR 15900-4
Material sólido	-	ABNT NBR 15900-3

Fonte: Adaptada ABNT NBR 15900 (2009, p. 6 e 7)

O gerente de laboratórios e geólogo da Associação Brasileira de Cimento Portland, Arnaldo F. Battagin, estabelece um breve resumo do efeito dessas substâncias contaminantes que podem ser encontradas. Os nitratos de chumbo, o zinco e o manganês, retardam a pega do concreto, enquanto os nitratos de cromo aceleram esta pega, já os fosfatos e boratos de zinco e chumbo reduzem a taxa de hidratação e conseqüentemente a resistência inicial, enquanto os sais de magnésio são denominados como aceleradores da pega e endurecimento, por fim temos o açúcar que também possui a característica de retardar o tempo de pega, sendo identificados os teores máximo dessas substâncias na Tabela 10.

2.1.3.6 Tempo De Pega e Resistência à Compressão

Conforme a NBR 15900 – *Água para amassamento do concreto* (ABNT, 2009), em amostras de concreto preparadas com a água de ensaio, neste caso a água da chuva, os tempos de início e fim de pega não devem diferir mais de 25% dos tempos de início e fim de pega obtidos com amostras preparadas com as chamadas águas de referência, conforme ilustrado na Tabela 11. Os limites dos tempos de início e fim de pega, para as amostras preparadas com a água em ensaio, devem estar de acordo com a Norma Brasileira do cimento utilizado. Sabendo que o cimento utilizado é o CP V-ARI, a Norma Brasileira que o rege é a NBR 5733 – *Cimento Portland de alta resistência inicial* (ABNT, 1991).

Ainda, de acordo com a NBR 15900 – *Água para amassamento do concreto* (ABNT, 2009), a resistência média à compressão aos 7 dias e 28 dias dos corpos-de-prova de concreto, preparados com a água em ensaio, devem alcançar pelo menos 90% da resistência à compressão média de corpos-de-prova preparados com água de referência, também ilustrado na Tabela 11.

Tabela 11: Limite de variância para tempo de pega e resistência a compressão

Ensaio		Água ensaio/referência
		Limites
Início de pega (min)		25%
Fim de pega (min)		25%
Resistência a compressão (MPa)	7 dias	90%
	28 dias	

Fonte: Autor (2016)

O tempo de *início de pega* é determinado como sendo o intervalo de tempo decorrido entre a adição da água de amassamento até o início das reações com os compostos de cimento. Já o tempo de *fim de pega* diferencia-se por ser determinado quando a pasta deixa de ser deformável para pequenas cargas e torna-se um bloco rígido. Após o *fim de pega*, a massa de cimento continua a aumentar em coesão e resistência, denominando-se esta fase de *endurecimento* (ELADIO G. T. PETRUCCI, 1998).

A Norma Brasileira NBR NM 65 – *Cimento Portland – Determinação do tempo de pega* (ABNT, 2003), determina o tempo de início de pega como sendo o “intervalo de tempo decorrido entre o instante que a água de amassamento é lançada ao cimento até o momento em que a agulha de Vicat correspondente é penetrada na pasta até uma distância de (4 ± 1) mm da placa base, podendo variar” (NBR NM 65, ABNT, 2003, p. 1). Já o tempo de fim de pega se diferencia apenas por ser analisado até o momento em que a agulha de Vicat penetra 0,5 mm na pasta. Para complemento, a NBR 5733 – *Cimento Portland de alta resistência inicial* (ABNT, 1991), estabelece um limite de até 1 hora para tempo de início de pega e de até 10 horas para o tempo de fim de pega.

A resistência à compressão deve ser analisada conforme NBR 7215 – *Cimento Portland – Determinação da resistência a compressão* (ABNT, 1996), que especifica o método para determinação da resistência à compressão do cimento Portland, variando resultados conforme o tipo do cimento utilizado. É medida através de ensaios de compressão e de tração por compressão diametral e também a corpos-de-prova prismáticos utilizados no ensaio de tração por flexão, atendendo as especificações da NBR 5738 – *Concreto – Procedimento para*

moldagem e cura de corpos-de-prova (ABNT, 2003), que prescreve os procedimentos para moldagem e cura dos corpos-de-prova de concreto. Em geral, os ensaios são realizados nas idades padrão de 7, 14 e 28 dias, possuindo variação nos resultados a diferentes corpos de prova de mesma composição. Os métodos de ensaio para determinação da resistência à compressão, devem seguir os métodos ilustrados na Tabela 12.

Tabela 12: Ensaio físicos

Determinação	Método
Tempo de pega da pasta	ABNT NBR NM 65
Resistência de corpos-de-prova cilíndricos de argamassa	ABNT NBR 7215
Moldagem, preparação e cura de corpos-de-prova de concreto	ABNT NBR 5738
Ruptura de corpos-de-prova de concreto	ABNT NBR 5739

Fonte: ABNT NBR 15900 (2009, p. 8)

3 CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

3.1.1 Tipo de estudo e local da pesquisa

Trata-se de um estudo de caso, realizado em uma indústria de pré-moldados e artefatos de concreto, fundada em 1992, localizada no município de Guaraniaçu, Paraná. A empresa pretende modificar seus métodos construtivos para melhorar o atendimento aos clientes, aumentar a competitividade no mercado e diminuir seu impacto ambiental.

O estudo teve a finalidade de identificar a possibilidade da utilização da água da chuva na produção do concreto pré-moldado, a fim de caracterizar os processos necessários para esta utilização, conforme estabelecido na NBR 15900 - *Água para amassamento do concreto – Requisitos* (ABNT, 2009), a qual classifica a água para amassamento do concreto.

Foram realizados também, estudos para verificar se o concreto composto com a água da chuva atinge valores superiores de resistência comparados ao concreto composto com água de abastecimento público, conforme a NBR 7215 – *Cimento Portland – Determinação da resistência a compressão* (ABNT, 1996), que classifica os procedimentos para obtenção da resistência à compressão do concreto.

Como complemento, foram realizados ensaios comparativos relacionados a consistência do concreto e classificação dos agregados utilizados na composição destas misturas, em conformidade com a NBR NM 67 - *Concrete - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone* (ABNT, 1996) e NBR 7211 – *Agregados para concreto – Especificação* (ABNT, 2009), respectivamente.

Desta maneira, esperou-se obter sucesso em todos os procedimentos para que a água da chuva possa ser utilizada na produção do concreto pré-moldado, a fim de promover maneiras sustentáveis nos métodos produtivos da empresa.

3.1.2 Caracterização das amostras

O estudo de caso desta pesquisa foi realizado em uma indústria de pré-moldados de concreto, localizada na BR 277, KM 524, no município de Guaraniaçu, região oeste do estado

do Paraná, sobre os lotes 01 e 02, quadra 01, do loteamento industrial II deste município, ilustrado na Figura 3. A indústria possui uma área térrea de aproximadamente 16.520m² (dezesesseis mil, quinhentos e vinte metros quadrados), sendo aproximadamente 1.840m² (um mil, oitocentos e quarenta metros quadrados) em área de cobertura, dividindo-se em ambiente administrativo e de produção.

Figura 3: Vista aérea do local da Indústria



Fonte: Adaptada do Google Maps (2017)

3.1.2.1 Água de amassamento do concreto

Dando início ao estudo, foi realizada a coleta de 30 (trinta) litros de amostras da água da chuva através da calha de uma das edificações existentes na empresa, identificada como “B1” na Figura 3, item 3.1.2 (p. 33). Esta água foi armazenada em recipientes de plástico de capacidade para 5 (cinco) litros cada, fechados com tampa de plástico com rosca para melhor vedação, conforme ilustrado na Figura 4. Estes recipientes eram utilizados para armazenar água potável, estando de acordo com as especificações de Arnaldo Battagin para ideal armazenamento da água, item 2.1.3.3 (p. 23).

A coleta da água de abastecimento público (Sanepar), classificada como água de referência, foi realizada no reservatório de água da empresa. Esta água foi utilizada como água de amassamento do concreto para a composição de uma nova mistura. Essa mesma água é utilizada na composição da mistura do concreto utilizado na produção de todos os elementos pré-moldados da indústria.

Figura 4: Recipientes com água da chuva para composição da mistura



Fonte: Autor (2017)

3.1.2.2 Materiais concreto

Os agregados utilizados para a composição das diferentes misturas de concreto foram retirados do estoque de matéria-prima da empresa. O procedimento de amostragem da areia e da brita, foram realizados conforme NBR NM 26 – *Agregados – Amostragem* (ABNT, 2001), a qual determina que as amostras devem ser compostas de materiais extraídos de diversos níveis e locais da pilha principal.

Foi necessário realizar a secagem dos agregados para que não houvesse diferenciação na quantidade de água utilizada para a composição das misturas. A secagem foi realizada ao sol, sem o uso de estufas ou de equipamentos específicos. Para isso, foram despejados 3 carrinhos de cada agregado em duas chapas metálicas distintas, posteriormente, os agregados foram espalhados para diminuir sua espessura sobre a chapa, auxiliando na secagem de todas as camadas, conforme ilustrado na Figura 5 e Figura 6.

Figura 5: Areia utilizada na mistura em processo de secagem



Fonte: Autor (2017)

Figura 6: Brita utilizada na mistura em processo de secagem



Fonte: Autor (2017)

O cimento utilizado para a produção do concreto foi do tipo CP V-ARI-RS – *Cimento de Alta Resistência Inicial e Resistente a Sulfatos*, da marca Votorantim (Figura 7), classificado para uso em Obras Especiais, no âmbito da fabricação de elementos ou estruturas pré-moldadas. A amostra do cimento foi coletada diretamente do saco, com o auxílio de uma colher de pedreiro. As amostras foram armazenadas em um recipiente de plástico, livre de umidade e sujeira.

Figura 7: Cimento utilizado na mistura



Fonte: Votorantim Cimentos, (2017)

3.1.2.3 Dosagem do concreto

Analisando a composição da mistura de concreto para produção de elementos pré-moldados para fins estruturais, pode-se obter diferentes dosagens na mistura do concreto, identificados também como diferentes *traços* na linguagem da construção civil.

O traço utilizado pela empresa na produção de elementos estruturais é de 1:4:4 (cimento:areia:brita 1), ou seja, para um saco de cimento, adiciona-se 4 carrinhos de areia e 4 carrinhos de brita 1, sendo que a água é dosada de acordo com o teor de umidade presente nos agregados utilizados.

Os carrinhos utilizados pela empresa como medida para composição do traço tem a dimensão de 35x35x30cm, ilustrado na Figura 8.

Figura 8: Carrinho utilizado como medida para traço do concreto



Fonte: Autor (2017)

O traço utilizado pela empresa é medido em volume, ou seja, a quantidade de volumes (carrinhos) que é adicionado na composição para preencher uma mistura com 1 saco de 50kg de cimento. O volume que compõe um carrinho é de $0,037\text{m}^3$ (metros cúbicos), para isso, em 50kg (quilogramas) de cimento, adiciona-se $0,148\text{m}^3$ (metros cúbicos) de cada agregado, com a pretensão de atingir a resistência mínima de 25MPa (Mega Pascal).

Para composição do concreto utilizado neste estudo, o traço foi transformado de volume (m^3) para massa (kg). Com o auxílio de uma balança, foi pesado a quantidade em massa do carrinho contendo areia, obtendo 58kg, e do carrinho contendo brita 1, obtendo 56Kg, concluindo que para 50kg de cimento é utilizado 232kg ($58\text{kg} \times 4$ carrinhos) de areia e 224kg de brita 1 ($56\text{kg} \times 4$ carrinhos).

Para a composição das duas misturas em estudo, classificadas como: Série 1 (concreto com água da chuva) e Série 2 (concreto com água de abastecimento público), foi reduzida a proporção para diminuir o desperdício de material, sabendo que a mistura seria utilizada apenas para a moldagem dos corpos de prova e análise do abatimento do concreto.

A proporção foi reduzida em 8 vezes, conforme Tabela 11, sendo utilizado na composição a quantidade de 6,25kg de cimento, 29kg de areia, 28kg de brita 1, e 6L (litros) de água, diferenciando-se apenas o tipo da água utilizada nas duas misturas. A trabalhabilidade do concreto relacionada com o fator água/cimento, foi considerada através de análise visual e da coesão ao mexer a mistura.

Tabela 13: Redução do traço para composição das misturas

DESCRIÇÃO	QTDE.	UNID.	COMPONENTES	MASSA (kg)
Traço EMPRESA	1	sc	Cimento	50,00
	4	un	Carrinho Areia	232,00
	4	un	Carrinho Brita 1	224,00
Redução para 1 Carrinho	1/4	sc	Cimento	12,50
	1	un	Carrinho Areia	58,00
	1	un	Carrinho Brita 1	56,00
Traço Utilizado ESTUDO	1/8	sc	Cimento	6,25
	1/2	un	Carrinho Areia	29,00
	1/2	un	Carrinho Brita 1	28,00

Fonte: Autor (2017)

3.1.3 Moldagem e cura dos corpos de prova

Os procedimentos para a moldagem e cura dos corpos de prova foram realizados de acordo com a NBR 5738 - *Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova* (ABNT, 2003).

As fôrmas utilizadas para moldagem foram do tipo cilíndrica com dimensões usuais de 100x200mm, conforme ilustrados na Figura 9.

Figura 9: Fôrmas cilíndricas para moldagem dos corpos de prova

Fonte: Autor (2017)

As amostras de concreto destinadas à preparação dos corpos de prova foram obtidas de acordo com a NBR NM 33 – *Concreto – Amostragem em concreto fresco* (ABNT, 1998), com o traço definido no item 3.1.2.3, dando início a preparação das misturas.

As misturas foram divididas e classificadas como: Série 1 e Série 2. A mistura da Série 1 é a mistura que contém em sua composição a água da chuva, classificada como a mistura de ensaio e a mistura da Série 2, é a qual contém água de abastecimento público em sua composição, classificada como mistura de referência.

