

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DA CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

WILLIAN SZUPKA DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO E AJUSTE DA QUALIDADE DO CONCRETO
UTILIZADO NA FABRICAÇÃO DE VIGOTAS TRELIÇADAS: Estudo
de caso**

FLORIANÓPOLIS, 2023.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DA CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

WILLIAN SZUPKA DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO E AJUSTE DA QUALIDADE DO CONCRETO
UTILIZADO NA FABRICAÇÃO DE VIGOTAS TRELIÇADAS: Estudo
de caso**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido
ao Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Santa Catarina como parte
dos requisitos para obtenção do título de
Engenheiro Civil.

Orientador:
Prof. Dr. Alexandre Lima de Oliveira

FLORIANÓPOLIS, 2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Santos, Willian

Avaliação e ajuste da qualidade do concreto utilizado na fabricação de vigotas treliçadas: Estudo de caso / Willian Santos; orientação de Alexandre Lima de Oliveira.

- Florianópolis, SC, 2023.

73 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado em Engenharia Civil. Departamento Acadêmico de Construção Civil.

Inclui Referências.

1. Concreto. 2. Pré-fabricado. 3. Dosagem. I. Lima de Oliveira, Alexandre. II. Instituto Federal de Santa Catarina. III. Avaliação e ajuste da qualidade do concreto utilizado na fabricação de vigotas treliçadas: Estudo de caso.

**AVALIAÇÃO E AJUSTE DA QUALIDADE DO CONCRETO
UTILIZADO NA FABRICAÇÃO DE VIGOTAS TRELIÇADAS: Estudo
de caso**

WILLIAN SZUPKA DOS SANTOS

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 15 de junho de 2023.

Banca Examinadora:

Alexandre Lima de oliveira, Doutor
Instituto Federal de Santa Catarina

Andrea Murillo Betioli, Doutora
Instituto Federal de Santa Catarina

Juliana Machado Casali Peruch, Doutora
Instituto Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho de conclusão de curso. Em especial, agradeço ao professor Alexandre Lima de Oliveira, meu orientador, pelas orientações e contribuições valiosas ao longo de todo desenvolvimento do estudo.

Agradeço também aos integrantes da banca avaliadora, por se disponibilizarem e contribuírem para o desenvolvimento do trabalho.

Ao Ricardo Augusto Kreisch, proprietário e gestor da empresa na qual foi desenvolvida essa pesquisa, agradeço a confiança e incentivo depositados para o desenvolvimento do trabalho em questão.

Agradeço aos meus pais pelo apoio incondicional que me deram durante toda a minha vida. Sem eles, eu não teria chegado até aqui. Eles foram fundamentais para me incentivar, orientar e acolher, este trabalho é fruto do nosso esforço conjunto e da nossa confiança mútua.

Por fim, agradeço aos amigos que me acompanharam durante a minha jornada acadêmica. Eles foram essenciais para o meu crescimento pessoal e profissional.

RESUMO

Nos dias atuais, nota-se o uso difundido de artefatos de concreto na construção civil, dentre os mais utilizados pode-se destacar as lajes pré-fabricadas, que se sobressaem pelo processo simples de montagem e a agilidade que promovem no andamento das obras, além de serem produzidas fora do canteiro de obras, em uma fábrica, sob condições controladas. As vigotas treliçadas que compõem as lajes são basicamente uma treliça metálica com sua base envolta por concreto; sendo assim, é de suma importância conhecer e garantir a qualidade do concreto empregado na produção das vigotas. Este trabalho consistiu em um estudo de caso em uma empresa de pré-fabricados, onde foi estudado o processo produtivo, bem como analisado os dados de resistência à compressão, com o intuito de descobrir se havia problemas nessa propriedade; com base nas análises feitas, foi necessário a realização de um novo estudo de dosagem para ajuste de resistência à compressão do concreto empregado na fabricação das vigotas treliçadas.

Palavras-chave: Concreto. Pré-fabricado. Dosagem.

ABSTRACT

Nowadays, there is a widespread use of concrete artifacts in civil construction, among the most used are precast slabs, which stand out for their simple assembly process and the agility they promote in the progress of works, in addition to being produced outside the construction site, in a factory, under controlled conditions. The trellised beams that make up the slabs are basically a metal truss with its base surrounded by concrete; therefore, it is of utmost importance to know and guarantee the quality of the concrete used in the production of the beams. This work consisted of a case study in a precast company, where the production process was studied, as well as the compression strength data was analyzed, with the aim of finding out if there were problems in this property; based on the analyzes made, it was necessary to carry out a new dosage study to adjust the compression strength of the concrete used in the manufacture of the trellised beams.

Keywords: Concrete. Precast. Dosage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vigota treliçada	12
Figura 2 - Laje treliçada unidirecional com enchimento cerâmico	13
Figura 3 - Laje treliçada bidirecional com enchimento de eps.....	14
Figura 4 - Local da produção de concreto na fábrica	31
Figura 5 - Misturador e equipamento que distribuí o concreto nas formas.....	32
Figura 6 - Misturador	33
Figura 7 - Pistas de produção de vigotas treliçadas.....	34
Figura 8 - Baias de agregados	34
Figura 9 - Área de estoque e corte de aço e treliças.....	35
Figura 10 - Área de estoque do material produzido e desformado.....	35
Figura 11 - Baias de agregados	39
Figura 12 - Baias de agregados	40
Figura 13 - Jerica de agregados.....	41
Figura 14 - Jerica de agregados.....	41
Figura 15 - Acabamento da parte inferior das vigotas treliçadas.....	42
Figura 16 - Acabamento da parte superior das vigotas treliçadas.....	43
Figura 17 – Aspecto visual da Areia 1 e da Areia 3.....	44
Figura 18 – Aspecto visual da Areia 2.....	45
Figura 19 - Curva granulométrica da areia 1	46
Figura 20 - Curva granulométrica da areia 2.....	47
Figura 21 - Curva granulométrica da areia 3.....	47
Figura 22 - Resultados dos testes em argamassa	49
Figura 23 - Misturador Betomaq MT40.....	51
Figura 24 - Resultado do ensaio de abatimento de tronco de cone	52
Figura 25 - Tanque de cura com os corpos de prova de concreto	53
Figura 26 - Prensa universal EMIC DL - 30000.....	54
Figura 27 - Curva de dosagem do concreto 1	56
Figura 28 - Curva de dosagem do concreto 2	57
Figura 29 - Dosagem do concreto 1	58
Figura 30 - Dosagem do concreto 2	60

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Designação normalizada, sigla e classe do cimento Portland.....	20
Quadro 2 - Classificação dos agentes agressivos.....	27
Quadro 3 - Resultados de resistência à compressão de dois laboratórios distintos	37
Quadro 4 - Resultados de resistência à compressão.....	38
Quadro 5 - Valores de massa específica (d1)	45
Quadro 6 - Resultados de resistência à compressão do concreto 1	54
Quadro 7 - Resultados de resistência à compressão do concreto 2	55
Quadro 8 - Parâmetros das curvas de dosagem do concreto 1	55
Quadro 9 - Parâmetros das curvas de dosagem do concreto 2	56
Quadro 10 - Traço final desdobrado em massa do concreto 1.....	59
Quadro 11 - Quantidade de material necessária para produzir 1m ³ de concreto	59
Quadro 12 - Traço final desdobrado em massa do concreto 2.....	60
Quadro 13 - Quantidade de material necessária para produção de 1m ³ de concret0	61
Quadro 14 - Preço dos insumos empregados na produção de concreto	61
Quadro 15 - Comparativo de custos por metro cúbico de cada um dos concretos ...	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CP V-ARI RS – Cimento Portland de Alta Resistência Inicial Resistente à Sulfatos

C20 – Classe de concreto de resistência a compressão igual a 20 Mpa

f_{ck} – Resistência característica à compressão

MPa – Megapascal

NBR – Norma Brasileira

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Justificativa	15
1.2	Definição do Problema	16
1.3	Objetivo Geral	16
1.4	Objetivos Específicos	16
1.5	Estrutura do Trabalho	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	Lajes pré-fabricadas de concreto	18
2.2	Concreto	18
2.2.1	Cimento Portland	19
2.2.2	Agregados.....	20
2.2.3	Aditivos.....	21
2.2.3.1	<i>Redutores de água, plastificantes e superplastificantes</i>	22
2.2.3.2	<i>Incorporadores de ar</i>	22
2.2.3.3	<i>Modificadores de pega</i>	23
2.3	Propriedades do concreto	23
2.3.1	Propriedades do concreto fresco	23
2.3.1.1	<i>Trabalhabilidade</i>	24
2.3.1.2	<i>Coesão e segregação</i>	24
2.3.1.3	<i>Exsudação</i>	25
2.3.2	Propriedades do concreto endurecido	25
2.3.2.1	<i>Resistência mecânica</i>	26
2.3.2.2	<i>Permeabilidade</i>	26
2.3.2.3	<i>Durabilidade</i>	27
3	METODOLOGIA	28
4	MÉTODOS APLICADOS	30
4.1	Apresentação da empresa e do processo produtivo	30
4.2	Moldagem dos corpos de prova e testes de abatimento de tronco de cone	36
4.3	Coleta e análise de dados de resistência à compressão	36
4.4	Investigação das possíveis causas da variação da resistência à compressão	39
4.5	Ensaio com as areias disponíveis	44
4.5.1	Determinação da massa específica	44
4.5.2	Distribuição granulométrica.....	45
4.6	Testes em argamassa	48
4.7	Dosagem	50
4.8	Comparativo de custos	61
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
5.1	Sugestões para trabalhos futuros	64
	REFERÊNCIAS	65
	ANEXOS	67
	ANEXO A – Planta baixa da fábrica de pré-fabricados	68

ANEXO B – Laudos de resistência à compressão do concreto	69
ANEXO C – Resultados dos ensaios de granulometria das areias.....	73