Primeiramente, foi adicionado à betoneira a brita 1 e metade da água da quantidade de água a ser utilizada, em seguida acrescentou-se o cimento e por fim, a areia e o restante da água necessária, sendo que os componentes utilizados na primeira mistura foram os que compõem a mistura da Série 1, composta pela água da chuva, nas proporções estabelecidas no item 3.1.2.3 (p. 36).

Após recolher a amostra de concreto enquanto o mesmo estava sendo descarregado da betoneira, foi necessário misturar o concreto com o auxílio de uma colher de pedreiro, para que a mistura ficasse ainda mais homogênea e sem vazios no seu interior. Os mesmos procedimentos foram utilizados para a produção da mistura da Série 2, que se diferencia apenas pela utilização da água de abastecimento público como água de amassamento do concreto.

Sendo assim, foram moldados 12 corpos de prova (CP's) no total, ilustrados na Figura 10, sendo 6 corpos de prova com a mistura da Série 1 (Figura 9) e 6 corpos de prova com a mistura da Série 2. A moldagem foi realizada próximo ao local onde os corpos de prova foram armazenados nas primeiras 24 horas, intervalo de tempo em que não poderiam ser movimentados, ficando em lugar protegido, fora do alcance de intempéries (sol, vento, chuva etc.), estando de acordo com o especificado na NBR NM 33 – *Concreto – Amostragem do concreto fresco* (ABNT, 1998). Passadas as 24 horas, os corpos de prova foram levados e armazenados no laboratório até os 28 dias de idade, sem utilização de cura úmida, sendo submetidos a cura ao ar livre, método utilizado pela empresa para cura de seus produtos.

Figura 10: Corpos-de-prova da Série 1 (água da chuva)



Fonte: Autor (2017)

3.1.4 Coleta de dados

Os dados necessários foram obtidos através dos resultados de análises laboratoriais, sendo utilizadas como suporte, pesquisas em livros, artigos, sites e, principalmente, as normas vigentes.

3.1.4.1 Água da chuva como água para amassamento do concreto

A água da chuva foi enviada na quantidade de 20 litros ao laboratório BrasÁgua, especializado no tratamento de água e efluentes, localizado na Rua Presidente Bernardes, 2736, no município de Cascavel - Paraná.

Os dados necessários foram obtidos através da análise físico-química da água da chuva, sendo os resultados atentamente analisados conforme o fluxograma da Figura 2, item 2.1.3.3 (p. 23), identificando a possibilidade do uso desta água como água de amassamento do concreto, em concordância com os parâmetros da NBR 15900 – *Água para amassamento do concreto* (ABNT, 2009).

Uma das partes desta análise se refere a avaliação preliminar que consiste em determinar a quantidade de óleos, gorduras, ácidos, material sólido e matéria orgânica na composição da água. Também deve-se realizar a comparação da cor e do odor da água da chuva, classificada como água de ensaio em relação a água de abastecimento público, classificada como água de referência. As quantidades máximas por litro de água desses componentes estão ilustradas na Tabela 1, item 2.1.4.3.

A outra parte desta análise é realizada para determinação de agentes químicos, como cloretos, sulfatos, álcalis, fosfatos, nitratos e zinco, ilustrados no item 2.1.4.4.

Pela inexistência de parâmetros e componentes de laboratório para determinação da quantidade de detergentes, açúcares e de chumbo, os mesmos não foram analisados, sendo assim, em conformidade com o item 2.1.4.5, foi realizada a comparação da resistência à compressão das duas misturas. Este item relata que na ausência de ensaios para determinação de detergentes, açúcares e chumbo, podem ser realizadas comparações com análises de resistência à compressão do concreto entre a mistura de ensaio e a mistura de referência.

Para melhor identificação dos resultados, foi desenvolvida uma tabela comparativa entre os resultados obtidos através da análise físico-química em laboratório e os parâmetros da NBR 15900 – *Água para amassamento do concreto* (ABNT, 2009), Tabela 19, item 3.1.6 (p. 58).

3.1.4.2 Materiais concreto

Granulometria é a proporção relativa, em porcentagem, dos diferentes tamanhos de grãos que compõem o agregado. A composição granulométrica tem grande influência nas propriedades das argamassas e concretos. É determinada através do processo de peneiramento, com peneiras de determinada abertura constituindo uma série padrão. Esta distribuição é representada através de uma curva, a qual possibilita a determinação das características físicas dos agregados em estudo, sendo possível conhecer sua distribuição granulométrica (NEVILLE, 2003).

Parte dos agregados coletados, ilustrados no item 3.1.2.2, foram enviados ao laboratório para análise de suas propriedades físicas, através de ensaios de granulometria por peneiramento. Os procedimentos utilizados estão descritos na NBR NM 248 – *Agregados – Determinação da composição granulométrica* (ABNT, 2003).

Na realização do ensaio para as amostras do agregado miúdo (areia) foi necessário coletar a quantidade de 1 kg deste material. Já para os ensaios do agregado graúdo (brita) foi coletado amostras na quantidade de 2,5 kg, conforme ilustrados na Figura 11.

Figura 11: Pesagem das amostras de areia e brita para ensaio



Fonte: Autor (2017)

Sendo assim, procedeu-se o ensaio para as amostras de areia, montando o conjunto de peneiras com abertura de malha de 4,75; 2,36; 1,18; 0,600; 0,300; 0,150mm e fundo, encaixadas na ordem crescente (base para topo) da abertura de malha e adaptadas ao agitador de peneiras.

Para a realização dos ensaio com as amostras de brita, foi montado o conjunto de peneiras com abertura de malha de 19; 12,5; 9,35; 6,03; 4,75 e fundo, encaixadas na ordem crescente (base para topo) da abertura de malha e posteriormente dispostas no agitador de peneiras. O agitador de peneiras para a areia e para a brita estão ilustrados na Figura 12, respectivamente.

Figura 12: Peneiras adaptadas ao seus respectivos agitadores



Fonte: Autor (2017)

Os materiais foram despejados cuidadosamente sobre a peneira superior do seu conjunto, executando uma breve agitação para não deixar formar uma camada espessa do material sobre a peneira. Os conjuntos de peneiras foram agitados mecanicamente por 5 minutos em uma frequência de 2 Hz para os diferentes agregados, permitindo a separação dos diferentes tamanhos de grãos que compõem as amostras ensaiadas.

Passado o tempo de agitação estabelecido, as peneiras foram separadas e os materiais retidos em cada peneira foram pesados, anotando os valores em massa (g) na tabela de composição granulométrica, ilustrados na Tabela 14 e Tabela 17. O mesmo procedimento de ensaio foi realizado para a Amostra 1 e a Amostra 2 de cada agregado.

Os grãos que ficaram presos nas malhas foram retirados com o auxílio de uma escova de aço, de modo que nenhuma partícula fosse perdida.

Ao final do processo, foi conferido a massa total dos materiais retidos nas peneiras e no fundo com a massa seca inicial da amostra, sabendo que a diferença não poderia ultrapassar 0,8% da massa inicial. A diferença apresentada pode ter sido causada pela sensibilidade da balança utilizada no ensaio.

Através da mesma tabela de composição granulométrica (Tabela 14 e Tabela 17), foram calculados o percentual retido e retido acumulado para as duas amostras de cada ensaio. Para isto segue algumas definições conforme NBR 7211 – *Agregados para concreto – Especificação* (ABNT, 2009):

- Percentual Retido: “É a percentagem retida numa determinada peneira. Obtemos este percentual, quando conhecido o peso seco da amostra, assim pesamos o material retido, dividimos este pelo peso seco total e multiplicamos por 100”;
- Percentual Retido Acumulado: “É a soma dos percentuais retidos nas peneiras superiores, com o percentual retido na peneira em estudo”.

O percentual retido acumulado em relação a cada peneira da série utilizada forneceu os dados para a definição das curvas granulométricas dos agregados em estudo, sendo os valores retirados da média deste percentual da Amostra 1 e da Amostra 2 referente a cada ensaio. A Tabela 14 representa a composição granulométrica do agregado miúdo (areia) e a Tabela 17 representa a composição granulométrica do agregado graúdo (brita 1).

Para classificação do tipo de agregado também foram definidos o módulo de finura e o diâmetro máximo do agregado. Para isto segue algumas definições prescritas na NBR 7211 – *Agregados para concreto – Especificação* (ABNT, 2009):

- Módulo de Finura: “É a soma dos percentuais acumulados em todas as peneiras, dividido por 100. Quanto maior o módulo de finura, mais graúdo é o agregado”;
- Diâmetro Máximo: “Corresponde ao número da peneira da série normal na qual a porcentagem acumulada é inferior ou igual a 5%, desde que essa porcentagem seja superior a 5% na peneira imediatamente abaixo”.

Segundo Petrucci (1998), as areia de acordo com seu módulo de finura, podem ser classificadas em:

grossas		$3,30 < MF < 3,90$
médias		$2,40 < MF < 3,30$
finas		$MF < 2,40$

Tabela 14: Composição granulométrica do agregado miúdo

Abertura	Amostra 1			Amostra 2			% Média
Peneira (mm)	Massa (g)	%Ret	%RetAcum	Massa (g)	%Ret	%RetAcum	
9,5	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0
6,3	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0
4,75	0,81	0,08	0,08	1,89	0,19	0,19	0
2,36	9,50	0,95	1,03	10,71	1,06	1,25	1
1,18	49,17	4,90	5,93	52,25	5,19	6,44	6
0,6	139,46	13,90	19,83	149,65	14,85	21,29	21
0,3	300,35	29,94	49,76	316,71	31,43	52,72	51
0,15	464,73	46,32	96,08	438	43,47	96,20	96
Fundo	39,29	3,92	100,00	38,33	3,80	100,00	100
Total	1003,31			1007,54			

Fonte: Autor (2017)

Com a análise dos dados obtidos, a areia foi classificada como areia média, com o valor do Módulo de finura = 2,75mm e Diâmetro máximo = 2,36mm.

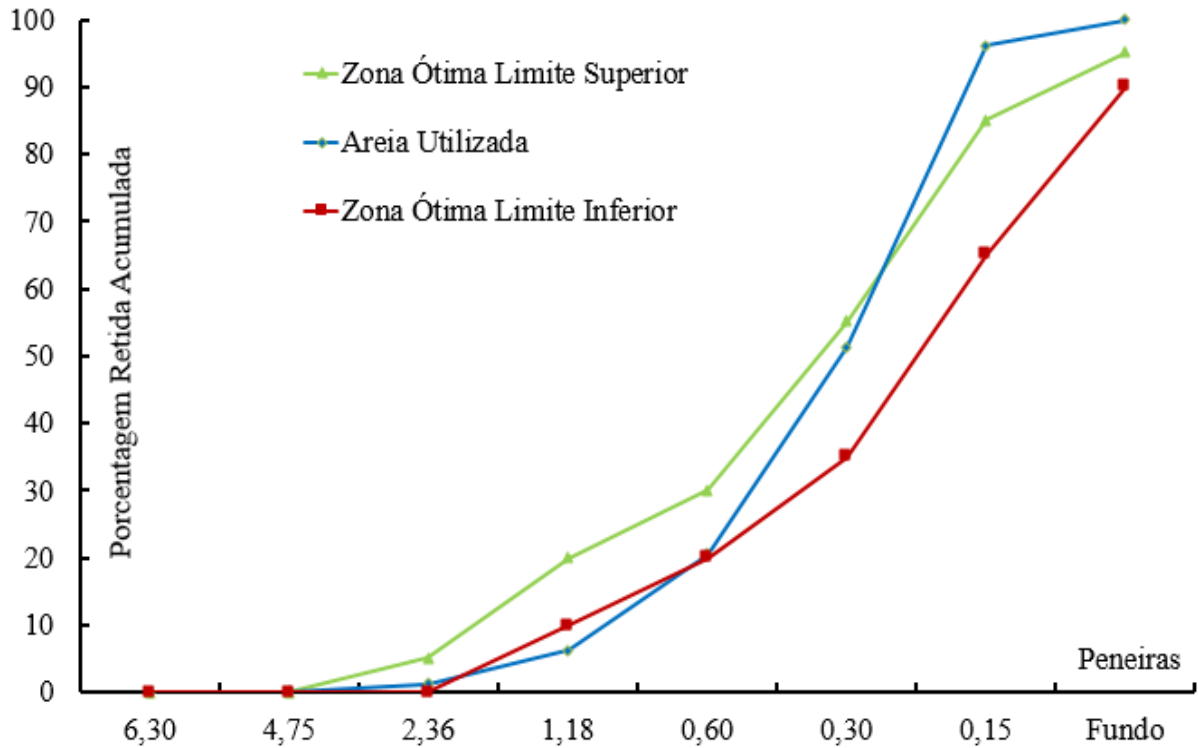
Conforme a NBR 7211 – *Agregados para concreto – Especificação* (ABNT, 2009) os limites de distribuição granulométrica do agregado miúdo são definidos pelos limites da Zona Utilizável e da Zona Ótima, ilustrado na Tabela 15. Sendo que a Zona Ótima, para a mesma resistência e consistência se tem um menor consumo de cimento para a composição da mistura e a Zona Utilizável é uma adequação para que a areia possa ser utilizada, tendo, porém, um maior consumo de cimento na mistura.

Tabela 15: Limites de distribuição granulométrica do agregado miúdo (ABNT NBR 7211)

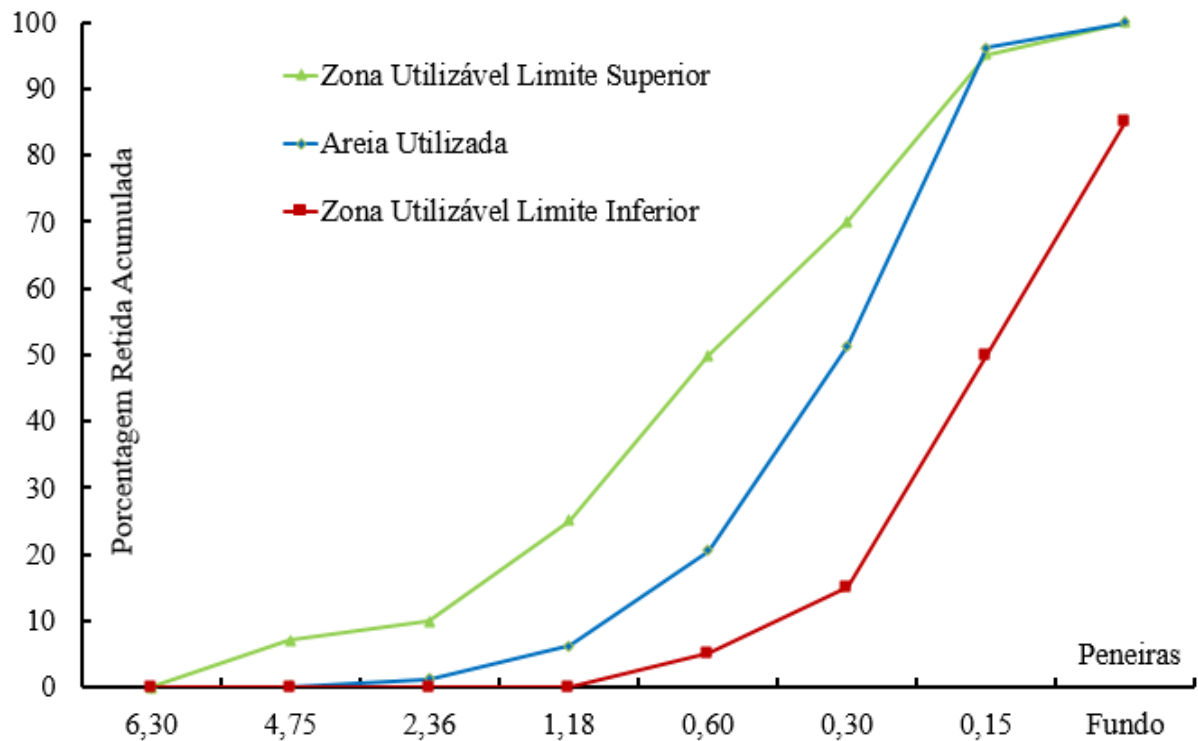
Abertura	Zona Utilizável		Zona Ótima		Areia
Peneira (mm)	Limite Inferior	Limite Superior	Limite Inferior	Limite Superior	X
6,30	0	0	0	0	0
4,75	0	7	0	0	0
2,36	0	10	0	5	1
1,18	0	25	10	20	6
0,60	5	50	20	30	21
0,30	15	70	35	55	51
0,15	50	95	65	85	96
Fundo	85	100	90	95	100

Fonte: Autor (2017)

Como resultado, obteve-se as curvas granulométricas do agregado miúdo, referente a Zona Ótima (Gráfico 1) e Zona Utilizada (Gráfico 2).

Gráfico 1: Curva granulométrica referente à Zona Ótima da Areia

Fonte: Autor (2017)

Gráfico 2: Curva granulométrica referente à Zona Utilizável da Areia

Fonte: Autor, 2017

Segundo Petrucci (1998), o estudo da granulometria para os agregados graúdos, não tem a mesma importância que para os agregados miúdos. Para maior detalhe granulométrico, neste ensaio, encontra-se peneiras intermediárias à da série normal, conforme segue:

<i>Série Normal</i>	<i>Série Intermediária</i>
-	25mm
19mm	-
-	12,5mm
9,5mm	-
-	6,3mm
4,75mm	-

Esta diferenciação entre as peneiras da Série Normal e Intermediária é necessária para determinar o módulo de finura do agregado graúdo, definido pela soma das porcentagem retidas acumuladas das peneiras da Série Normal, dividido por 100. A Tabela 16 mostra os limites granulométricos para o agregado graúdo, neste caso estão entre a Zona 9,5/25, Graduação 1.

Tabela 16: Limites granulométricos do agregado graúdo

Tamanho da malha da Peneira (mm)	Classificação - Graduação				
	0	1	2	3	4
	% 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	-	-	-	-	0 – 5
63	-	-	-	-	5 – 30
50	-	-	-	0 – 5	75 – 100
37,5	-	-	-	5 – 30	90 – 100
31,5	-	-	0 – 5	75 – 100	95 – 100
25	-	0 – 5	5 – 25 ⁽²⁾	87 – 100	-
19	-	2 – 15 ⁽²⁾	65 ⁽²⁾ – 95	95 – 100	-
12,5	0 – 5	40 ⁽²⁾ – 65 ⁽²⁾	90 – 100	-	-
9,5	2 – 15 ⁽²⁾	80 ⁽²⁾ – 100	95 – 100	-	-
6,3	40 ⁽²⁾ – 65 ⁽²⁾	92 – 100	-	-	-
4,75	80 ⁽²⁾ – 100	95 – 100	-	-	-
2,36	95 – 100	-	-	-	-

(1) – Zona granulométrica correspondente a menor (d) e a maior (D) dimensão do agregado;

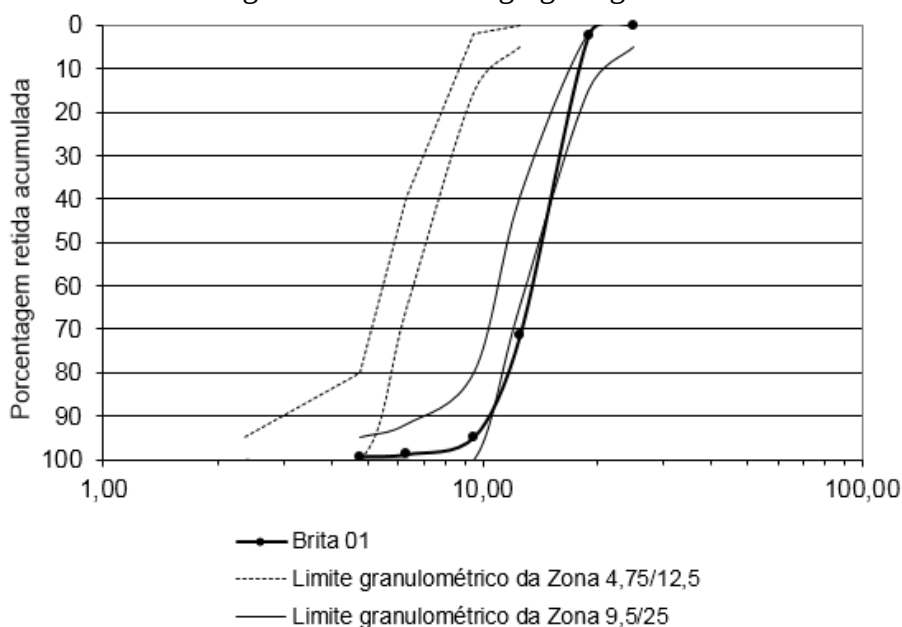
(2) – Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo cinco unidades percentuais em apenas um dos limites marcados com (2). Esta variação pode também estar distribuída em vários desses limites.

Tabela 17: Composição granulométrica do agregado graúdo

Peneiras (mm)	Amostra 1			Amostra 2			% Retida Média	% Retida Acumulada Média
	Massa retida (g)	% Retida	% Retida Acumulada	Massa retida (g)	% Retida	% Retida Acumulada		
25,00	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0	0	0
19,00	44,0	1,7	2	66,0	2,6	3	2	2
12,50	1712,0	67,6	69	1800,0	71,2	74	69	72
9,50	624,0	24,6	94	548,0	21,7	95	23	95
6,30	124,0	4,9	99	84,0	3,3	99	4	99
4,75	14,0	0,6	99	12,0	0,5	99	1	99
Fundo	16,0	0,6	100	18	0,7	100	1	100
Pó		0,0	100		0,0	100	0	100
Soma	2534,0			2528,0				
		Amostra 1		Amostra 2				
Massa inicial (g)		2500		2500				
Massa final (g)		2534		2528				
Módulo de finura		6,96						
Dimensão máxima		19 mm						
Dimensão mínima		6,3 mm						
Classificação		se encaixa na zona 9.5/25						

Fonte: Autor (2017)

Com todos os dados estabelecidos para o agregado graúdo, tem-se como resultado a curva granulométrica da Brita em estudo. Sendo ela, classificada como *Brita 1*, estando entre a zona 9,5/25, tendo como dimensão máxima do agregado o tamanho de 19mm e dimensão mínima de 6,3mm, conforme ilustrado na Tabela 17. O Gráfico 3 ilustra a curva granulométrica do agregado graúdo.

Gráfico 3: Curva granulométrica do agregado graúdo

Fonte: Autor (2017)

Segundo a NBR 5733 – *Cimento Portland de alta resistência inicial* (ABNT, 1991), o cimento CP V-ARI-RS deve obedecer aos parâmetros de resistência da Tabela 5 desta norma, a qual mostra que aos 7 dias de idade deve atingir a resistência à compressão mínima de 34MPa. Como comprovação dos resultados, ilustra-se na Tabela 18 deste estudo, os índices de resistência para este tipo de cimento.

Tabela 18: Boletim de qualidade do cimento CP V-ARI-RS Obras Especiais

Atualizado em:	19/05/2017	Produto:	CPV-ARI-RS Obras Especiais	Norma:	NBR 5733 e NBR 5737										
Mês e ano de referência	mai/17	Marca:	Votoran	Unidade:	Rio Branco										
Ensaio	Químicos				Físicos e mecânicos										
	Teores (%)				Finura(%)		Blaine	Água de amolec. (PL)	Tempo Pega		Expansão a quente (mm)	Resist.à Compressão (MPa)			
	PF	MgO	SO3 para C ₃ A>8	RI	#200	#325	(cm²/g)	consist.(%)	Início (min)	Fim (min)		1 Dia	3 Dias	7 Dias	28 Dias
Limites de Norma	≤ 4,5	≤ 6,5	≤4,5	N/A	≤ 6,0	N/A	≥ 3000	N/A	≥ 60	≤ 600	≤ 5,0	≥ 11,0	≥ 24,0	≥ 34,0	N/A
01/05/2017															
02/05/2017	3,1	5,5	3,1	13,2	0,0	0,8	4970	29,6	220	280	0,0	21,7	32,6	37,9	
03/05/2017	3,3	5,5	3,1	12,1	0,0	0,5	4970	29,8	240	300	0,5	22,1	33,0	42,3	
04/05/2017	3,2	5,7	3,1	10,5	0,0	0,5	5300	29,8	240	315	0,5	22,4	34,6	41,1	
05/05/2017	3,3	5,5	3,1	12,2	0,0	1,0	4890	30,0	240	300	0,5	22,0	34,4	41,4	
06/05/2017															
07/05/2017															
08/05/2017	3,3	5,7	3,1	12,4	0,0	1,0	4890	29,8	245	305	0,5	22,3	34,3	41,3	
09/05/2017	3,2	5,6	3,0	11,3	0,0	0,4	4940	29,8	220	280	0,0	22,2	34,0	42,2	
10/05/2017	3,0	5,6	3,1	11,8	0,0	0,5	4920	30,1	230	295	0,0	23,7	35,0	41,8	
11/05/2017	3,2	5,5	3,1	12,4	0,0	0,8	4920	29,7	240	310	0,0	22,7	36,4		
12/05/2017	3,6	5,6	3,3	12,2	0,2	1,4	5370	29,8	220	280	0,5	23,6	34,5		
Média	3,3	5,7	3,1	11,5	0,0	0,8	4966	29,8	229	291	0,2	22,7	34,3	41,1	
Desvio Padrão	0,2	0,2	0,1	1,6	0,1	0,4	186	0,2	13	16	0,3	0,7	1,1	1,5	
Mínimo	3,0	5,5	3,0	6,9	0,0	0,4	4730	29,6	210	270	0,0	21,7	32,6	37,9	0,0
Máximo	3,6	6,0	3,3	13,2	0,2	1,4	5370	30,1	245	315	0,5	23,7	36,4	42,3	0,0

Fonte: Votorantim (2017)

3.1.5 Controle tecnológico do concreto

Após a amostragem do concreto para a moldagem dos corpos de prova e teste de abatimento do concreto, foram anotados todos os dados necessários para identificação dos componentes utilizados em cada mistura, da Série 1 e da Série 2. Os dados foram anotados na Ficha de Controle Tecnológico do Concreto, conforme modelo ilustrado na Figura 13. Os dados de controle estão descritos no Anexo A deste trabalho.

Para maior controle, cada corpo de prova foi identificado com um selo, contendo a data de moldagem, lote, série e o número da amostragem, sendo este último item, preenchido no momento do rompimento dos corpos de prova em concordância com a ordem do relatório de rompimento dos mesmos (Anexo B).

Figura 13: Formulário de preenchimento Ficha de Controle Tecnológico do Concreto

CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO														
Identificação da empresa:					Código: 1									
					Série: 2			N° Amostragem: 3						
					Lote: 4									
					Moldador: 5									
CLIENTE: 6														
OBRA: 7														
O CONCRETO														
Fck 8		Abatimento 9		Areia 11 1 ☐ Natural 2 ☐ Artificial 3 ☐ Natural + Artificial			Aditivos 14 1 ☐ Plastificante 2 ☐ Fluidificante 3 ☐ Retardador 4 ☐ Acelerador 5 ☐ Impermeabilizante 6 ☐ Outros		Data 15 / / Hora 16 :					
Cimento 1 ☐ Portland/POZ 2 ☐ ARI 3 ☐ Alto Forno Marca: _____			Brita 12 0 1 2 3 ☐ ☐ ☐ ☐			Traço 13 (Cimento : Areia : Brita : Água)			Tempo ☐ Bom 17 ☐ Nublado ☐ Chuva Temp. _____ °C					
PEÇA CONCRETADA					DISCRIMINAÇÃO									
1 ☐ Fundações 2 ☐ Postes 3 ☐ Galpões Pré-Moldados 4 ☐ Tubos 5 ☐ Terças					6 ☐ Pilares 7 ☐ Vigas 8 ☐ Lajes 9 ☐ Escadas 10 ☐ Reservatórios 18					19				
PROCEDÊNCIA			OBS: PLANO DE ROMPIMENTO				RESULTADOS							
☐ Usina 20 ☐ Betoneira ☐ Planetária ☐ Na Obra			22				Abatimento 23							
Nota Fiscal 21							1 2 3							
							Ar incorporado 24							
RESULTADOS														
Idades	25													
Datas	26													
Resistências	27	28												

Fonte: Autor (2017)

Sabendo que para o ideal preenchimento da Ficha de Controle Tecnológico do Concreto (Figura 13) em estudo, segue o manual de preenchimento, ilustrado na Figura 14, estabelecendo que para cada número, tem-se como se deve proceder o preenchimento.