1 INTRODUÇÃO

O concreto, material de grande destaque na construção civil, foi descoberto no final do século XIX, sua utilização intensificou-se no século XX, tornando-se atualmente o segundo material mais consumido pelo homem, perdendo apenas para a água. A descoberta desse material significou uma revolução na forma de construir estruturas e está diretamente ligada ao desenvolvimento das civilizações. (HELENE e ANDRADE, 2010)

A sua grande utilização na maioria das construções usuais, deve-se ao fato do concreto ter boa capacidade de resistência a compressão, que quando associado ao aço, proporciona resistência considerável aos esforços de flexão, ou seja, torna-se versátil e com propriedades adequadas para ser considerado um material estrutural de excelência. (HELENE e ANDRADE, 2010)

Já os artefatos pré-fabricados em concreto, que são tendência nos dias de hoje, difundiram-se após a Segunda Guerra Mundial, em 1945, na tentativa de reconstrução rápida dos países afetados pelo conflito. (HELENE e ANDRADE, 2010)

Os pré-fabricados sobressaem-se por ter maior controle de qualidade do material, pois são produzidos fora do canteiro de obras, em uma fábrica, em ambiente abrigado, sob condições controladas, resultando em um produto final com qualidade e que proporciona velocidade construtiva às obras. (HELENE e ANDRADE, 2010)

Dentre os diversos pré-fabricados produzidos atualmente, como pilares, vigas, tubos em concreto, entre outros, destacam-se as lajes pré-fabricadas, que conseguem vencer grandes vãos com quantidade mínima de altura e proporciona agilidade no andamento da obra, pois reduz etapas de produção. (PEREIRA, 2017)

As lajes treliçadas são compostas por vigotas ou painéis de concreto armado. São basicamente uma treliça metálica com sua base envolta por concreto.

Para facilitar a compreensão do que está sendo exposto no texto, a Figura 1 apresenta uma vigota treliçada.

Figura 1 - Vigota treliçada



Fonte: Autor (2023).

A Figura 2 mostra uma laje treliçada, com enchimento cerâmico, armada em uma direção.

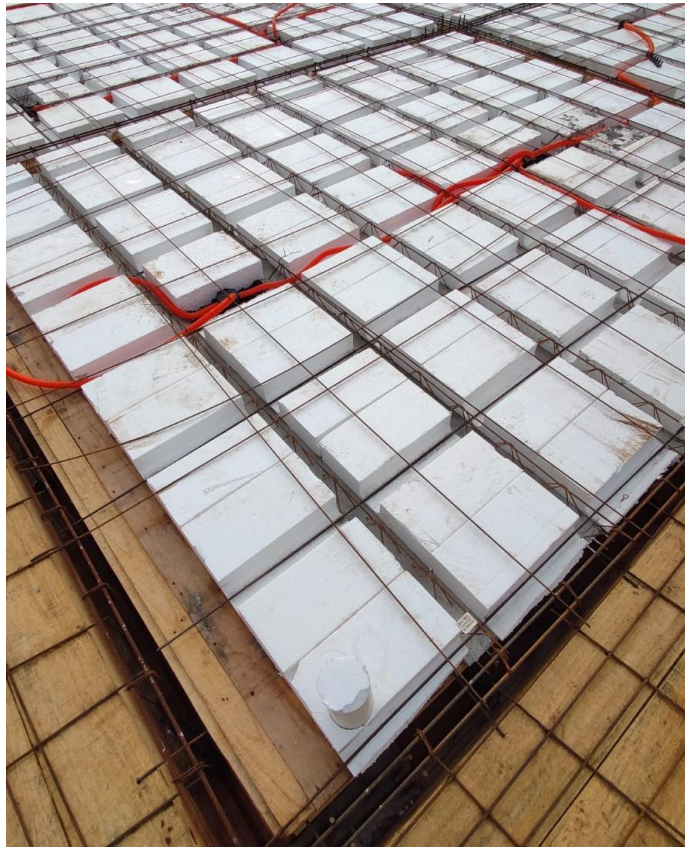
Figura 2 - Laje treliçada unidirecional com enchimento cerâmico



Fonte: Autor (2023).

A Figura 3 apresenta uma laje treliçada bidirecional, ou seja, armada em duas direções, com enchimento de eps.

Figura 3 - Laje treliçada bidirecional com enchimento de eps



Fonte: Autor (2023).

É de suma importância conhecer e garantir a qualidade do concreto empregado na produção das vigotas que constituirão as lajes. Para isso, a resistência à compressão é um dos principais indicativos de um concreto com qualidade, além de garantir a durabilidade do sistema quanto a ação de agentes agressivos.

Mas não só isso, pensando na fabricação das vigotas treliçadas, outras propriedades do concreto também devem ser satisfatórias para a qualidade do produto final, como por exemplo, uma trabalhabilidade que permita o adensamento do concreto nas formas e a perfeita acomodação da treliça metálica.

Sendo assim, desenvolveu-se, em uma empresa de pré-fabricados da cidade de Paulo Lopes-SC, uma análise do concreto empregado na fabricação das vigotas, seguindo as normas brasileiras, relacionadas ao processo e ao produto.

1.1 Justificativa

Para que se mantenham competitivas no mercado, as empresas de modo geral, precisam constantemente garantir a qualidade dos seus produtos e atender às expectativas dos clientes, sempre com o menor custo de produção possível.

As empresas de lajes pré-fabricadas não são diferentes, além de precisar manter a qualidade dos seus artefatos, sem abusar dos custos de produção, precisam estar atentas ao atendimento das normas técnicas, para que o produto desempenhe sua função estrutural com êxito.

A produção de concreto é uma atividade complexa, pois vários são os fatores que influenciam na sua qualidade, desde as características dos materiais que são utilizados na produção, que podem ser totalmente diferentes de região para região, até as proporções de cada um deles na mistura.

Pode, e não é raro ocorrer, do concreto depois de curado, não atender as condições do dimensionamento inicial. O que reflete em um concreto de baixa qualidade e acarreta na falta de segurança da estrutura. Caso esse material esteja resistindo muito além do esperado, significa uso exagerado de materiais como cimento Portland, por exemplo, na hora de dosar; o que encarece a produção.

Em virtude dos fatos mencionados, uma empresa de pré-fabricados da região da grande Florianópolis, abriu suas portas da fábrica para avaliar a qualidade do concreto produzido por ela e, disponibilizou a sua estrutura para coleta de dados, assim como permitiu a utilização dos dados existentes, que serviram de base para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao fazer a análise dos laudos de resistência a compressão do concreto que está sendo produzido na fábrica atualmente, foi possível identificar variação considerável nesses resultados, o que se tornou o motivador principal para a realização desse trabalho. Os laudos analisados são de uma empresa de controle tecnológico terceirizada e estão disponíveis no ANEXO B deste trabalho.

1.2 Definição do Problema

O problema em questão está na variação da resistência mecânica à compressão no concreto produzido na fábrica de pré-fabricados.

1.3 Objetivo Geral

O objetivo geral foi identificar e apresentar as possíveis causas da variação da resistência mecânica à compressão, bem como propor as possíveis soluções para melhorar a qualidade do material produzido pela empresa.

1.4 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos foram definidos:

- a) Analisar os resultados dos testes de resistência à compressão do concreto produzido pela empresa, assim como sua trabalhabilidade e o aspecto visual do produto final;
- b) Identificar e apresentar as ações nas etapas de produção, que possam influenciar de maneira negativa na qualidade do concreto produzido;
- c) Realizar, um estudo de dosagem de concreto com os materiais atualmente empregados ou com novos materiais que demonstrem vantagens técnicas e econômicas;
- d) Fazer um comparativo de custos para analisar a viabilidade técnica e econômica entre o concreto produzido atualmente e o novo concreto dosado.

1.5 Estrutura do Trabalho

O trabalho está dividido em seis capítulos, o primeiro deles refere-se à introdução ao tema abordado, contextualizando o leitor sobre o assunto, bem como a apresentação da justificativa e dos objetivos gerais e específicos.

No segundo capítulo encontra-se o referencial teórico, que objetiva aprofundar-se nos conhecimentos a respeito do material concreto, dos seus componentes e suas propriedades.

O terceiro capítulo traz a metodologia do trabalho e a estrutura que será seguida, enquanto o quarto capítulo aborda os métodos aplicados.

O quinto capítulo apresenta o processo produtivo da empresa, bem como todos os dados coletados e analisados ao longo desse estudo, esse capítulo mostra ainda os testes que foram realizados e os resultados obtidos.

Por fim, o sexto capítulo traz as considerações finais do trabalho e propõem as possíveis alternativas para reduzir a variação da qualidade do concreto produzido pela empresa de pré-fabricados atualmente, concluindo o estudo faz-se sugestões para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Lajes pré-fabricadas de concreto

De acordo com a ABNT NBR 14859 – 1 (2016), as lajes pré-fabricadas podem ser do tipo vigotas, minipainéis e painéis, armadas em uma ou duas direções.

A ABNT NBR 9062 (2017) define os elementos pré-fabricados em concreto como “elemento pré-moldado executado industrialmente, em instalações permanentes de empresa destinada para este fim.”

Conforme a ABNT NBR 14859-1 (2016), a resistência característica do concreto à compressão utilizado na produção das vigotas treliçadas deve estar especificada no projeto estrutural, sendo exigido no mínimo classe C20.

2.2 Concreto

A ABNT NBR 12655 (2022) define o concreto como:

Material formado pela mistura homogênea de cimento, agregados miúdo e graúdo e água, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos, pigmentos, metacaulim, sílica ativa e outros materiais pozzolânicos), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (cimento e água)

Apesar de ser um material recente para construção de estruturas, Helene e Andrade (2010), definem o concreto como sendo uma das descobertas mais importantes para a construção civil contemporânea, contribuindo para o desenvolvimento da humanidade e melhorando a qualidade de vida das pessoas.

O concreto tem grande emprego na construção civil por ser constituído de material cerâmico, matéria prima facilmente encontrada em todos os lugares do mundo, além disso, suas propriedades como versatilidade, durabilidade, desempenho, resistência a ação da água e os esforços mecânicos de compressão tornam o concreto o carro chefe das construções. (HELENE e ANDRADE, 2010)

De acordo com Pedroso (2009), essa utilização difundida do concreto se dá por ele ser uma pedra artificial capaz de se moldar a inventividade construtiva do homem, pois esse material no estado fresco é um composto plástico, possibilitando

sua modelagem das mais variadas formas e tamanhos e, no seu estado endurecido, tem resistência similar as rochas naturais.

Já como desvantagem desse material, pode-se citar Isaia (2005, apud SERAFIN, Bolívar L. T; WERNER, Matheus P. 2018, p.18):

O concreto também apresenta algumas desvantagens, como peso próprio elevado, porém pode ser diminuído com utilização de agregados leves, é também susceptível a variações volumétricas e, ainda, a calor de hidratação, que podem ocasionar fissuras em determinadas estruturas. Entretanto, suas vantagens e versatilidades se sobressaem, fazendo com que o concreto assumira o segundo lugar entre os materiais mais consumidos pela humanidade, perdendo apenas para a água.

A seguir serão apresentados alguns dos principais componentes do material concreto.

2.2.1 Cimento Portland

O cimento Portland é constituído principalmente por clínquer, que é obtido pela mistura de calcário, argila e outros materiais silicosos, alumina e matérias que contenham óxido de ferro, a queima desses materiais a temperatura de clinquerização, aproximadamente 1450°C resulta no clínquer moído. (HELENE e ANDRADE, 2010)

No processo de produção, após o resfriamento do clínquer, esse material recebe a adição de determinada quantidade de gipsita (sulfato de cálcio), para ser novamente moído até resultar em um pó fino, o cimento Portland comercial utilizado em todo planeta. (NEVILLE, 2013)

O cimento ao ser misturado com a água forma a pasta de cimento, ao serem misturados os silicatos e aluminatos complexos hidratam-se e produzem o endurecimento da massa, que pode então oferecer elevado resistência mecânica. (PETRUCCI, 1968).

Existem vários tipos de cimentos comercializados, esses tipos se diferenciam conforme a proporção de clínquer e sulfatos de cálcio e de adições, tais como escórias, pozolanas, e filer calcário, acrescentadas no processo de moagem. (HELENE e ANDRADE, 2010)

Conforme a ABNT NBR 16697 (2018):

Os Cimentos Portland são designados por seu tipo que correspondem a adições e propriedades especiais. São identificados por suas siglas, seguidas de sua classe de resistência (25, 30, 40 ou ARI), acrescidas dos sufixos RS e BC, quando aplicáveis.

Quadro 1 - Designação normalizada, sigla e classe do cimento Portland

Designação normalizada (tipo)	Subtipo	Sigla	Classe de resistência	Sufixo
Cimento Portland comum	Sem adição	CP I	25, 32 ou 40 (c)	RS (a) ou BC (b)
	Com adição	CP I-S		
Cimento Portland composto	Com escória granulada de alto forno	CP II-E		
	Com material carbonático	CP II-F		
	Com material pozolânico	CP II-Z		
Cimento Portland de alto-forno		CP III		
Cimento Portland pozolânico		CP IV		
Cimento Portland de alta resistência inicial		CP V	ARI (d)	
Cimento Portland branco	Estrutural	CPB	25, 32 ou 40 (c)	
	Não estrutural	CPB	-	-
(a) O sufixo RS significa resistente a sulfatos e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos em 5.3, além dos requisitos para seu tipo e classe originais				
(b) O sufixo BC significa baixo calor de hidratação e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos em 5.4, além dos requisitos para seu tipo de classe originais				
(c) As classes 25, 32 e 40 representam os valores mínimos de resistência à compressão aos 28 dias de idade, em megapascal (MPa), conforme método de ensaio estabelecido pela ABNT NBR 7215.				
(d) Cimento Portland de alta resistência inicial, CP V, que apresenta a 1 dia de idade resistência igual ou maior que 14 MPa, quando ensaiado de acordo com a ABNT NBR 7215 e atende aos demais requisitos estabelecidos nesta Norma para esse tipo de cimento.				

Fonte: ABNT NBR 16697 (2018).

2.2.2 Agregados

De modo geral, os agregados são fragmentos de rochas e areias, empregados na produção de concreto, com a finalidade de complementar a mistura e

proporcionar economia de cimento. Porém, esses materiais têm influência nas características do concreto, tanto no estado fresco como endurecido. (LISBOA, 2017)

Conforme Neville (2016), cerca de 75% do volume do concreto é composto por agregados, sendo assim, suas propriedades afetam significativamente a durabilidade e o desempenho estrutural do concreto, desse modo, a qualidade dos agregados é de extrema importância para produção de um concreto resistente.

A ABNT NBR 7211 (2022) recomenda:

Os agregados devem ser compostos por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, e não devem conter substâncias de natureza e em quantidade que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento, a proteção da armadura contra a corrosão, a durabilidade ou, quando dor requerido, o aspecto visual externo do concreto.

A ABNT NBR 7211 (2022), classifica os agregados quanto a sua dimensão em agregado miúdo e agregado graúdo, sendo os agregados miúdos aqueles que passam pela peneira de abertura de malha 4,75 mm e que ficam retidos na peneira de malha de 150 μ m, enquanto os agregados graúdos são os passantes pela peneira com abertura de malha de 75 mm e retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm.

Grande parte dos agregados utilizados na produção de concreto formam-se através do processo de abrasão da rocha-mãe, ou ainda por britagem desses grandes blocos de rocha. As propriedades da rocha-mãe, como a composição química e mineral, massa específica, dureza, resistência, estrutura de poros, entre outras características, influenciarão nas propriedades do agregado produzido. (NEVILLE, 2013).

2.2.3 Aditivos

Helene e Andrade (2010), definem os aditivos como produtos químicos adicionados a massa de materiais cimentícios, em proporções que variam entre 0,05% a 5%, com a finalidade de modificar as propriedades dessa massa e proporcionar vantagens de engenharia nos estados fresco e endurecido.

Apesar dos aditivos representarem um custo adicional, isso nem sempre é visto como uma despesa, pois o emprego de aditivos pode resultar em economia no

consumo de cimento ou, ainda, na melhoria da trabalhabilidade, sem a utilização de medidas adicionais. (NEVILLE, 2016).

De acordo com Lisboa (2017), os principais objetivos ao se utilizar aditivos em concretos são: melhorar a trabalhabilidade, acelerar ou retardar o tempo de pega, controlar o desenvolvimento da resistência e intensificar a resistência à ação do congelamento, fissuração térmica e resistência a corrosão da armadura.

Dentre os diversos aditivos existentes, podemos destacar os seguintes:

2.2.3.1 Redutores de água, plastificantes e superplastificantes

Os aditivos plastificantes ou redutores de água, permitem uma redução de pelo menos 5% na água de amassamento para uma determinada trabalhabilidade, enquanto os aditivos superplastificantes ou redutores de água de alta performance, podem reduzir a água da mistura em até 40%. (HELENE e ANDRADE, 2010)

Esses aditivos são empregados com a finalidade de reduzir o consumo de água, sem alterar a trabalhabilidade, fluidez e, ainda, aumentar a resistência e durabilidade do concreto. Além disso, podem reduzir o consumo de cimento na mistura, mantendo as propriedades do concreto, proporcionando economia. (HELENE e ANDRADE, 2010)

2.2.3.2 Incorporadores de ar

Os aditivos incorporadores de ar são aditivos que introduzem um sistema de bolha de ar microscópico no concreto, melhorando a reologia das misturas que contenham baixo consumo de cimento, ou em traços com agregados de graduação pobre e falta de finos, melhorando, nesses casos, a trabalhabilidade, coesão, reduzindo a segregação e exsudação. (HELENE e ANDRADE, 2010)

Isaia (2011) ainda destaca que outras propriedades podem ser melhoradas com o emprego dos incorporadores de ar, como o desempenho térmico e acústico, por exemplo.

2.2.3.3 Modificadores de pega

Os modificadores de pega podem acelerar ou retardar o endurecimento do concreto.

Aditivos aceleradores de pega, intensificam a taxa de hidratação do cimento e são utilizados para aumentar o desenvolvimento da resistência do concreto nas idades iniciais. (HELENE e ANDRADE, 2010)

Esses aditivos são utilizados geralmente para concretagens em baixa temperatura, onde há necessidade de aumentar a temperatura da mistura de concreto para promover seu endurecimento rápido. (NEVILLE, 2013)

Já os aditivos retardadores de pega, exercem a função contrária, formam uma camada pouco permeável ao redor dos grãos de cimento, retardando a evolução da hidratação e conseqüentemente o endurecimento e ganho de resistência da mistura. (HELENE e ANDRADE, 2010)

Os retardadores de pega são geralmente empregados em concretagens em clima quente, onde o tempo de endurecimento é reduzido pela alta temperatura. (NEVILLE, 2013).

2.3 Propriedades do concreto

Após a mistura do concreto, este passa por duas fases distintas, estado fresco e estado endurecido. Que serão apresentados a seguir.

2.3.1 Propriedades do concreto fresco

Para que a resistência e a qualidade de modo geral do concreto em seu estado endurecido sejam atingidas, é fundamental garantir no estado fresco, consistência de mistura para o transporte, lançamento, adensamento e acabamento, sem que haja segregação dos materiais. (NEVILLE, 2016).

Dentre as principais propriedades do estado fresco do concreto, destacam-se a trabalhabilidade, coesão, segregação e exsudação.

2.3.1.1 Trabalhabilidade

Segundo Neville (2016), um concreto trabalhável é aquele que pode ser facilmente adensável, porém, a trabalhabilidade é muito mais do que a facilidade de lançamento sem que haja segregação da mistura, para ele, a trabalhabilidade é uma propriedade física do concreto em si, sem referência às situações de um tipo específico de construção.

Já para Bauer (2019), a natureza da obra deve ser levada em conta, pois um concreto trabalhável para peças de grandes dimensões e pouco armadas, pode não ser trabalhável para peças delgadas e muito armadas, além disso, deve ser considerado o tipo de adensamento a ser utilizado, se este será realizado com o emprego de vibradores ou será feito de maneira manual.