Figura 14: Manual de preenchimento da Ficha de Controle Tecnológico do Concreto

1 – CÓDIGO: Código interno, preenchido pela Empresa Contratada; 2 – SÉRIE: É um número em sequência criado na própria obra; Ex.: 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – etc. 3 – N° AMOSTRAGEM: Identificação conforme rompimento dos CP's; 4 – LOTE: Anotar de que pavimento, local, ou determinado tipo de produto a amostra foi retirada; Ex.: subsolo, térreo, pilar gaveta, viga T, etc. 5 – MOLDADOR: Nome do funcionário responsável pela moldagem dos corpos de prova; 6 – CLIENTE: Nome da pessoa física ou jurídica; 7 – OBRA: Nome da obra e local; Ex.: Barracão 2 Pav, Campo Bonito – PR. 8 – Fck: Resistência Característica do concreto especificada em projeto; Ex.: 25Mpa, especificado em projeto estrutural ou pelo Engenheiro responsável. 9 – ABATIMENTO: Abatimento do concreto especificado em projeto, ou em nota fiscal da compra do concreto usinado. (Expresso em mm); Ex.: 80 ± 10, 120 ± 10, etc, especificado em projeto ou pelo Engenheiro responsável. 10 – CIMENTO: Tipo de cimento, utilizado no concreto, dada as opções, lembrando de anotar o nome cimento utilizado; Ex.: CP-32, Votoran, Itambé, etc. 11 – AREIA: Tipo de areia usada, dada as opções; 12 – BRITA: Tipo de brita usada, dada as opções; 13 – TRAÇO: Anotar o traço desejado, especificado em projeto ou pelo Engenheiro responsável. Explicar o tipo de traço no item 19;	14 – ADITIVOS: Tipo de aditivos utilizados no concreto, dada as opções, lembrando de anotar seu nome/marca; 15 – DATA: Dia/Mês/Ano, da moldagem dos CP's; 16 – HORA: Hora : Minuto, da moldagem dos CP's; 17 – TEMPO: Condições climáticas, no momento da moldagem dos CP's, dada as opções, lembrando de anotar a temperatura aproximada. 18 – PEÇA CONCRETADA: Informar através das opções o tipo de peça a ser concretada para análise; 19 – DISCRIMINAÇÃO: Discriminar todos os dados da peça a ser moldada os CP's assim como o tipo de traço, se é dado em volume ou em massa; 20 – PROCEDÊNCIA: Informar através das opções, onde o concreto foi misturado; 21 – NOTA FISCAL: Caso o concreto seja fornecido por usina, informar o n° da nota fiscal emitida; 22 – PLANO DE ROMPIMENTO: Informar o plano de rompimento desejado; Ex.: 2 unidades aos 7 dias (2 – 3d) e 2 unidades aos 28 dias (2 – 28d). 23 – ABATIMENTO: Se for feito Slump Test na moldagem, anotar o abatimento (medido em centímetros, cm); 24 – AR INCORPORADO: Se for feito teste de ar incorporado, anotar neste campo em formato de porcentagem (%); 25, 26, 27 E 28 – RESULTADOS: Após termino dos rompimentos serão anotados os valores de resistência adquiridos e demais resultados.
---	---

Fonte: Autor (2017)

A Figura 15 ilustra o selo de identificação utilizado para cada corpo de prova, sendo que o número da amostra foi anotado no momento de rompimento do mesmo, estando em

conformidade com a ordem dos relatórios obtidos pelo Ensaio de Compressão Axial em laboratório, ilustrados no Anexo B.

Figura 15: Selo de identificação do corpo de prova



Fonte: Autor (2017)

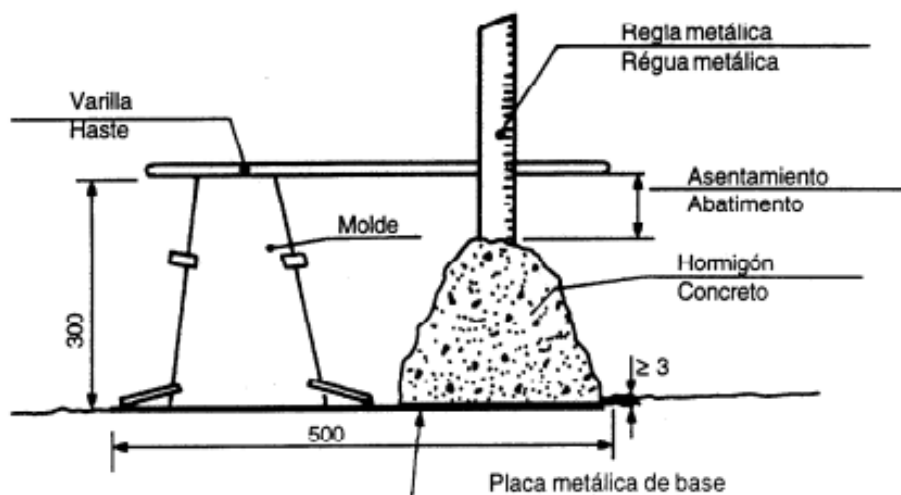
3.1.5.1 Análise do concreto no estado fresco

Segundo Petrucci (1998), a consistência da mistura é um dos principais fatores que influenciam na trabalhabilidade do concreto. O termo consistência está relacionado a características próprias do concreto, como a mobilidade da massa e a coesão entre seus componentes. Conforme se modifica o teor de umidade que determina a consistência da mistura, alteram-se também suas características de plasticidade e permite-se a maior ou menor deformação do concreto perante aos esforços que o mesmo deve resistir.

Ainda segundo Petrucci (1998), “a trabalhabilidade depende, além da consistência do concreto, de características da obra e dos métodos adotados para o transporte, lançamento e adensamento do concreto.”

Um dos métodos mais utilizados para determinar a consistência do concreto é o ensaio de abatimento do tronco de cone, também conhecido como *Slump Test*. Os procedimentos de

Figura 17: Medição do abatimento do concreto



Fonte: ABNT NBR NM 67 (1996, p. 7)

Foram refeitos os mesmos procedimentos por mais 2 vezes para cada amostra, analisando a variância de resultados de abatimento para a mesma mistura.

3.1.5.2 Análise do concreto no estado endurecido

Segundo Petrucci (1998), a análise do concreto no estado endurecido é realizada através de testes de resistência pelo método do ensaio de compressão axial. Os procedimentos utilizados para a execução dos ensaios estão prescritos na NBR 5739 – *Concreto – Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos* (ABNT, 2007) e NBR 7211 – *Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão* (ABNT, 2009).

Os corpos de prova moldados conforme item 3.1.3, foram submetidos aos ensaios de compressão aos 7 e 28 dias após moldagem. O plano de rompimento determinado para este estudo foi de 3 (três) corpos de prova de cada mistura, rompidos aos 7 dias e os outros 3 (três) aos 28 dias.

Dando início aos ensaios, os corpos de prova foram submetidos ao processo de retificação (Figura 18), efetuando o nivelamento das superfícies superior e inferior, para que fossem encaixados perfeitamente na prensa hidráulica.

Figura 18: Corpos de prova em processo de retificação



Fonte: Autor (2017)

Após retifica, cada corpo de prova foi encaixado na Prensa Hidráulica, então, iniciou-se o ensaio de compressão axial, ilustrado na Figura 19.

Figura 19: Rompimento dos CP's



Fonte: Autor (2017)

A prensa exerce uma força gradual de compressão sobre o corpo de prova até que o mesmo deixe de resistir 10% da resistência máxima (kgf). A força exercida é dividida pela área do topo da amostra (cm²), tendo como resultado a resistência em kgf/cm², que, para transformar em MPa (Mega Pascal), divide-se por 10,1972, obtendo por fim resultados de resistência em

MPa. Assim, verifica-se a resistência máxima padronizada para o tipo de traço do concreto utilizado. Os resultados para os 6 corpos de prova da mistura da Série 1 e os 6 corpos de prova da Série 2, estão ilustrados no Gráfico 4, item 4.1.3.

3.1.6 Análise da água

Foram analisados os resultados da análise físico-química da água chuva (água de ensaio – Série 1), em conformidade com os parâmetros estabelecidos no Fluxograma da Figura 2, item 2.1.3.3 (p. 22), referente aos requisitos da NBR 15900 – *Água para amassamento do concreto* (ABNT, 2009), a qual identifica se a água ensaiada pode ou não ser utilizada como água de amassamento do concreto. Para melhor visualização, os dados foram analisados com o auxílio da Tabela 19, identificando lado a lado os parâmetros da norma com os resultados do teste de laboratório das águas da chuva e dados fornecidos pela Sanepar, referentes a água de abastecimento público.

Tabela 19: Comparação dos Requisitos da NBR 15900 com a análise das águas

Inspeção Preliminar			
Parâmetros	Requisitos NBR 15900	Análise Físico-Química Água de Ensaio	Análise Físico-Química Água de Referência
Óleos e Graxas			
Cor			
Material Sólido			
Sólidos Dissolvidos			
Sólidos Totais			
Odor			
Ácidos (pH)			
Matéria Orgânica (DQO)			
Propriedades Químicas			
Parâmetros	Requisitos NBR 15900	Análise Físico-Química Água de Ensaio	Análise Físico-Química Água de Referência
Cloreto			
Sulfatos (SO_4^{2-})			
Alcalinidade			
Fosfatos (P_2O_5)			
Nitratos (NO_3)			
Zinco (Zn^{2+})			

Fonte: Autor (2017)

3.2 Análise dos dados

Foram também analisados, os resultados de resistência à compressão aos 7 e 28 dias após moldagem dos corpos de prova, assim como a trabalhabilidade do concreto pelo método do abatimento do tronco de cone (*Slump Test*) no momento da moldagem dos corpos de prova, conforme item 3.1.5.1 (p. 47) e 3.1.5.2 (p. 49)

Com os dados obtidos, foram comparados os resultados da amostra da Série 1 (concreto com água da chuva) com os da Série 2 (concreto com água de abastecimento público) e analisados em conjunto com o resultado físico-químico da água de amassamento utilizada para cada caso.

4 CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1.1 Água da chuva como água de amassamento do concreto

Com a conclusão dos procedimentos de ensaio para análise físico-química da água da chuva, o laboratório responsável pela análise, forneceu os dados necessários para realizar a comparação desta análise com os requisitos da NBR 15900 – *Água para amassamento do concreto* (ABNT, 2009) e os resultados da análise Físico-Química da água de referência (água de abastecimento público), conforme ilustrado na Tabela 20.

Tabela 20: Comparação dos requisitos da NBR 15900 e das análises das águas utilizadas

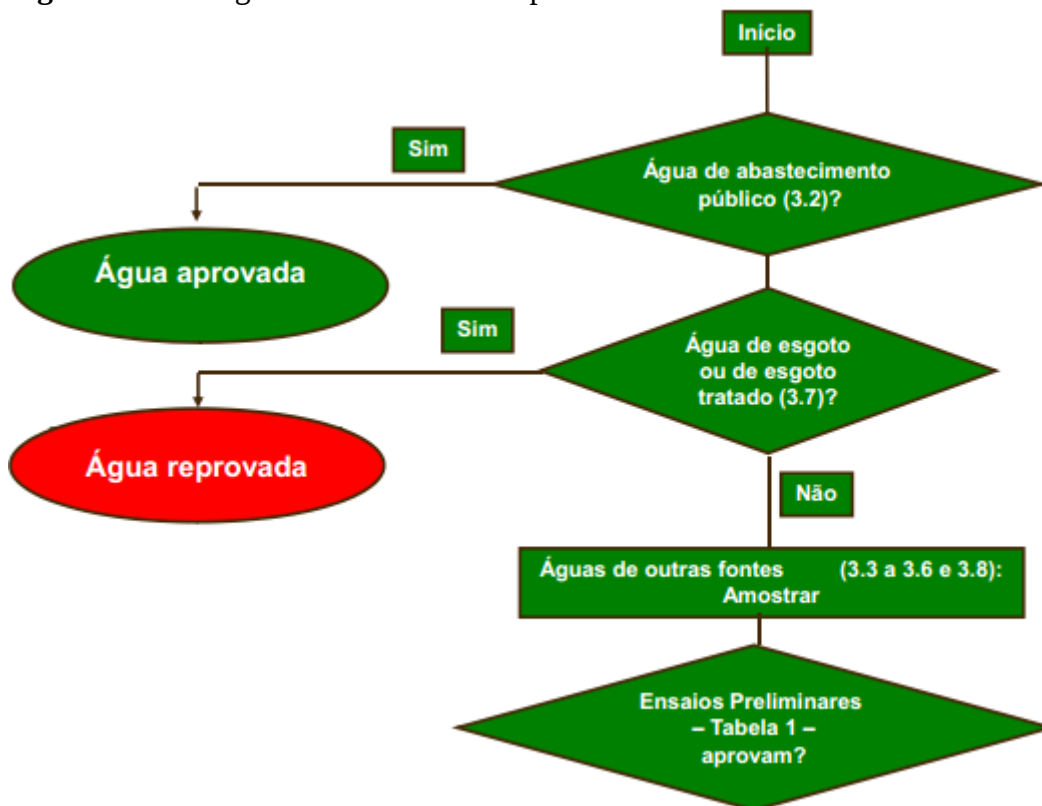
Inspeção Preliminar			
Parâmetros	Requisitos NBR 15900	Análise Físico-Química Água de Ensaio	Análise Físico-Química Água de Referência
Óleos e Graxas	Não mais do que traços visíveis	< 0,40 mg/L	0,00 mg/L
Cor	7 uH	3,0 uH	2,5 uH
Material Sólido	-	-	-
Sólidos Dissolvidos	1000 mg/L	40 mg/L	0,00 mg/L
Sólidos Totais	1000 mg/L	60 mg/L	0,00 mg/L
Odor	Não há odor	NO	NO
Ácidos (pH)	>5,00 Un.pH	7,78 Un.pH	8,90 Un.pH
Matéria Orgânica (DQO)		< 0,70 mg/L	0,00 mg/L
Legenda: NO - Não objetável			
Propriedades Químicas			
Parâmetros	Requisitos NBR 15900	Análise Físico-Química Água de Ensaio	Análise Físico-Química Água de Referência
Cloreto	1000 mg/L	3,55 mg/L	1,10 mg/L
Sulfatos (SO_4^{2-})	2000 mg/L	< 2,00 mg/L	-
Alcalinidade	1500 mg/L	14,00 mg/L	-
Fosfatos (P_2O_5)	100 mg/L	0,37 mg/L	-
Nitratos (NO_3)	500 mg/L	0,00 mg/L	-
Zinco (Zn^{2+})	100 mg/L	0,08 mg/L	-

Fonte: Autor (2017)

O estudo se trata da análise da água de captação pluvial (água da chuva), a qual foi ensaiada para posterior aprovação, conforme procedimento prescritos na NBR 15900 (ABNT, 2009). Iniciando a análise, foi realizada a comparação entre os requisitos da NBR 15900

(ABNT, 2009) e os resultados obtidos em laboratório para parâmetros físico-químicos da água da chuva. Iniciando a análise dos resultados através da Figura 20 conforme segue:

Figura 20: Fluxograma inicial – Ensaio preliminares



Fonte: Adaptada ABNT NBR 15900 (2009)

A água de abastecimento público, a qual também foi utilizada, não necessitou de ensaio, sendo aprovada para usa-la na composição do concreto, conforme ilustrado na Figura 20.