Neville (2013) aponta que a trabalhabilidade é afetada por alguns fatores que interagem entre si, como por exemplo, a quantidade de água, o tipo e a dimensão dos agregados, a relação agregado/cimento, a presença de aditivos e a finura do cimento. Dentre esses fatores destacados pelo autor, o principal deles é a quantidade de água na mistura, pois uma simples adição de água, aumenta a lubrificação entre as partículas.

Para que seja mensurada a trabalhabilidade do concreto, o ensaio mais comum utilizado, tanto em laboratório, quanto em obra, é o de determinação da consistência pelo abatimento de tronco de cone, definido pela ABNT NBR 16889 (2020).

2.3.1.2 Coesão e segregação

Em um concreto trabalhável, a ausência de segregação significativa é imprescindível, levando em conta que o adensamento da mistura segregada é impossível e, desse modo, para que não ocorra a segregação da mistura, o concreto deve ser coeso. (NEVILLE, 2016).

Bauer (2019), entende a segregação como a separação dos constituintes da mistura, e essa separação ocorre devido a diferença nos tamanhos dos grãos dos

agregados e na massa específica dos constituintes, ou ainda, pela vibração excessiva do concreto.

Neville (2016) diz que existem duas maneiras de desagregação, uma delas se deve a tendência das partículas maiores se separarem em virtude de sua propensão de se deslocarem em superfícies inclinadas e se assentarem mais do que as partículas finas. A outra forma de desagregação manifesta-se pela separação da pasta de cimento e água da mistura, e ocorre devido ao excesso de água no concreto.

Neville (2016) ainda alerta que a vibração é o melhor meio de adensar o concreto, porém, quando utilizado de maneira excessiva, aumenta o risco de desagregação consideravelmente.

2.3.1.3 Exsudação

Essa propriedade também é uma forma de segregação, onde a água do concreto recém lançado tende a se deslocar para a superfície, tornando essa região muito úmida, e caso a água da mistura for impedida de evaporar, devido a essa camada superficial, o concreto ficará poroso, fraco e de pouca durabilidade. (BAUER, 2019).

De acordo com Neville (2016), esse fenômeno ocorre devido a incapacidade de os constituintes sólidos da mistura reterem toda a água de amassamento quando se assentam no fundo das formas, já que a água tem a menor massa específica dos componentes empregados e tende a subir para superfície.

Mas Bauer (2019), afirma que nem sempre a exsudação é prejudicial ao concreto, pois evaporando-se a água, a relação água/cimento diminui, proporcionando ganho de resistência, desde que esse fenômeno não gere perturbações na estrutura do concreto.

2.3.2 Propriedades do concreto endurecido

Bauer (2019) diz que o concreto é considerado sólido após a pega, e após atingir esse estado endurecido estará em constante evolução, reagindo as modificações das condições físicas, químicas e mecânicas.

As principais propriedades do estado endurecido do concreto são:

2.3.2.1 Resistência mecânica

A resistência do concreto geralmente é considerada sua propriedade mais importante, é uma característica fundamental na hora de projetar estruturas de concreto, essa propriedade está diretamente relacionada a pasta de cimento hidratada. (NEVILLE, 2016)

Isaia (2011), define essa propriedade como sendo a capacidade do material de suportar as cargas aplicadas sobre ele, sem que o mesmo entre em ruína, ou seja, a resistência é a carga máxima aplicada sobre um corpo-de-prova.

Helene e Terzian (1992, apud SERAFIN, Bolívar L. T; WERNER, Matheus P. 2018, p.26) complementam:

Através das escolhas dos materiais constituintes, da relação água/cimento e seguindo as exigências de trabalhabilidade, a resistência à compressão do concreto torna-se uma propriedade sensível para detectar, através de suas características, qualquer modificação das propriedades dos materiais que a constituem.

Para Silva (2010), os dados de resistência à compressão são um parâmetro de aceitação do concreto no estado endurecido.

2.3.2.2 Permeabilidade

De acordo com Bauer (2019) é de suma importância conhecer o grau de permeabilidade do concreto, pois quanto maior for a permeabilidade do material mais suscetível ele estará a ação de agentes agressivos e a durabilidade da estrutura pode ficar ameaçada.

As causas da produção de um concreto muito poroso geralmente são má elaboração e má dosagem do material, gerando vazios de dimensões mais relevantes que permitem a entrada de líquidos e gases. (BAUER, 2019)

A permeabilidade do concreto pode ser expressa pela quantidade de água que atravessa uma superfície unitária, em uma espessura unitária durante a unidade de tempo, e sob pressão unitária (litro/m²h). (BAUER, 2019)

2.3.2.3 Durabilidade

A durabilidade do concreto, nada mais é, do que a condição desse material de resistir a ação de agentes ou processos destrutivos, que podem deteriorar o concreto em maior ou menor grau, de acordo com cada situação, podendo levar a desagregação completa da estrutura. (BAUER, 2019)

É necessário conhecer a estrutura e o ambiente onde ela estará inserida, pois este meio pode fazer com que o concreto tenha sua vida útil reduzida significativamente. (ISAIA, 2011)

De acordo com Bauer (2019) as causas da deterioração do concreto são de diferentes origens e agem por distintos mecanismos. O autor classifica os agentes agressivos conforme o quadro a seguir.

Quadro 2 - Classificação dos agentes agressivos

Agentes	Concreto	Armadura
Mecânicos	Abrasão, choques, vibração, fadiga	
Físicos	Temperatura	
Físico-químicos		Corrosão eletroquímica
		Corrosão sob tensão
Ecológicos e químicos	Águas puras	Oxidação
	Águas carbônicas	
	Águas sulfatadas	
	Água do mar	
	Agentes reativos	
Intrínsecos	Reação álcali-agregado	
Biológicos	Bactérias	

Fonte: Bauer (2019).

3 METODOLOGIA

O trabalho a ser realizado trata-se de um estudo de caso, com pesquisa qualitativa e aplicada, que objetiva avaliar a qualidade do concreto utilizado na fabricação de vigotas treliçadas, por meio da análise dos resultados de testes de resistência à compressão do material, e se necessário, sugerir ajustes do processo de dosagem, com intuito de melhorar o desempenho do concreto produzido.

De posse dos dados de resistência mecânica à compressão e abatimento de tronco de cone, passou-se para a fase de análise desses dados e também do processo produtivo, para que então, se identificasse variações ou falhas no processo, fosse realizado um estudo de dosagem para correção de traço e sugestão de uma nova formulação, visando melhorar a relação custo/benefício, segurança e qualidade do produto final.

Em relação à natureza do trabalho, trata-se de uma pesquisa aplicada em uma empresa que produz artefatos de concreto, mais especificamente, vigotas treliçadas, com o propósito de gerar conhecimento e dados a respeito do assunto, para futuramente aplicar melhorias no seu setor produtivo do concreto.

A empresa faz amostragem parcial do concreto que produz para poder avaliar a resistência mecânica à compressão do mesmo. Esse serviço de coleta dos corpos de prova e rompimento dos mesmos é realizado por um laboratório de controle tecnológico local.

Diante do exposto, no desenvolvido do trabalho foram reunidos todos os laudos de resistência à compressão do concreto que a empresa coletou até março de 2023. Com esses dados foram calculados, de acordo com a ABNT NBR 12655 (2022), a resistência característica do concreto, além de tentar identificar a variabilidade de produção (desvio padrão).

Com os ensaios de resistência à compressão foram realizados por um laboratório de controle tecnológico local e podem existir problemas com relação a qualidade desse serviço, foi feito um interlaboratorial entre o referido laboratório e o Laboratório de Materiais de Construção do IFSC. Durante algumas semanas, foram moldados um número maior de corpos de prova, para que os mesmos fossem rompidos nos dois estabelecimentos.

Em função dos resultados encontrados nas etapas anteriores e com base nas informações coletadas nas visitas a fábrica, foram feitos dois estudos de dosagem, empregando-se o método do IPT/EPUSP (Helene e Terzian, 1993). Vale destacar que antes dos estudos de dosagem, foram feitos alguns ensaios em argamassa para a definição das melhores proporções entre os agregados miúdos atualmente empregados e para a definição de um possível novo agregado miúdo para produção dos concretos.

4 MÉTODOS APLICADOS

4.1 Apresentação da empresa e do processo produtivo

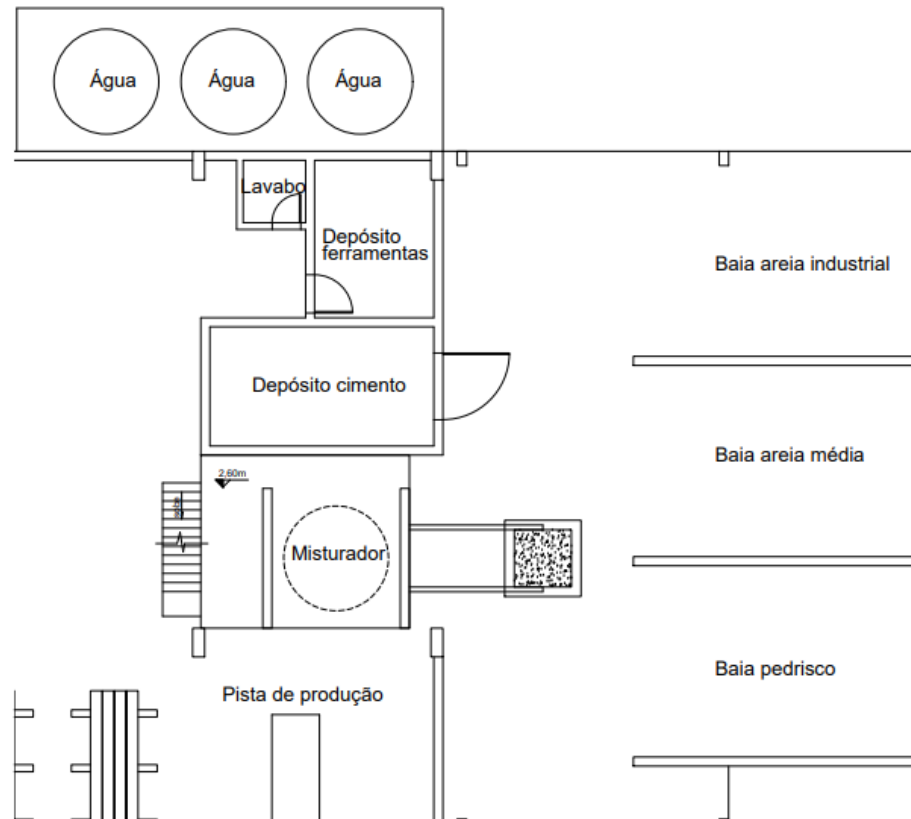
A empresa na qual foi desenvolvido o trabalho iniciou suas atividades no estado de Santa Catarina em 2008, a fábrica está situada no município de Paulo Lopes – SC e o setor técnico está localizado em Palhoça – SC. Conta atualmente com 23 funcionários, 12 deles no setor produtivo, 3 no setor técnico, 3 no setor administrativo, 1 no setor financeiro e 4 representantes comerciais. A empresa produz mensalmente cerca de 15mil metros quadrados de laje e atende desde o município de Tubarão - SC até Itapema - SC.

No que diz respeito a sua produção de concreto, são rodados diariamente em torno de 8m³. A empresa conta com um misturador do tipo planetário, um equipamento que distribuí o concreto na pista de produção, e o adensamento do concreto nas pistas é feito sobre uma mesa vibratória.

Os materiais empregados na produção do concreto são o Cimento Portland CP V-ARI RS, brita zero, areia de britagem, areia natural e água. Atualmente para cada virada de concreto são utilizados 150Kg de cimento, 210 litros de areia natural, 70 litros de areia de britagem, 280 litros de brita zero e a água é adicionada empiricamente de acordo com o aspecto visual do concreto.

A Figura 4, mostra o local da produção de concreto, que está localizado no canto superior direito da plana baixa geral da fábrica que está anexada no final deste trabalho (ANEXO A).

Figura 4 - Local da produção de concreto na fábrica



Fonte: Planta baixa da empresa objeto do estudo (2022).

Para facilitar a visualização de como é a fábrica e do processo produtivo, serão apresentadas algumas fotos a seguir.

Figura 5 - Misturador e equipamento que distribuí o concreto nas formas



Fonte: Autor (2023).

Figura 6 - Misturador



Fonte: Autor (2023).

Figura 7 - Pistas de produção de vigotas treliçadas



Fonte: Autor (2023).

Figura 8 - Baias de agregados



Fonte: Autor (2023).

Figura 9 - Área de estoque e corte de aço e treliças



Fonte: Autor (2023).

Figura 10 - Área de estoque do material produzido e desformado



Fonte: Autor (2023).

4.2 Moldagem dos corpos de prova e testes de abatimento de tronco de cone

A moldagem de corpos de prova e testes de abatimento de tronco de cone do concreto, são feitos atualmente pela própria empresa de pré-fabricados, após a cura inicial das amostras (primeiras 24 horas após a moldagem), os corpos de prova são desmoldados e levados até um laboratório de controle tecnológico da região, que rompe os corpos de prova nas idades de 7, 14 e 28 dias, para então fornecer os laudos de resistência à compressão. Essa coleta de amostras é feita de forma parcial, ou seja, não há uma periodicidade bem definida.

O ensaio de abatimento de tronco de cone utiliza os equipamentos e segue os métodos que estão especificados na ABNT NBR NM 67 (1996). Enquanto a moldagem dos corpos de prova, utiliza os materiais e segue o procedimento descrito na ABNT NBR 5738 (2015).

Para o concreto em questão, são moldados 3 exemplares cilíndricos de 10cm de diâmetro e 20cm de altura, em moldes de aço, que são moldados em duas camadas e o adensamento é feito manualmente, aplicando-se 12 golpes em cada camada. Desses 3 exemplares 1 exemplar (par de corpos de prova de concreto) é rompido a 7 dias de idade, outro exemplar rompido a 14 dias de idade e o último exemplar é rompido aos 28 dias de idade.

4.3 Coleta e análise de dados de resistência à compressão

Com o objetivo de verificar a confiabilidade dos laudos fornecidos pelo laboratório de controle tecnológico local, foi realizado um pequeno teste interlaboratorial. Foram moldados dois exemplares para 4 lotes diferentes de concreto, para que de cada lote coletado, um exemplar de corpos de prova fosse rompido no laboratório de Materiais de Construção Civil do Campus Florianópolis do Instituto Federal de Santa Catarina e o outro par fosse rompido no laboratório que é contratado pela empresa para realizar esse serviço.

Como a finalidade principal dessa etapa era visualizar a confiabilidade dos dados, as amostras foram rompidas com 14 dias de idade e os resultados encontram-se no quadro 3:

Quadro 3 - Resultados de resistência à compressão de dois laboratórios distintos

Data da moldagem	Amostra	Resistência à compressão (MPa) Laboratório terceirizado	Resistência à compressão (MPa) Laboratório IFSC
14/02/2023	1	20,7	21,2
16/02/2023	2	23,8	22,5
27/02/2023	3	22,6	23,2
02/03/2023	4	22,3	21,7

Fonte: Elaboração própria (2023).

Analisando os resultados de resistência à compressão do Quadro 3, não é possível identificar nenhuma diferença significativa nos valores de resistência à compressão das amostras do laboratório terceirizado em relação ao laboratório do IFSC, portanto, para dar continuidade ao estudo foram utilizados os laudos de resistência à compressão fornecidos pela empresa contratada (todos os laudos estão apresentados no ANEXO B).

No Quadro 4 estão apresentadas as informações dos laudos de resistência a compressão fornecidos pela empresa terceirizada.

Quadro 4 - Resultados de resistência à compressão

Data da moldagem	Abatimento (cm)	Resistência à compressão a 7 dias (MPa)	Resistência à compressão a 14 dias (MPa)	Resistência à compressão a 28 dias (MPa)
05/07/2022	-	26,5	28,0	32,4
19/07/2022	15	22,0	24,4	25,2
06/09/2022	10	15,6	18,5	21,5
05/10/2022	7	9,4	11,6	13,0
16/11/2022	17	21,1	22,3	27,1
24/11/2022	15	25,0	25,7	30,3
13/12/2022	15	19,0	20,4	22,7
18/01/2023	18	15,9	18,4	19,5
08/02/2023	15	17,6	20,4	23,8
14/02/2023	13	19,9	20,7	23,4
16/02/2023	14	21,9	23,8	26,4
27/02/2023	15	22,3	22,6	26,2
02/03/2023	15	20,6	22,3	24,9

Fonte: Elaboração própria (2023).

Fazendo a análise dos dados do quadro acima é possível identificar variação considerável nos valores de abatimento de tronco de cone e também valores bem discrepantes de resistência à compressão a 28 dias de idade, como por exemplo, 13,0MPa e 32,4MPa, ou seja, há variação significativa na qualidade do concreto produzido pela empresa atualmente.

Para determinação da resistência característica do concreto à compressão utilizou-se o controle estatístico do concreto por amostragem parcial, conforme a ABNT NBR 12655 (2022), chegando ao $f_{ck,est}$ de 16,20MPa, abaixo da classe C20, que é o mínimo exigido pela ABNT NBR 14859-1 (2016) para vigotas treliçadas.

4.4 Investigação das possíveis causas da variação da resistência à compressão

A primeira observação realizada foi nas baias de agregados que são parcialmente cobertas, ou seja, os agregados ficam expostos a água da chuva, conforme a Figura 11:

Figura 11 - Baias de agregados



Fonte: Autor (2023).

Vista por outro ângulo, na Figura 12, em um dia chuvoso, é possível identificar o acúmulo de água nas baias de agregados.

Figura 12 - Baias de agregados



Fonte: Autor (2023).

Como a empresa não faz o controle de umidade dos agregados, isso pode afetar a qualidade do concreto produzido, tanto na resistência quanto no slump.

O segundo ponto observado foi no momento do proporcionamento dos agregados, que eram dosados em volume, mais especificamente em jericas de 70 litros. Porém, nas figuras 10 e 11 pode-se observar que não há um controle desse processo. Nota-se jericas com diferentes volumes de materiais, sendo esse outro fator que pode estar contribuindo para a variação no concreto.

Figura 13 - Jerica de agregados



Fonte: Autor (2023).

Figura 14 - Jerica de agregados



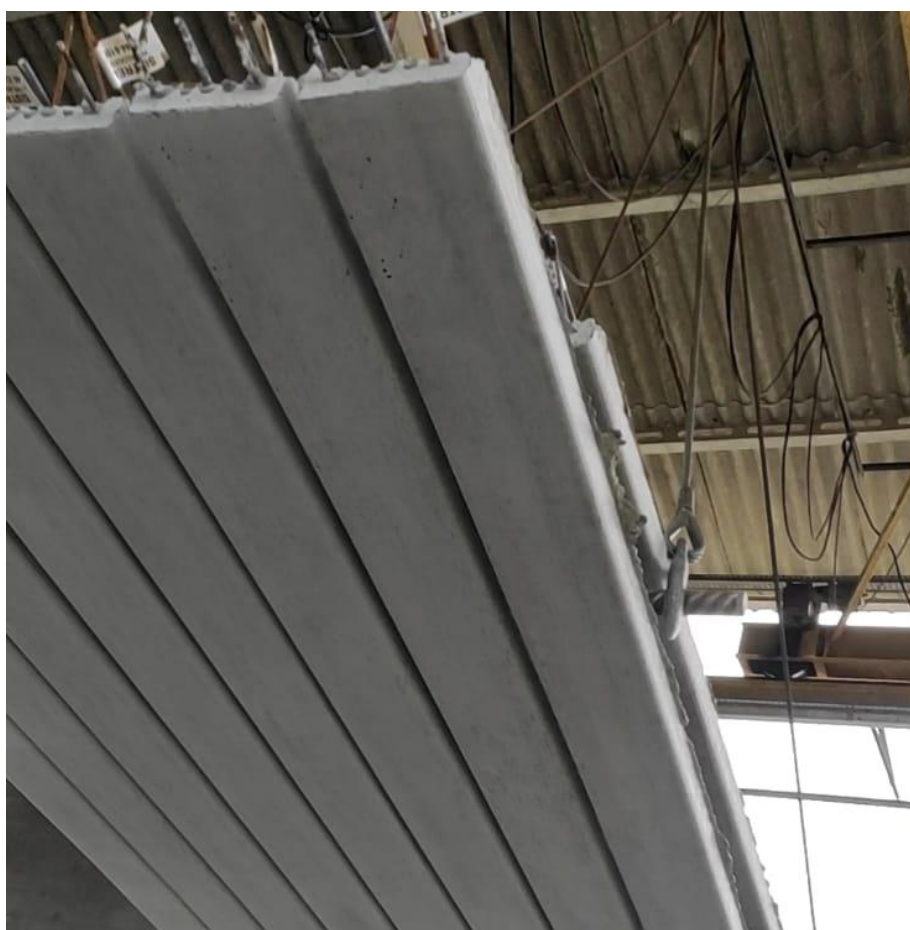
Fonte: Autor (2023).