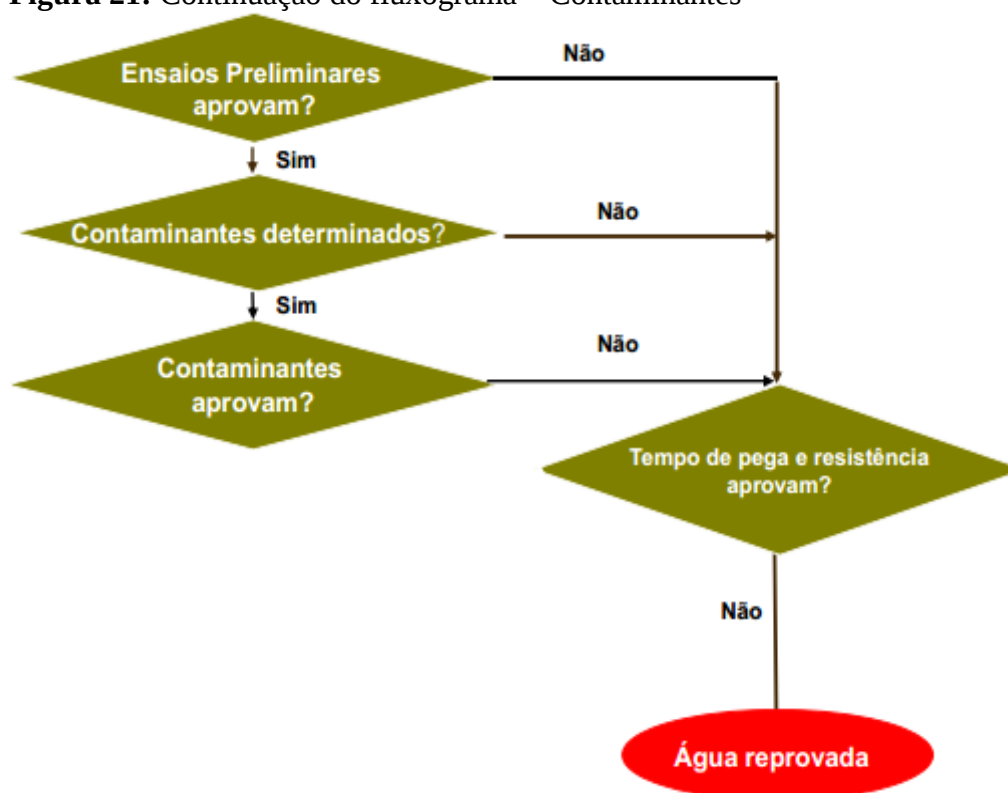
Para análise da água da chuva foram realizados os ensaio preliminares, o qual consiste em determinar óleos e gorduras, cor, resíduos sólidos, odor, ácidos e a existência de matéria orgânica. O resultado deste ensaio está ilustrado na Tabela 21, sendo todos aprovados.

Tabela 21: Resultado dos ensaio preliminares

Parâmetros	Requisitos NBR 15900	Análise Físico-Química Água de Ensaio
Óleos e Graxas	Não mais do que traços visíveis	< 0,40 mg/L
Cor	7 uH	3,0 uH
Material Sólido	-	-
Sólidos Dissolvidos	1000 mg/L	40 mg/L
Sólidos Totais	1000 mg/L	60 mg/L
Odor	Não há odor	NO
Ácidos (pH)	>5,00 Un.pH	7,78 Un.pH
Matéria Orgânica (DQO)		< 0,70 mg/L

Fonte: Autor (2017)

Após obter os resultados dos ensaio preliminares, continua-se os procedimentos de ensaio conforme pede o fluxograma da NBR 15900 (ABNT, 2009), ilustrado na Figura 21.

Figura 21: Continuação do fluxograma – Contaminantes

Fonte: Adaptada ABNT NBR 15900 (2009)

Os contaminantes são substâncias que podem interferir na cinética de hidratação, prejudicando a reologia, o tempo de pega e a resistência do concreto. Com os contaminantes determinados, sendo eles: fosfato, nitratos e zinco, seguem as análises para verificar a

aprovação destas substâncias. O resultado dos ensaio para determinação destes contaminantes estão ilustrados na Tabela 22, sendo todos inferiores ao máximo permitido pela norma.

Tabela 22: Determinação dos contaminantes

Parâmetros	Requisitos NBR 15900	Análise Físico-Química Água de Ensaio
Fosfatos (P_2O_5)	100 mg/L	0,37 mg/L
Nitratos (NO_3)	500 mg/L	0,00 mg/L
Zinco (Zn^{2+})	100 mg/L	0,08 mg/L

Fonte: Autor (2017)

Com os contaminantes determinados a norma da NBR 15900 (ABNT, 2009), estabelece que devam ser analisados os compostos ligados a durabilidade, sendo eles: cloretos, sulfatos e álcalis. Os resultados destas análises seguem ilustrados na Tabela 23, sendo todos aprovados.

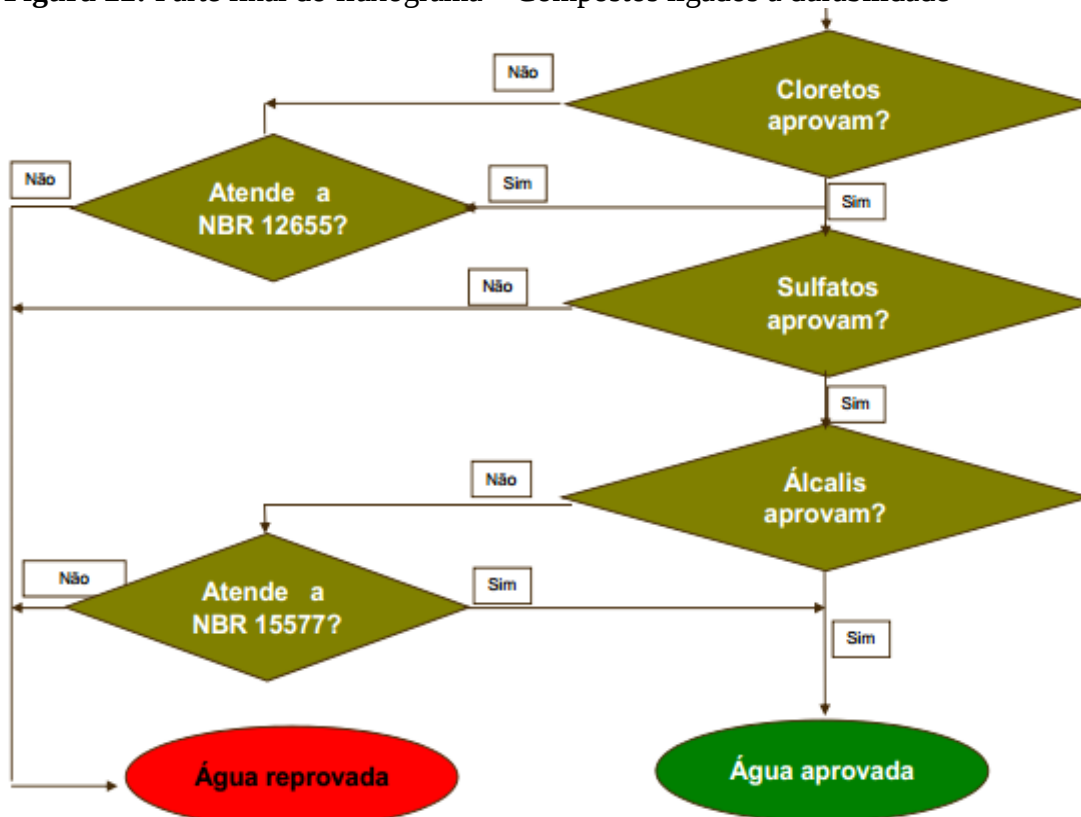
Tabela 23: Determinação dos compostos ligados a durabilidade

Parâmetros	Requisitos NBR 15900	Análise Físico-Química Água de Ensaio
Cloreto	1000 mg/L	3,55 mg/L
Sulfatos (SO_4^{2-})	2000 mg/L	< 2,00 mg/L
Alcalinidade	1500 mg/L	14,00 mg/L

Fonte: Autor (2017)

Com todos os resultados obtidos, continua-se a verificação através da parte final do fluxograma conforme ilustra a Figura 22.

Figura 22: Parte final do fluxograma – Compostos ligados a durabilidade



Fonte: Adaptada ABNT NBR 15900 (2009)

Sendo assim, identificado que os componentes ligados a durabilidade foram aprovados, estando presentes em menor quantidade do que a estabelecida pela norma, define-se que a água da chuva analisada está aprovada para ser utilizada como água de amassamento do concreto.

4.1.2 Abatimento do tronco de cone

Após a conclusão dos procedimentos citados no item 3.1.5.1, obteve-se os resultados de abatimento do concreto. O resultado deste teste foi relacionado com a água utilizada para a composição de cada mistura. A classe de abatimento não foi previamente determinada, com o objetivo de analisar o abatimento do concreto para o traço utilizado atualmente pela empresa.

Como base, através da NBR 8953 – *Concreto para fins estruturais – Classificação por grupos de resistências* (ABNT, 1992), foi escolhida a Classe S100, com resultados que deveriam variar entre 100 e 160mm. Esta classe se refere a elementos estruturais, com

lançamento convencional do concreto, sendo este o método mais coerente com o utilizado pela empresa.

Para análise visual, a Figura 23 representa a medição do abatimento da mistura de concreto da Série 1, com água da chuva como água de amassamento, já a Figura 24, mostra a medição do abatimento da mistura de concreto da Série 2, contendo água de abastecimento público como água de amassamento do concreto.

Figura 23: Medição do abatimento do concreto da Série 1



Fonte: Autor (2017)

Figura 24: Medição do abatimento do concreto da Série 2



Fonte: Autor (2017)

Os resultados para as 3 amostras de cada Série estão ilustrados na Tabela 24.

Tabela 24: Resultados de abatimento

	Série	Amostra	Abatimento (cm)
Água de ensaio	1	1	5,50
		2	5,50
		3	5,00
Água de referência	2	1	18,50
		2	19,00
		3	18,00

Fonte: Autor (2017)

A mistura da Série 1, composta com água da chuva (água de ensaio), obteve o valor médio de abatimento de 5,33cm ou 53,4mm, atingindo valor superior em 249% ao da mistura da Série 2, composta pela água de abastecimento público (água de referência), a qual teve como resultado médio de abatimento o valor de 18,5cm ou 185mm.

Os resultados com valores superiores aos da Classe S100, utilizada como base, segundo Petrucci (1998, p.54) demonstra que “o concreto está com excesso de água em sua composição, o que implica em uma alteração do fator água/cimento e na possível queda de sua resistência”. Porém, foi utilizado neste estudo, a mesma quantidade de água para a composição da mistura da Série 1 e da Série 2.

Analisando as possibilidades para que outro fator tenha influenciado nos resultados de abatimento, foi identificado que o tambor onde é armazenada a água de abastecimento público, utilizada para a produção dos elementos pré-moldados da empresa, era também utilizado para lavar as mãos e alguns equipamentos, fato este, que passou despercebido pelos responsáveis do setor de produção.

Com isto, a provável causa encontrada foi a existência de detergentes e substâncias que provocaram uma maior trabalhabilidade no concreto, fazendo com que a mistura ficasse mais pastosa, acarretando na maior trabalhabilidade do concreto, causando também, a queda da resistência à compressão.