Cabe salientar que a relação água/cimento impacta tanto na trabalhabilidade quanto na resistência à compressão do concreto. Como já foi

mencionado anteriormente, o traço atual não tem a quantidade de água definida, o trabalhador responsável pela dosagem ajusta empiricamente a quantidade de água no concreto observando o aspecto visual do mesmo.

Apesar do problema com a variação de resistência à compressão, o acabamento do material que está sendo produzido não apresenta falhas de concretagem, bicheiras ou um excesso de bolhas de ar, como pode ser observado nas Figura 15 e Figura 16.

Figura 15 - Acabamento da parte inferior das vigotas treliçadas



Fonte: Autor (2023).

Figura 16 - Acabamento da parte superior das vigotas treliçadas



Fonte: Autor (2023).

Outro ponto importante que deve ser salientado é que o traço empregado atualmente foi dosado a cerca de seis anos atrás. Durante esse período os materiais sofreram alteração e não houve alteração no traço. Portanto, foram realizados alguns testes com os agregados disponíveis na fábrica e feito um novo estudo de dosagem, apresentados a seguir.

4.5 Ensaio com as areias disponíveis

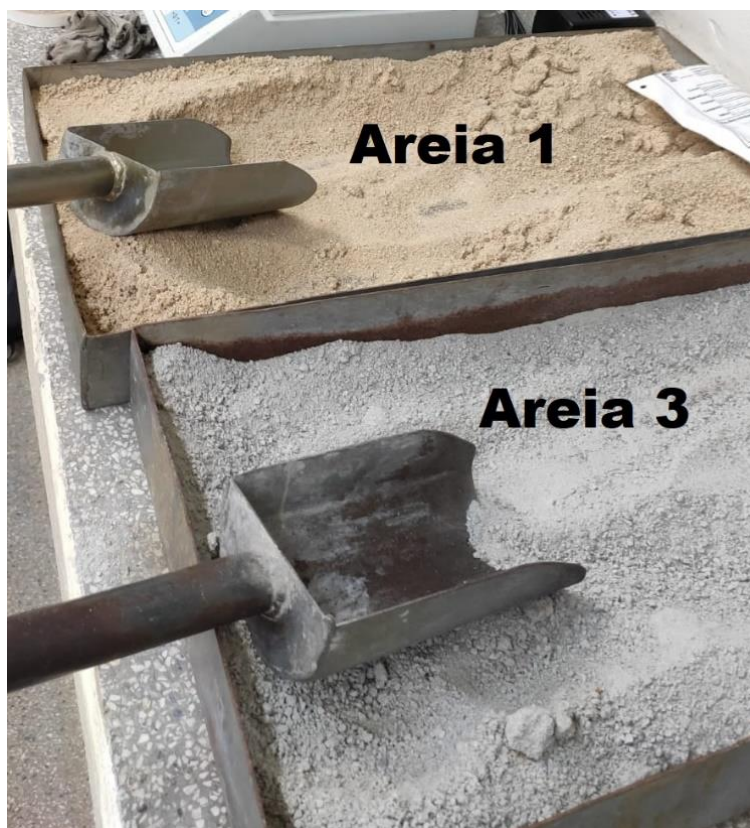
Atualmente, a fábrica recebe dois tipos de areia média (areia 1 e 2), uma areia de britagem (areia 3) e a brita zero (pedrisco), como há mais de uma areia disponível o estudo focou mais na análise das areias. Todos os testes e ensaios apresentados a seguir foram realizados no laboratório do Campus Florianópolis do Instituto Federal de Santa Catarina.

4.5.1 Determinação da massa específica

Para coleta dos agregados seguiu-se os procedimentos recomendados na NM 26 (2009) e para a redução da amostra de campo para o ensaio de laboratório obedeceu-se a NM 27 (2000).

Na Figura 17 estão identificadas a areia 1 e a areia 3, sendo a areia 3 a areia de britagem.

Figura 17 – Aspecto visual da Areia 1 e da Areia 3



Fonte: Autor (2023).

A figura 18 apresenta o aspecto visual da areia 2.

Figura 18 – Aspecto visual da Areia 2



Fonte: Autor (2023).

A massa específica (d_1) foi determinada através do ensaio do picnômetro, foram realizados dois testes para cada areia e os valores de d_1 apresentados no Quadro 5, esses valores são uma média entre os valores desses dois testes de cada areia.

Quadro 5 - Valores de massa específica (d_1)

Areia	d_1 (Kg/dm³)
Areia 1	2,57
Areia 2	2,58
Areia 3	2,59

Fonte: Elaboração própria (2023).

4.5.2 Distribuição granulométrica

Assim como na determinação de massa específica, para a determinação da distribuição granulométrica a coleta dos agregados seguiu os procedimentos

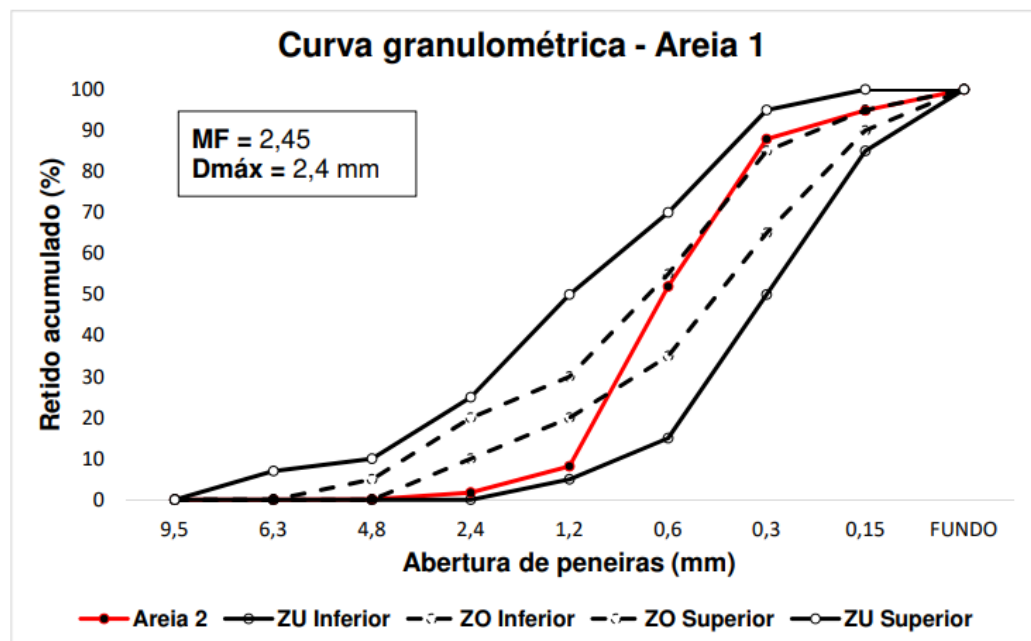
recomendados na NM 26 (2009) e para a redução da amostra de campo para o ensaio de laboratório obedeceu-se a NM 27 (2000).

Nos ensaios de granulometria das 3 areias foram utilizadas as peneiras com abertura de malha definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1 (2010), e foram seguidos os procedimentos da ABNT NBR 17054 (2022) e da ABNT NBR 7211 (2022).

As tabelas com os dados dos ensaios estão apresentadas no ANEXO C, ao final desse trabalho.

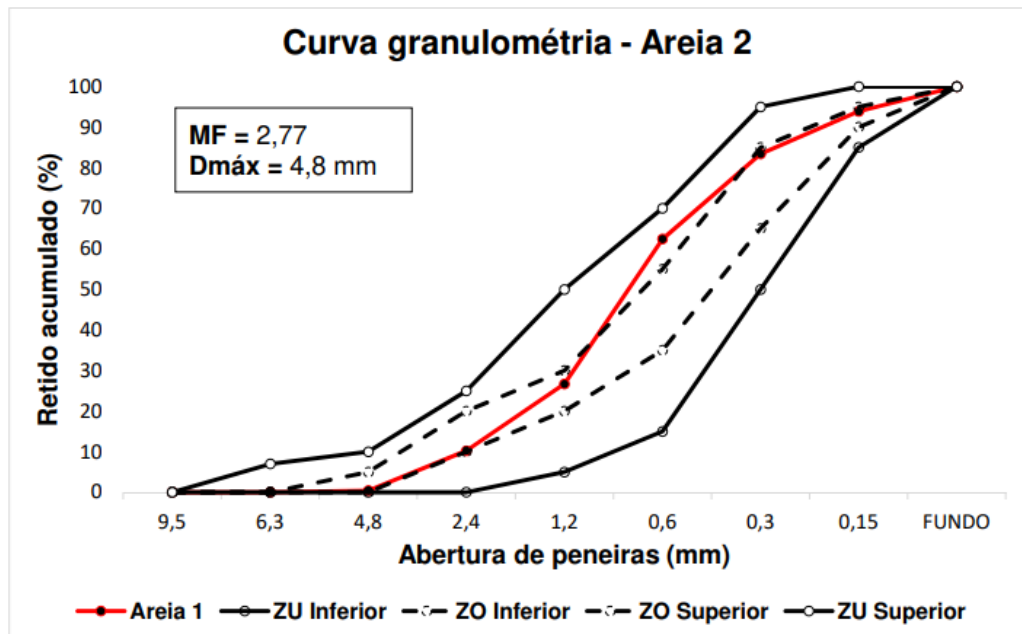
As Figura 19, Figura 20 e Figura 21 apresentam as curvas granulométricas das areias. Além do módulo de finura (MF) e a dimensão máxima característica do agregado ($D_{m\acute{a}x}$). No gráfico, os limites inferiores e superiores definidos pela ABNT NBR 7211 (2022) estão identificados como ZU (Zona Utilizável) e ZO (Zona Ótima).