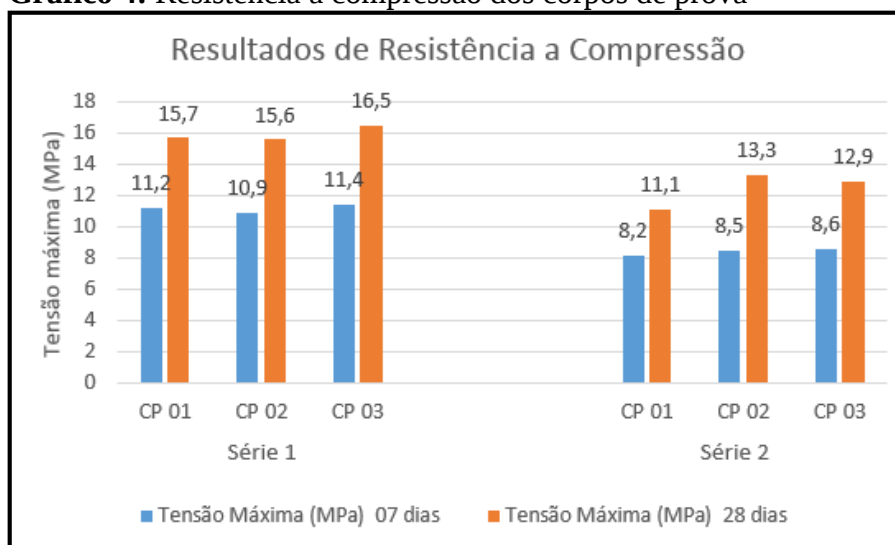
4.1.3 Resistência a compressão

Independentemente da realização do teste de Slump, foram recolhidas amostras do concreto para moldagem dos corpos de prova, que, no estado endurecido, serviu para realizar

ensaios de resistência à compressão.

Os resultados obtidos em laboratório referente a análise da resistência à compressão do concreto utilizado, foi relacionado entre as duas misturas, ilustrados no Gráfico 4. Lembrando que a mistura da Série 1, foi adicionada água da chuva, como água de amassamento do concreto, já a da Série 2, foi adicionada a água de abastecimento público para o mesmo fim.

Gráfico 4: Resistência à compressão dos corpos de prova



Fonte: Autor (2017)

Conforme mostra o Gráfico 4, as análises da mistura da Série 1, aos 7 dias de idade do concreto, obtiveram os resultados de tensão máxima (MPa) variando entre 10,9 e 11,40MPa, sendo que aos 28 dias acresceram em sua resistência o valor de tensão máxima variando entre 15,6 e 16,5MPa, tendo como aumento de resistência a porcentagem média de 42,6%. O acréscimo de valor nos resultados eram esperados devido ao tipo de cimento utilizado neste processo.

Comparando os resultados entre as duas misturas ilustrado no Gráfico 4, tem-se que os corpos de prova moldados com a mistura da Série 1, obtiveram aumento médio de resistência a compressão de 32,5% aos 7 dias e de 28,15% aos 28 dias em relação aos corpos de prova moldados com a mistura da Série 2. Identificou-se então, que com a utilização da água da chuva, foi possível atingir valores de resistência a compressão superiores ao do concreto que foi utilizado água de abastecimento público, como água de amassamento.

5 CAPÍTULO 5

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através dos ensaios em laboratório, referentes à análise da água da chuva, caracterização dos agregados, determinação da resistência à compressão e abatimento do concreto, foi possível atingir os objetivos pontuados no início deste estudo de caso.

Após a realização do ensaio físico-químico da água da chuva, foi possível obter as quantidades dos agentes nela contidos, podendo classifica-la ao uso como água de amassamento do concreto. Pela falta de parâmetros do laboratório, não foi possível analisar a quantidade de detergentes, açúcares e chumbo em sua composição. Porém, todos os outros requisitos apresentados estão de acordo com a ABNT NBR 15900, determinando que a água da chuva pode ser utilizada como água de amassamento do concreto. Pela falta de dados referente a análise da água da Sanepar, não foi possível comparar todos os parâmetros, porém, com os índices fornecidos pela Sanepar e ilustrados neste trabalho, identificou que a água da Sanepar ainda apresenta menores contaminantes que a água da chuva.

Foram realizadas análises do concreto no estado fresco, identificando sua trabalhabilidade através do ensaio de abatimento do tronco de cone (*Slump Test*). Sendo assim, o concreto da mistura da Série 1, composto com água da chuva, obteve um abatimento médio 249% inferior, se comparado ao resultado do abatimento do concreto da Série 2, composto com água de abastecimento público. A maior trabalhabilidade da mistura da Série 2, deve-se pela presença de detergente e plastificante no tambor de armazenamento de água de abastecimento público, visto que não existe nenhuma diferença significativa entre o tipo de água utilizada, uma vez que foi utilizado o mesmo traço para a composição das duas mistura.

Através das análises de resistência do concreto em seu estado endurecido, identificou-se que o concreto composto com água da chuva (Série 1) atingiu aos 28 dias 28,15% a mais de resistência a compressão comparado com o concreto composto com água e abastecimento público (Série 2), a qual é utilizada atualmente pela empresa.

Com o desenvolvimento desse estudo foi possível concluir, portanto, que a água da chuva da região de Guaraniaçu – PR, pode ser utilizada pela indústria como água de amassamento do concreto, que se utilizada em traços adequados, poderá atingir valores de resistência a compressão superiores ao do concreto com água de abastecimento público.

6 CAPÍTULO 6

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com o desenvolvimento do presente estudo, algumas sugestões reflexivas foram desenvolvidas, visando a produção de trabalhos futuros como:

- Realizar a dosagem do concreto para diferentes classes de resistência;
- Realizar os ensaios físico-químicos com a água da Sanepar;
- Realizar concretos com água de chuva já captada por sistemas de cisternas.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira De Normas Técnicas - ABNT. **NBR 15900** – Água para amassamento do concreto – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- _____. **NBR 5733** – Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.
- _____. **NBR 5737** – Cimentos Portland resistentes a sulfatos. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
- _____. **NBR 5738** – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- _____. **NBR 5739** – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.
- _____. **NBR 6118** – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- _____. **NBR 7211** – Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- _____. **NBR 7215** – Cimento Portland – Determinação da resistência a compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.
- _____. **NBR 7225** – Materiais de pedra e agregados naturais. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.
- _____. **NBR 8953** – Concreto para fins estruturais – Classificação por grupos de resistência. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
- _____. **NBR 9062** – Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.
- _____. **NBR 12655** – Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- _____. **NBR 14931** – Execução de estruturas de concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- _____. **NBR 15577-1** – Agregados – Reatividade álcali-agregado. Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- _____. **NBR NM 26** – Agregados – Amostragem. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.
- _____. **NBR NM 65** – Cimento Portland – Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- _____. **NBR NM 67** - Concrete - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.
- _____. **NBR NM 248** – Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- _____. **NBR NM - ISO 2395** – Peneiras de ensaio e ensaio de peneiramento. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- _____. **NBR NM - ISO 3310** – Peneiras de ensaio – Requisitos técnicos e verificação – Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

BARDELL, P. S.; BARBOSA, D. C.; CAMARINI, G. **Sistemas de Cura em Concretos Produzidos com Cimento Portland**. UNICAMP, Campinas, São Paulo, 2005. Disponível em: < http://www.set.eesc.usp.br/1enpppcpm/cd/conteudo/trab_pdf/115.pdf >. Acesso em: 10 Nov. 2016.

BASTOS, S. R. B. Mestre em Eng.^a Civil, Departamento Estruturas e Construção Civil (DEC-UFMS). **Estudo de caso – traços de concreto para uso em estruturas pré-moldadas**. In: 1º encontro nacional de pesquisa-projeto-produção em concreto pré-moldado. São Carlos, 2005.

BRASIL SUSTENTÁVEL. **Economia e meio ambiente no Brasil**, 2016. Disponível em: < <http://www.brasilsustentavel.org.br/sustentabilidade> >. Acesso em: 11 Out. 2016.

DICIO. **Dicionário online de português, definições e significados**, 2009-2016. Disponível em: < <https://www.dicio.com.br/sustentavel/> >. Acesso em 12 Out. 2016.

ECOLOGIA URBANA. **O caminho para a sociedade sustentável**. Disponível em: < www.ecologiaurbana.com.br/sustentabilidade/o-que-e-sustentabilidade/ >. Acesso em: 11 Out. 2016.

FARIAS, M. M.; PALMEIRA, E. M. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais – Agregados para a Construção Civil**. São Paulo: IBRACON, 2007.

ISAIA, G. C.; **A água no concreto**. In: CONCRETO: CIÊNCIA E TECNOLOGIA. V.1. São Paulo: IBRACON, 2011.

NEVILLE, A. M.; **Propriedades do concreto**. 2 ed. Tradução: Salvador E. Giammusso. São Paulo: Ed. Pini. 2003. 828 p.

HELENE, P. R. L. **Vida útil das estruturas de concreto**. In: IV Congresso Ibero Americano de Patologia das Construções e VI Congresso de Controle de Qualidade. Anais. Porto Alegre, v.1, p. 1-30, 1997.

IBRACON. Instituto Brasileiro do Concreto. **Reações Álcalis-Agregado em estruturas de concreto**. In: E-Civil. São Paulo, 2011. Disponível em: < http://www.ecivilnet.com/artigos/reacoes_alcalis_agregado.htm >. Acesso em: 12 de outubro de 2016.

NETO, C. S. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realização – Agregados para Concreto**. São Paulo: IBRACON, 2005.

PEDERIVA, P. F. **Comparação de custos envolvidos na construção de pavilhões com estruturas pré-moldadas e moldadas in loco**. Monografia [Graduação em Engenharia Civil] - Ijuí, RS: Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2009.

RAMOS, R. L. **Sustentabilidade na construção Civil**. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia da UFMG, janeiro 2009. Disponível em: <http://especializacaoecivil.demc.ufmg.br/trabalhos/pg1/Sustentabilidade%20na%20Constru%E7%E3o%20CivilL.pdf> . Acesso em: 11 Out. 2016.

SANTOS, A. **Água da chuva para produzir concreto. É possível?** Entrevista para Massa Cinzenta de Cimento Itambé, realizada dia 10 de dezembro de 2015 por Altair Santos à Arnaldo

MEHTA, P. KUMAR; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedade e Materiais**. Rio de Janeiro: 1994.

FORTI BATTAGIN. Disponível em: www.cimentoitambe.com.br/agua-da-chuva-para-produzir-concreto/ . Acesso em: 11 Out. 2016.

SANTOS, A. **Por que há cimentos que resistem mais aos sulfatos?** In: Cimento Itambé, 2014. Disponível em: < <http://www.cimentoitambe.com.br/por-que-ha-cimentos-que-resistem-mais-aos-sulfatos/> >. Acesso em 12 Out. 2016.

TÉCHNE. **Para utilizar água de chuva em edificações.** Editora Pini, edição 72 - Março/2003. Disponível em: < techne.pini.com.br/engenharia-civil/72/artigo285266-1.aspx >. Acesso em: 12 Out. 2016.

UNIÁGUA. Universidade da água. Água no Planeta. **Reuso da água.** Disponível em: < www.uniagua.org.br >. Acesso em: 12 Out. 2016.

LAGUNA, L.A; HIKEMATSU, PAULA. **A influência da temperatura na desforma do concreto,** Revista Techne Edição 150. Setembro de 2009.

PFEIL, W., **Concreto Armado,** vol. 1, Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda. Rio de Janeiro, 1985.

ANEXO A

CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO														
Identificação da empresa:					Código: —									
					Série: 1		N° Amostragem: —							
					Lote: TEC II - ELLON									
					Moldador: ELLON									
CLIENTE: CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG														
OBRA: TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II														
O CONCRETO														
Fck	Abatimento	Areia				Aditivos		Data						
—	30 ± 2	1 ☐ Natural 2 ☒ Artificial 3 ☐ Natural + Artificial				1 ☐ Plastificante 2 ☐ Fluidificante 3 ☐ Retardador 4 ☐ Acelerador 5 ☐ Impermeabilizante 6 ☐ Outros		31/03/17						
Cimento		Brita				Traço (Cimento : Areia : Brita : Água)		Hora						
		0 ☐ 1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 0 ☐ 1 ☒ 2 ☐ 3 ☐						16 : 00						
1 ☐ Portland/POZ 2 ☒ ARI 3 ☐ Alto Forno		Marca: CPV-AU-125 VOTORAN				1:4:4 (VOLUME)		Tempo ☒ Bom						
						Marca: —		☐ Nublado ☐ Chuva Temp. 25 °C						
PEÇA CONCRETADA					DISCRIMINAÇÃO									
1 ☐ Fundações 2 ☐ Postes 3 ☐ Galpões Pré-Moldados 4 ☐ Tubos 5 ☐ Terças					6 ☒ Pilares 7 ☒ Vigas 8 ☐ Lajes 9 ☐ Escadas 10 ☐ Reservatórios					PARA TRAÇO (VOLUME) ⇒ 1 SC CIMENTO : 4 CARRINHO AREIA : 4 CARRINHO BRITA L (MASSA) ⇒ 50kg CIMENTO : 232 kg AREIA : 224 kg BRITA L				
PROCEDÊNCIA			OBS: PLANO DE ROMPIMENTO			RESULTADOS								
☐ Usina ☒ Betoneira ☐ Planetária ☐ Na Obra			3 → 7 DIAS 3 → 28 DIAS			Abatimento 5,33 cm								
Nota Fiscal						1 5,5 2 5,5 3 5,0								
						Ar incorporado —								
RESULTADOS														
Idades	7 DIAS		7 DIAS		7 DIAS									
Datas	07/04/17		07/04/17		07/04/17									
Resistências	CP01	31,2 MPa	CP02	30,9 MPa	CP03	31,4 MPa								
Idades	28 DIAS		28 DIAS		28 DIAS									
Datas	28/04/17		28/04/17		28/04/17									
Resistências	CP01	35,7 MPa	CP02	35,6 MPa	CP03	36,5 MPa								

ANEXO A

CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO										
Identificação da empresa:					Código: —					
					Série: 2		N° Amostragem: —			
					Lote: TCC II - ELLON					
					Moldador: ELLON					
CLIENTE: CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG										
OBRA: TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II										
O CONCRETO										
Fck —		Abatimento 10±2		Areia 1 ☐ Natural 2 ☒ Artificial 3 ☐ Natural + Artificial		Aditivos 1 ☐ Plastificante 2 ☐ Fluidificante 3 ☐ Retardador 4 ☐ Acelerador 5 ☐ Impermeabilizante 6 ☐ Outros		Data 31/03/17		
Cimento 1 ☐ Portland/POZ 2 ☒ ARI 3 ☐ Alto Forno		Brita 0 ☐ 1 ☒ 2 ☐ 3 ☐		Traço (Cimento : Areia : Brita : Água) 1 : 4 : 4 (VOLUME)		Marca: —		Hora 16 : 30		
Marca: CEM - ARI - OS VOTONIAN								Tempo ☒ Bom ☐ Nublado ☐ Chuva		
								Temp. 25 °C		
PEÇA CONCRETADA					DISCRIMINAÇÃO					
1 ☐ Fundações		6 ☒ Pilares		PARA TRAÇO: (VOLUME) → 1 SC CIMENTO : 4 CARUINHO AREIA : 4 CARUINHO BRITA 1 (MASSA) → 50kg cimento : 222kg AREIA : 224 kg BRITA 1						
2 ☐ Postes		7 ☒ Vigas								
3 ☐ Galpões Pré-Moldados		8 ☐ Lajes								
4 ☐ Tubos		9 ☐ Escadas								
5 ☐ Terças		10 ☐ Reservatórios								
PROCEDÊNCIA			OBS: PLANO DE ROMPIMENTO			RESULTADOS				
☐ Usina		☒ Betoneira		3 → 7 DIAS			Abatimento		1 38,50	
☐ Planetária		☐ Na Obra		3 → 28 DIAS					2 39,00	
Nota Fiscal							38,5cm		3 38,00	
							Ar Incorporado		—	
RESULTADOS										
Idades		7 DIAS		7 DIAS		7 DIAS				
Datas		07/04/17		07/04/17		07/04/17				
Resistências		CP01 8,2 MPa		CP02 8,5 MPa		CP03 8,6 MPa				
Idades		28 DIAS		28 DIAS		28 DIAS				
Datas		28/04/17		28/04/17		28/04/17				
Resistências		CP01 11,1 MPa		CP02 13,3 MPa		CP03 12,9 MPa				

ANEXO B

Relatório de rompimento do corpo de prova 1 da Série 1 aos 7 dias

Corpo de Prova - Série 1 - CP 01

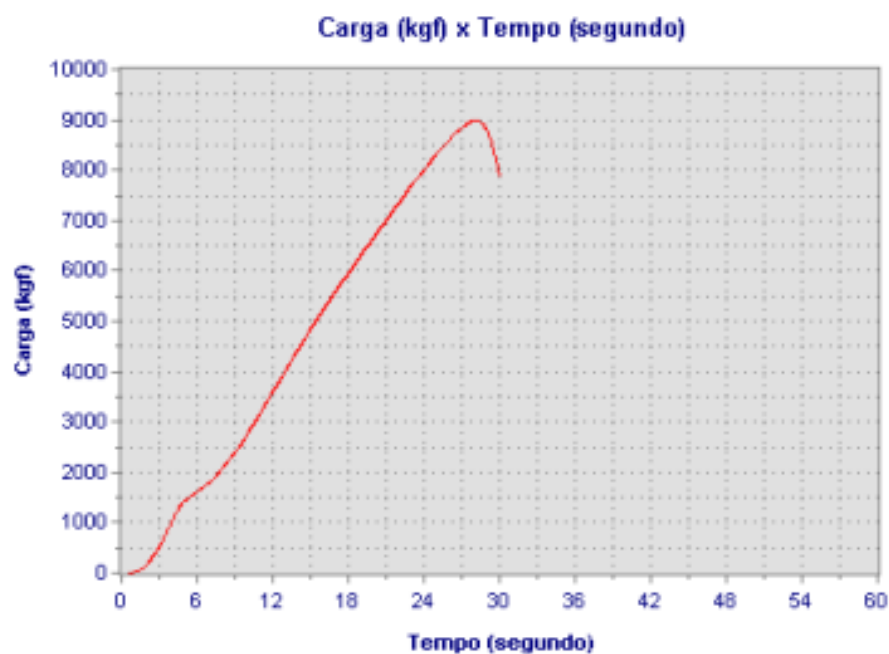
Dados Cadastrais

Amostra:	TCC Ellon
Tipo de ensaio:	Compressão Axial
Cliente:	Ellon
Responsável:	Wesley
Data de Moldagem:	31/03/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf):	8.970
Tensão máxima (MPa):	11,2
Tipo de Ruptura:	

Gráfico do ensaio realizado



ANEXO B

Relatório de rompimento do corpo de prova 2 da Série 1 aos 7 dias

Corpo de Prova - Série 1 - CP 02

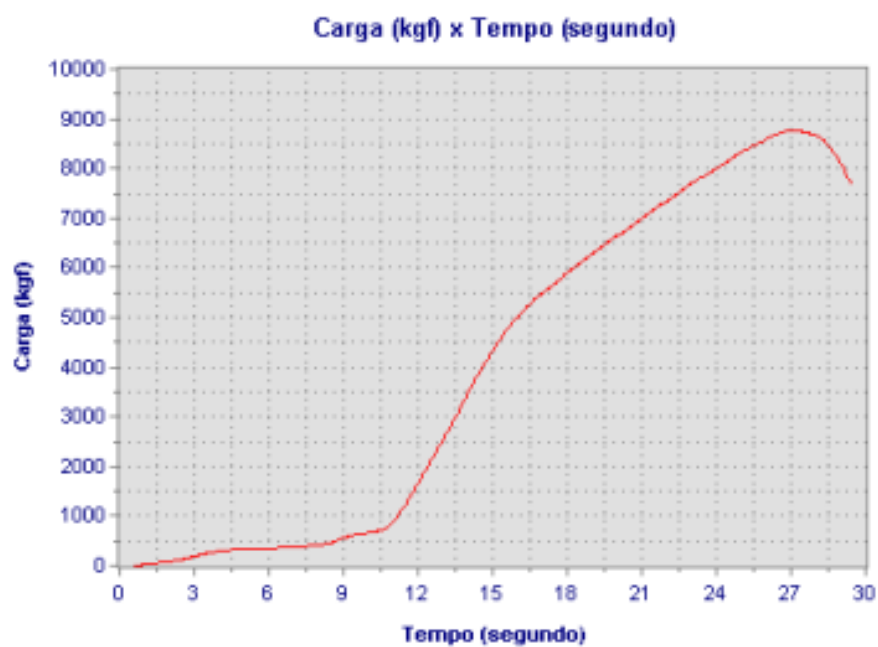
Dados Cadastrais

Amostra:	TCC Ellon
Tipo de ensaio:	Compressão Axial
Cliente:	Ellon
Responsável:	Wesley
Data de Moldagem:	31/03/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf):	8.760
Tensão máxima (MPa):	10,9
Tipo de Ruptura:	

Gráfico do ensaio realizado



ANEXO B

Relatório de rompimento do corpo de prova 3 da Série 1 aos 7 dias

Corpo de Prova - Série 1 - CP 03

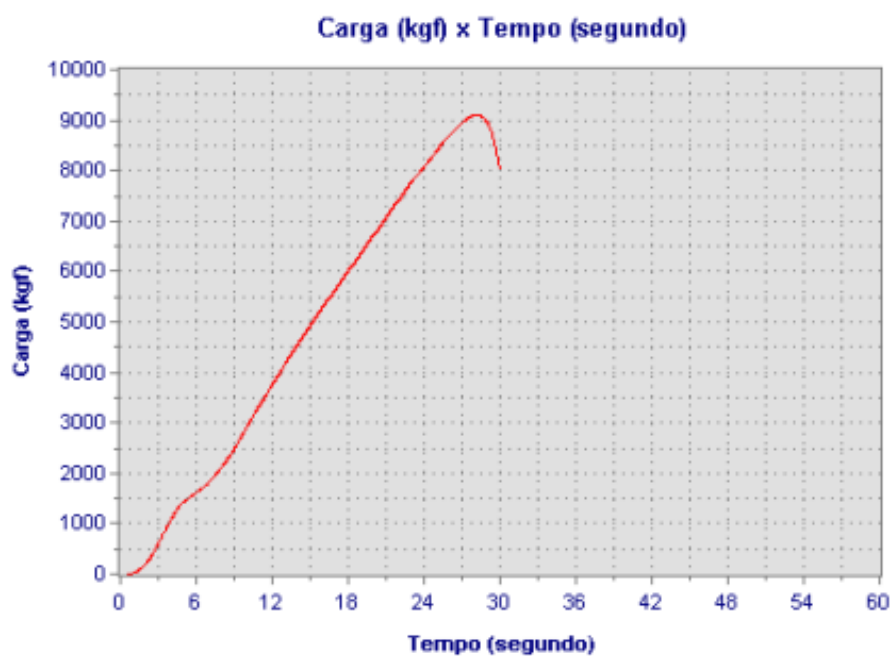
Dados Cadastrais

Amostra:	TCC Ellon
Tipo de ensaio:	Compressão Axial
Cliente:	Ellon
Responsável:	Wesley
Data de Moldagem:	31/03/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf):	9.100
Tensão máxima (MPa):	11,4
Tipo de Ruptura:	

Gráfico do ensaio realizado



ANEXO B

Relatório de rompimento do corpo de prova 1 da Série 2 aos 7 dias

Corpo de Prova - Série 2 - CP 01

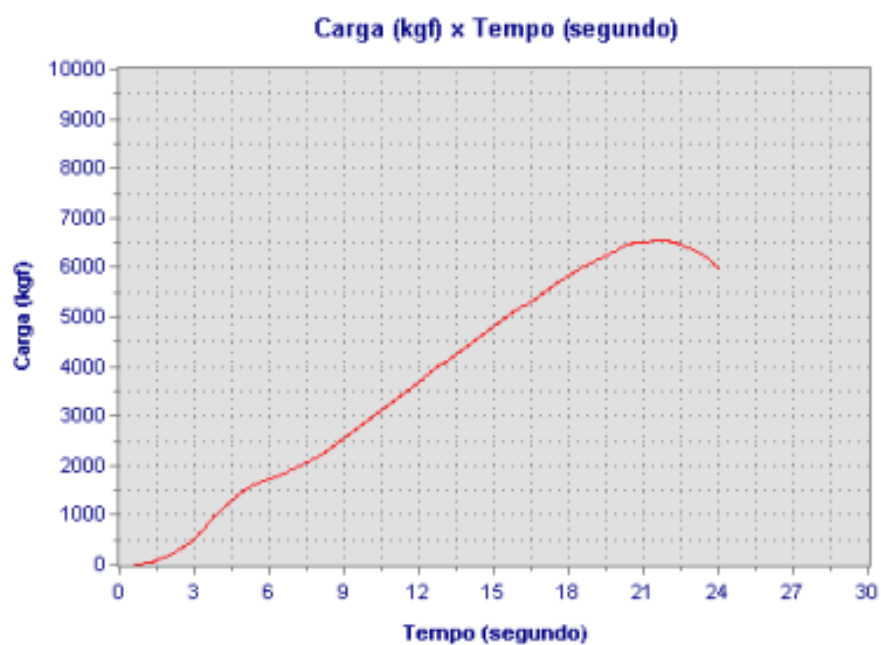
Dados Cadastrais

Amostra:	TCC Ellon
Tipo de ensaio:	Compressão Axial
Cliente:	Ellon
Responsável:	Wesley
Data de Moldagem:	31/03/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf):	6.540
Tensão máxima (MPa):	8,2
Tipo de Ruptura:	

Gráfico do ensaio realizado



ANEXO B

Relatório de rompimento do corpo de prova 2 da Série 2 aos 7 dias

Corpo de Prova - Série 2 - CP 02

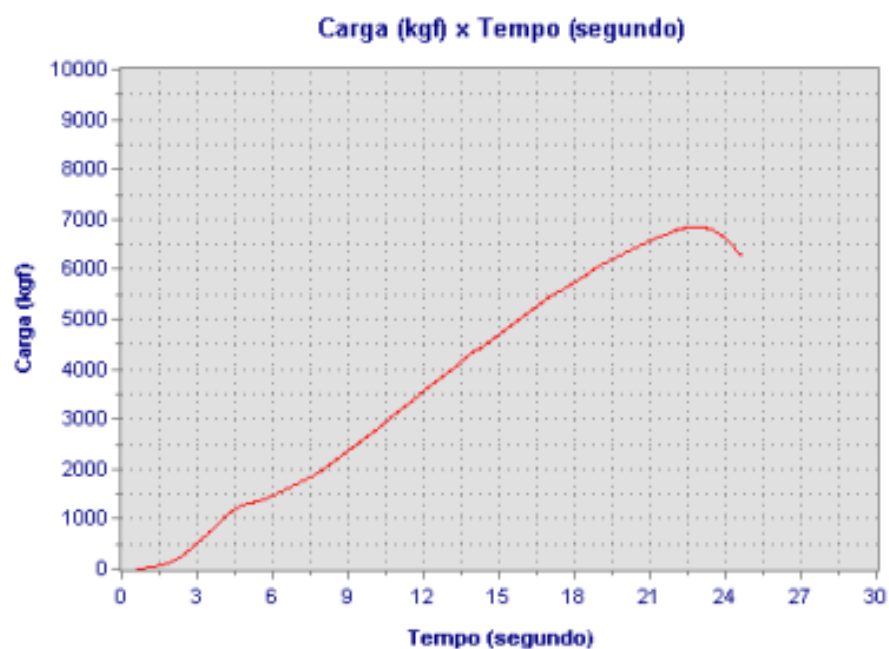
Dados Cadastrais

Amostra:	TCC Ellon
Tipo de ensaio:	Compressão Axial
Cliente:	Ellon
Responsável:	Wesley
Data de Moldagem:	31/03/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf):	6.840
Tensão máxima (MPa):	8,5
Tipo de Ruptura:	