Figura 19 - Curva granulométrica da areia 1



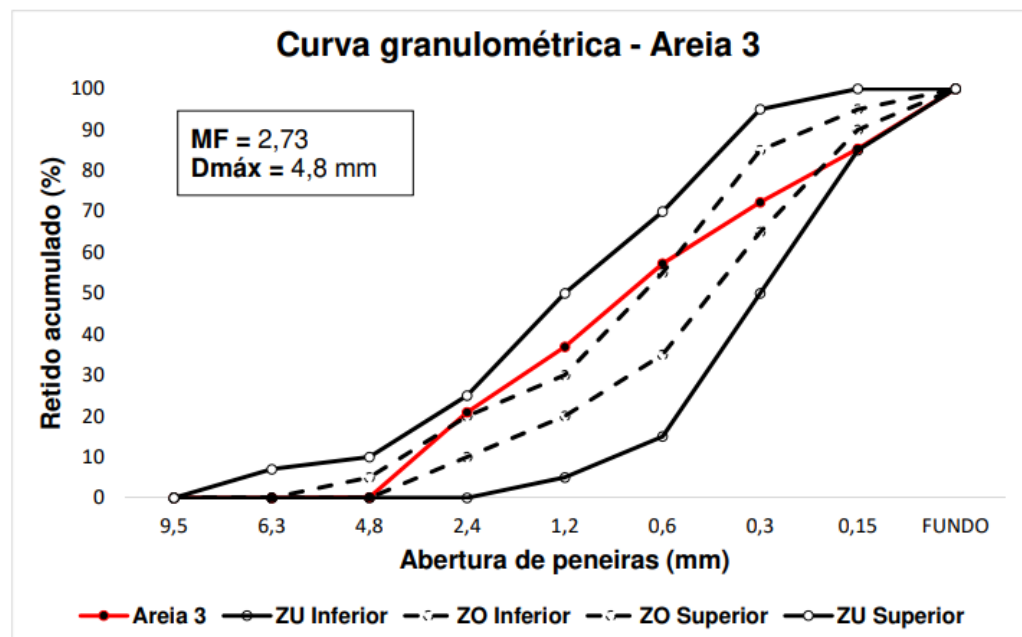
Fonte: Elaboração própria (2023).

Figura 20 - Curva granulométrica da areia 2



Fonte: Elaboração própria (2023).

Figura 21 - Curva granulométrica da areia 3



Fonte: Elaboração própria (2023).

Observa-se que as três areias ficaram dentro dos limites considerados utilizáveis pela ABNT NBR 7211 (2022) e os módulos de finura das 3 areias ficaram dentro da zona ótima, que varia de 2,20 a 2,90, de acordo com a norma.

4.6 Testes em argamassa

Após a caracterização dos agregados miúdos, foram realizados testes em argamassa, com o objetivo de descobrir qual areia ou qual composição de areias apresentaria a melhor consistência e maior resistência à compressão para uma mesma relação água/cimento nos testes em argamassa.

Para isso, fixou-se um traço em massa, com a seguinte relação 1 : 1,5 : 0,6, ou seja, para 1 Kg de cimento seria necessário 1,5 Kg de areia e 0,6 Kg de água. O cimento utilizado nos testes foi o CP V-ARI RS, as três areias foram combinadas em diferentes proporções em cada teste, conforme a Figura 22.

Para produção das argamassas utilizou-se a argamassadeira de laboratório e a mesa de consistência (flow-table), ambos os equipamentos disponíveis no laboratório de Materiais de Construção Civil do Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Florianópolis.

Os ensaios foram executados de acordo com o seguinte procedimento: mistura somente do cimento Portland e da areia na argamassadeira por 30 segundos; em seguida adição da água durante 30 segundos seguintes de mistura; depois mistura por mais 30 segundos, totalizando um tempo de mistura de 90 segundos.

Finalizado o procedimento de mistura, foi determinado o índice de consistência das argamassas, sendo avaliado o diâmetro de espalhamento após a aplicação de 5 golpes. Posteriormente, eram feitas as moldagens de corpos de provas cilíndricos de 5cm de diâmetro por 10cm de altura (2 corpos de prova para cada argamassa). Os corpos de prova foram rompidos com a idade de 7 dias e os resultados estão apresentados na Figura 22, onde também é possível observar a proporção de cada areia utilizada em cada um dos testes.

Figura 22 - Resultados dos testes em argamassa

TESTES EM ARGAMASSA - TRAÇO 1 : 1,5 : 0,6						
Quantidade de Cimento (Kg)	Quantidade de água (Kg)	Composição de areias	Proporção de cada areia (%)	Quantidade de areia (Kg)	Resultado do ensaio de Flow Table (cm X cm)	Resistência à compressão a 7 dias (MPa)
1,60	0,96	Areia 1	100	2,40	22,5 X 23,0	26,7
		Areia 3	0	0,00		
		Areia 1	75	1,80	23,0 X 23,0	23,8
		Areia 3	25	0,60		
		Areia 1	50	1,20	22,5 X 22,5	24,6
		Areia 3	50	1,20		
		Areia 1	25	0,60	20,5 X 21,5	22,7
		Areia 3	75	1,80		
		Areia 1	0	0,00	22,5 X 22,5	22,0
		Areia 3	100	2,40		
		Areia 2	100	2,40	23,0 X 23,5	21,5
		Areia 3	0	0,00		
		Areia 2	75	1,80	24,0 X 23,5	25,9
		Areia 3	25	0,60		
Areia 2	25	0,60	22,5 X 23,0	17,5		
Areia 3	75	1,80				

Fonte: Elaboração própria (2023).

Analisando os valores obtidos em argamassa nota-se que a diferente composição de areias não teve influência significativa nos testes de índice de consistência, apresentando resultados próximos, porém, a resistência mecânica à compressão foi afetada pela variação das areias na mistura. O valor mais alto de resistência à compressão foi atingido pelo traço que utilizou 100% da areia 1 em sua composição (26,7MPa), o segundo melhor resultado de resistência à compressão a idade de 7 dias foi a composição de 75% da areia 2, com 25% da areia 3 (25,9MPa), que coincidentemente, é a composição utilizada atualmente na empresa.

Diante do exposto, foi escolhida a composição de areia atual (75% da areia 2 e 25% da areia 3) para a dosagem de um novo traço sem a utilização de aditivo. E como a areia 1 e 2 tem menor custo do que a areia 3, optou-se por fazer também a dosagem de um novo traço com o emprego de aditivo e a utilização somente da areia 1, que apresentou o melhor desempenho de resistência à compressão nas argamassas.

4.7 Dosagem

A dosagem dos novos traços fundamentou-se no método IPT/EPUSP. De acordo com o método, definiu-se o traço piloto ($m = 5$), um traço pobre ($m = 3,5$) e um traço rico ($m = 6,5$), sendo m a proporção de agregados (areia + brita).

Como o acabamento e a trabalhabilidade do concreto produzido atualmente não apresentaram problemas, adotou-se o mesmo teor de argamassa do traço atual, que é de aproximadamente 53%.

O concreto 1, concreto dosado sem o emprego de aditivo, com a composição das areias 2 e 3, nas proporções de 75% e 25%, respectivamente; mesma proporção que vem sendo utilizada pela empresa de pré-fabricados, A dosagem desse concreto objetiva definir a relação água/cimento, consumo de cimento e a proporção de agregados adequada para atingir a resistência à compressão requerida pela empresa e exigida pela ABNT NBR 14859-1 (2016) (pelo menos $F_{ck} \geq 20\text{MPa}$).

O concreto 2, concreto que utiliza apenas a areia 1 e tem o emprego de um aditivo superplastificante. Esse aditivo é proveniente de um fornecedor indicado pela empresa na qual está sendo realizado esse estudo. Por recomendação do fabricante do aditivo, a dosagem adotada nesse traço foi de 0,3% em relação à massa de cimento.

Para cada traço (m) foram produzidos 10 litros de concreto, para isso, utilizou-se um misturador Betomaq modelo MT40 disponível no laboratório de Materiais de Construção Civil do Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Florianópolis.

Figura 23 - Misturador Betomaq MT40



Fonte: www.betomaq.com.br (2023).

Após a mistura de todos os materiais a seco no equipamento, foi sendo adicionado medidas de água até obter o abatimento do concreto de 15 ± 2 cm, conforme mostra a Figura 24.

Figura 24 - Resultado do ensaio de abatimento de tronco de cone



Fonte: Autor (2023).

Além da consistência pelo abatimento de tronco de cone, determinou-se a massa específica do concreto no estado fresco e foram moldados dois exemplares cilíndricos, de 10cm de diâmetro por 20cm de altura, utilizando os materiais e seguindo o procedimento descrito na ABNT NBR 5738 (2015). Dos dois exemplares moldados para cada concreto, um exemplar foi rompido a idade de 7 dias e outro exemplar foi rompido a idade de 28 dias.

Após desmoldados, os corpos de prova foram curados em um tanque com água saturada de cal, onde os corpos de prova ficam submersos, como mostra a Figura 25.

Figura 25 - Tanque de cura com os corpos de prova de concreto



Fonte: Autor (2023).