Gráfico do ensaio realizado



ANEXO B

Relatório de rompimento do corpo de prova 3 da Série 2 aos 7 dias

Corpo de Prova - Série 2 - CP 03

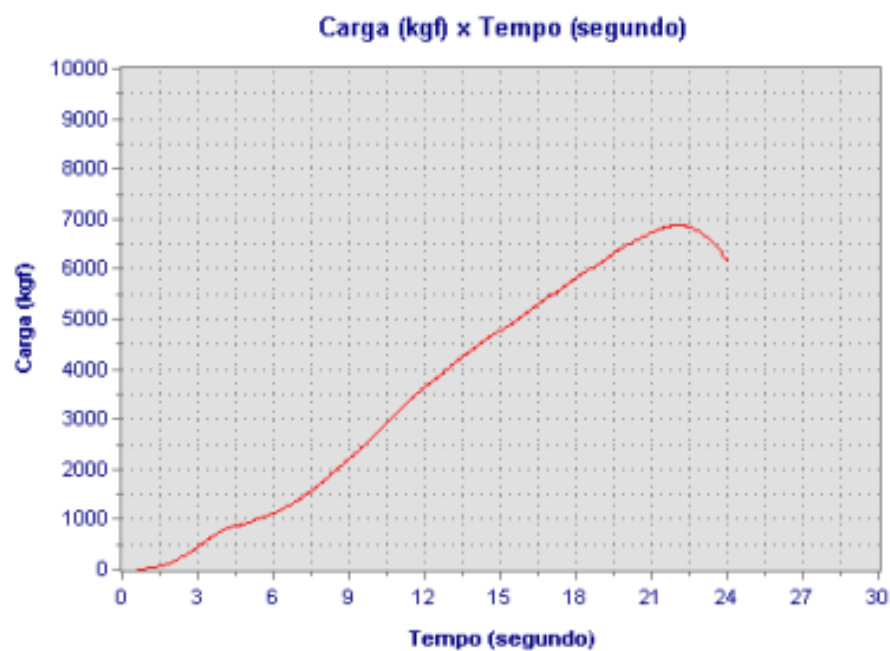
Dados Cadastrais

Amostra:	TCC Ellon
Tipo de ensaio:	Compressão Axial
Cliente:	Ellon
Responsável:	Wesley
Data de Moldagem:	31/03/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf):	6.880
Tensão máxima (MPa):	8,6
Tipo de Ruptura:	

Gráfico do ensaio realizado



ANEXO B

Relatório de rompimento do corpo de prova 1 da Série 1 aos 28 dias

Corpo de Prova - Série 01-CP 01

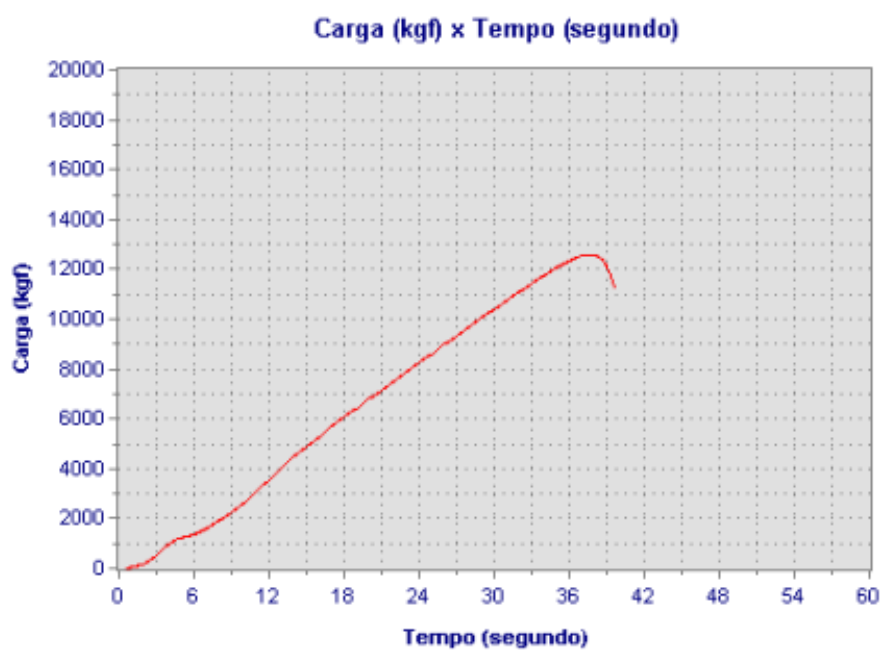
Dados Cadastrais

Amostra:	TCC Ellon
Tipo de ensaio:	Compressão Axial
Cliente:	Ellon
Responsável:	Wesley
Data de Moldagem:	31/03/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf):	12.580
Tensão máxima (MPa):	15,7
Tipo de Ruptura:	

Gráfico do ensaio realizado



ANEXO B

Relatório de rompimento do corpo de prova 2 da Série 1 aos 28 dias

Corpo de Prova - Série 01-CP 02

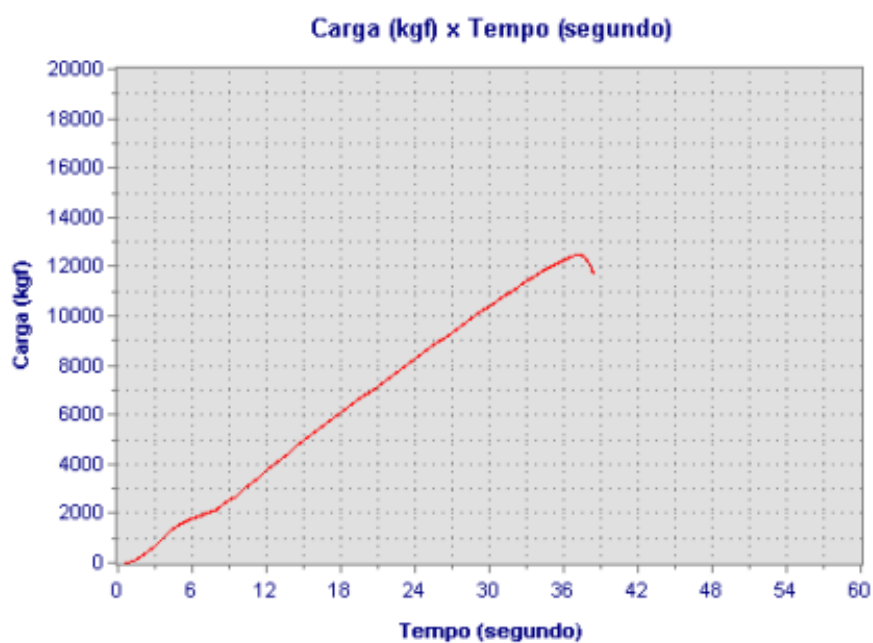
Dados Cadastrais

Amostra:	TCC Ellon
Tipo de ensaio:	Compressão Axial
Cliente:	Ellon
Responsável:	Wesley
Data de Moldagem:	31/03/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf):	12.460
Tensão máxima (MPa):	15,6
Tipo de Ruptura:	

Gráfico do ensaio realizado



ANEXO B

Relatório de rompimento do corpo de prova 3 da Série 1 aos 28 dias

Corpo de Prova - Série 01-CP 03

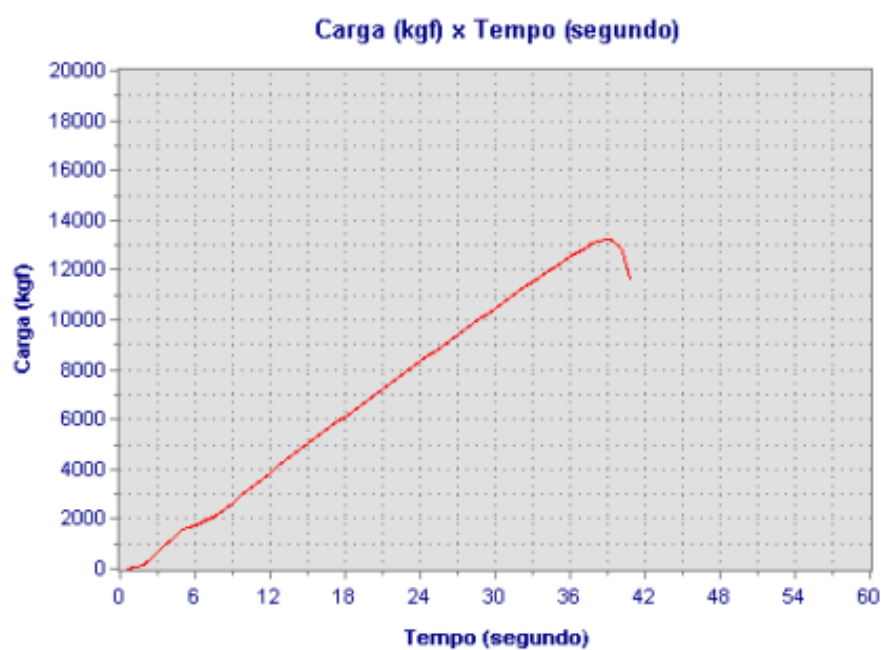
Dados Cadastrais

Amostra:	TCC Ellon
Tipo de ensaio:	Compressão Axial
Cliente:	Ellon
Responsável:	Wesley
Data de Moldagem:	31/03/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf):	13.220
Tensão máxima (MPa):	16,5
Tipo de Ruptura:	

Gráfico do ensaio realizado



ANEXO B

Relatório de rompimento do corpo de prova 1 da Série 2 aos 28 dias

Corpo de Prova - Série 02-CP 01

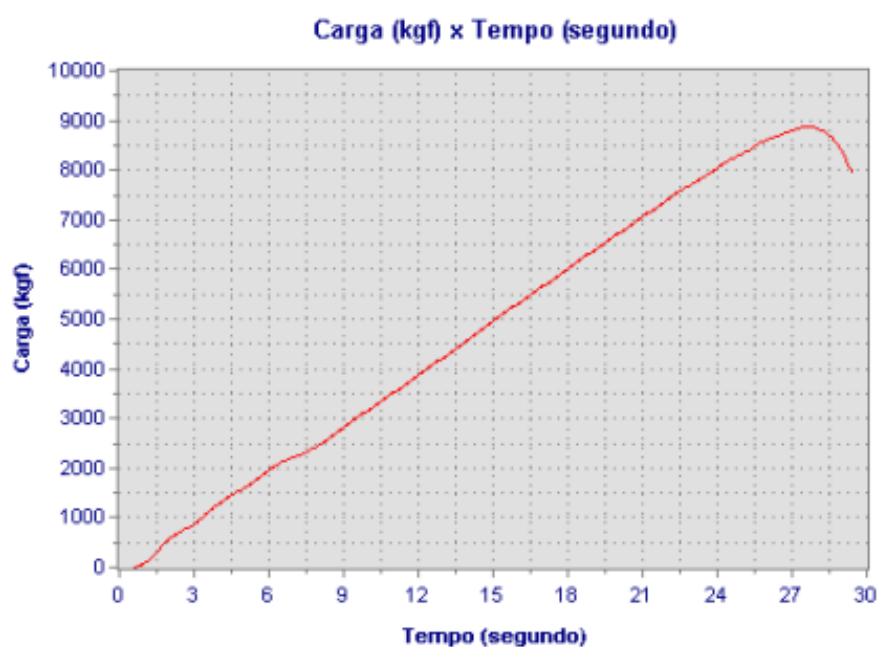
Dados Cadastrais

Amostra:	TCC Ellon
Tipo de ensaio:	Compressão Axial
Cliente:	Ellon
Responsável:	Wesley
Data de Moldagem:	31/03/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf):	8.860
Tensão máxima (MPa):	11,1
Tipo de Ruptura:	

Gráfico do ensaio realizado



ANEXO B

Relatório de rompimento do corpo de prova 2 da Série 2 aos 28 dias

Corpo de Prova - Série 02-CP 02

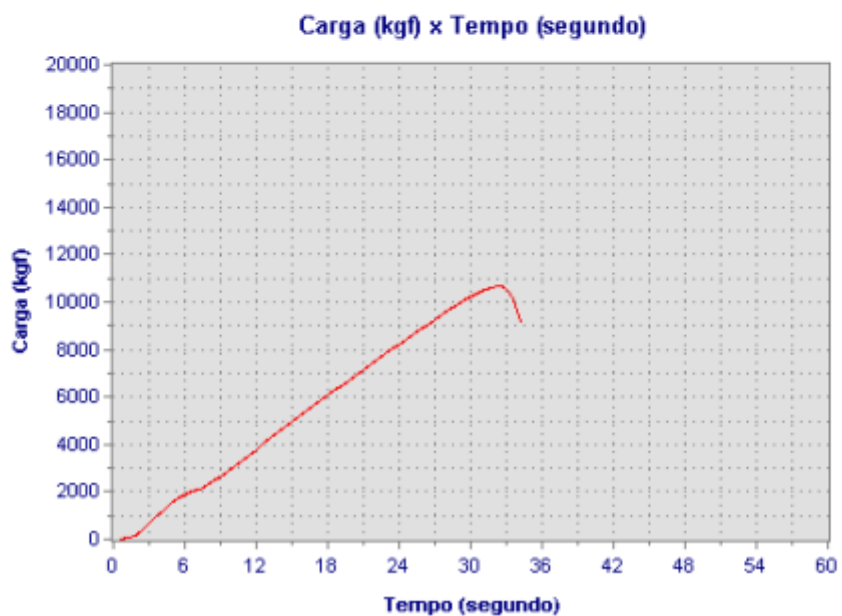
Dados Cadastrais

Amostra:	TCC Ellon
Tipo de ensaio:	Compressão Axial
Cliente:	Ellon
Responsável:	Wesley
Data de Moldagem:	31/03/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf):	10.650
Tensão máxima (MPa):	13,3
Tipo de Ruptura:	

Gráfico do ensaio realizado



ANEXO B

Relatório de rompimento do corpo de prova 3 da Série 2 aos 28 dias

Corpo de Prova - Série 02-CP 03

Dados Cadastrais

Amostra:	TCC Ellon
Tipo de ensaio:	Compressão Axial
Cliente:	Ellon
Responsável:	Wesley
Data de Moldagem:	31/03/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf):	10.360
Tensão máxima (MPa):	12,9
Tipo de Ruptura:	

Gráfico do ensaio realizado