Nas idades determinadas, os corpos de prova foram rompidos na prensa universal EMIC, modelo DL – 30000, disponível no laboratório de Materiais de Construção Civil do Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Florianópolis.

Figura 26 - Prensa universal EMIC DL - 30000



Fonte: Autor (2023).

No Quadro 6 estão apresentados os resultados dos ensaios de resistência à compressão do concreto 1.

Quadro 6 - Resultados de resistência à compressão do concreto 1

Traço m	Resistência à compressão a 7 dias (MPa)	Resistência à compressão a 28 dias (MPa)
3,5	20,3	27,6
5,0	13,4	17,4
6,5	9,9	11,4

Fonte: Elaboração própria (2023).

Os resultados de resistência à compressão do concreto 2 estão apresentados no quadro 7.

Quadro 7 - Resultados de resistência à compressão do concreto 2

Traço m	Resistência à compressão a 7 dias (MPa)	Resistência à compressão a 28 dias (MPa)
3,5	26,5	33,4
5,0	18,0	21,3
6,5	11,1	13,3

Fonte: Elaboração própria (2023).

A partir dos resultados de resistência à compressão, é possível traçar as curvas de Abrams (f_{cj} em função de a/c), curva de Lyse (traço (m) em função de a/c), e de Priskulnik (consumo de cimento (C) em função do traço (m)).

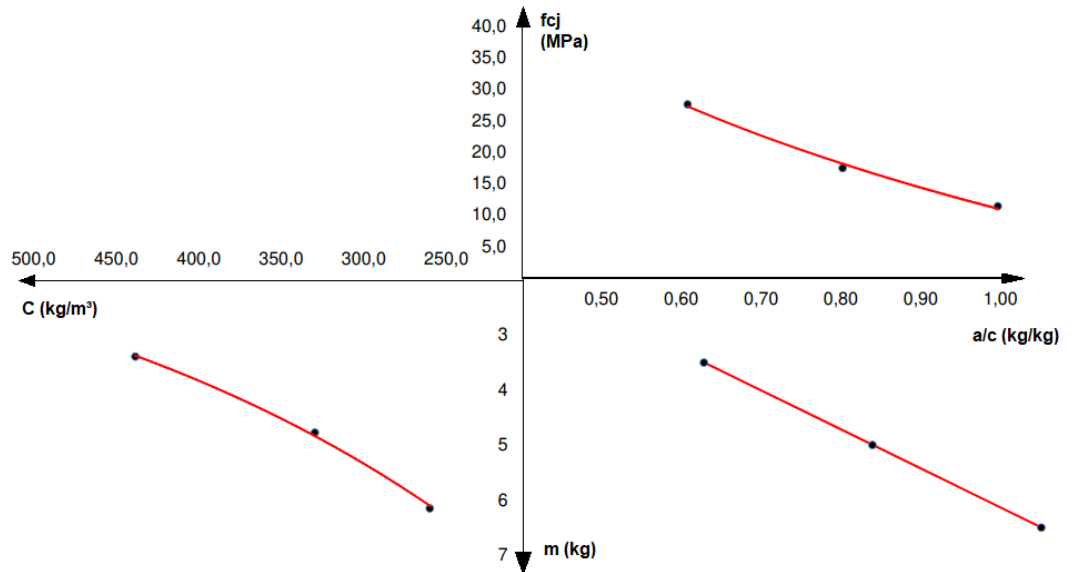
No Quadro 8, estão apresentados os parâmetros para construção das curvas de dosagem referentes ao concreto 1 e na sequência está apresentada na Figura 27 a curva de dosagem desse concreto.

Quadro 8 - Parâmetros das curvas de dosagem do concreto 1

Traço	Água/cimento (Kg/Kg)	Resistência à compressão a 28 dias (MPa)	Consumo de cimento (Kg/m³)
6,5	1,00	11,4	260,1
5,0	0,80	17,4	329,8
3,5	0,61	27,6	438,5

Fonte: Elaboração própria (2023).

Figura 27 - Curva de dosagem do concreto 1



Fonte: Elaboração própria (2023).

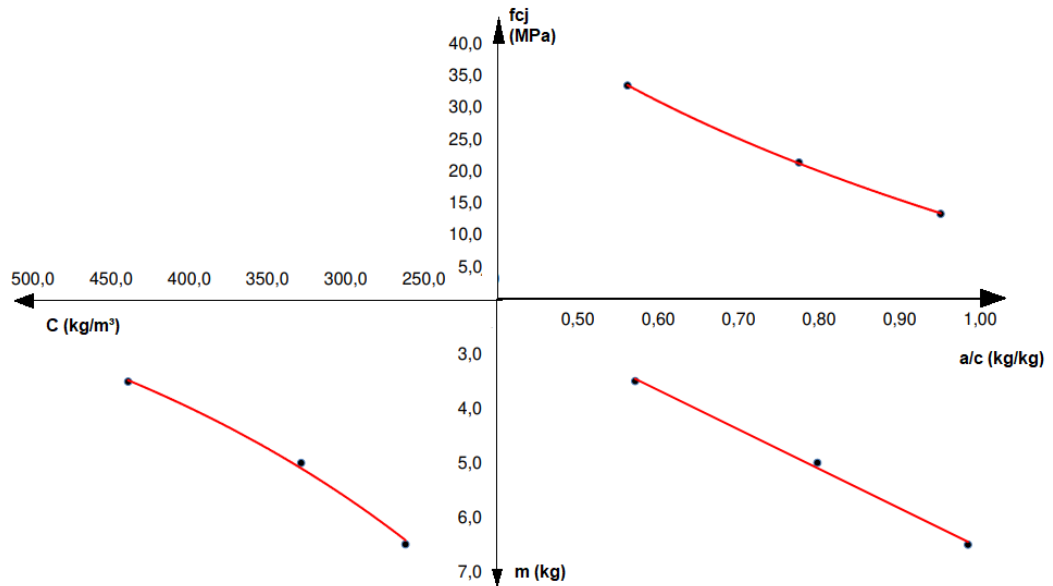
No Quadro 9, estão os parâmetros necessários para construção das curvas de dosagem do concreto 2, e na sequência está apresentada na Figura 28 a curva de dosagem desse concreto.

Quadro 9 - Parâmetros das curvas de dosagem do concreto 2

Traço	Água/cimento (Kg/Kg)	Resistência à compressão a 28 dias (MPa)	Consumo de cimento (Kg/m³)
6,5	0,95	13,3	261,9
5,0	0,77	21,3	328,7
3,5	0,56	33,4	439,2

Fonte: Elaboração própria (2023).

Figura 28 - Curva de dosagem do concreto 2



Fonte: Elaboração própria (2023).

De posse das curvas de dosagem dos concretos, foram definidos então os novos traços.

Conforme a ABNT NBR 12655 (2022), o cálculo da resistência de dosagem do concreto é obtido pela (1).

$$f_{cmj} = f_{ckj} + 1,65 \times sd \quad (1)$$

Onde:

f_{cmj} é a resistência média do concreto à compressão, prevista para idade de j dias, expressa em megapascal (MPa);

f_{ckj} é a resistência característica do concreto à compressão, aos j dias, expressa em megapascal (MPa);

sd é o desvio-padrão da dosagem, expresso em megapascal (MPa).

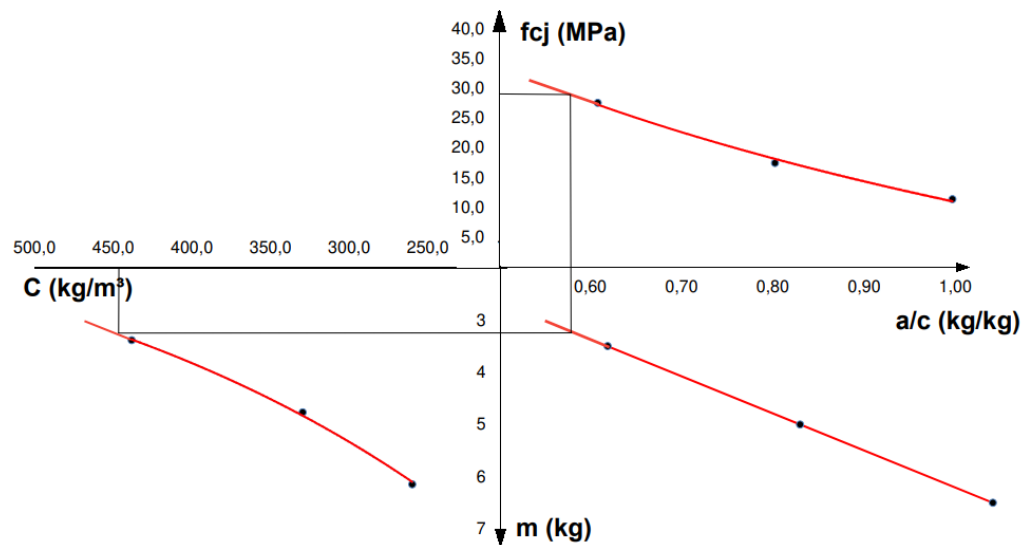
O f_{ck28} adotado para o cálculo foi de 20MPa, atendendo os requisitos da ABNT NBR 14859 – 1 (2016) para pré-fabricados.

O desvio-padrão adotado no cálculo foi de 5,5 em função da condição de preparo do concreto, de acordo com a ABNT NBR 12655 (2022).

Após o cálculo, obteve-se a resistência de cálculo, $f_{c28} = 29,1\text{MPa}$.

Entrando com esse valor de resistência à compressão na curva de dosagem do concreto 1, obteve-se o gráfico da Figura 29.

Figura 29 - Dosagem do concreto 1



Fonte: Elaboração própria (2023).

A partir da análise da Figura 29, pode-se concluir que para o concreto atenda ao dimensionamento proposto, a relação água/cimento deve ser em torno de 0,58 o traço m em torno de 3,2, e o consumo de cimento deve ser aproximadamente 440kg/m^3 .

Para o desdobramento do traço final, de acordo com o método IPT/EPUSP, primeiro foi encontrado o valor de a (proporção de areia no traço), obtido através da Equação 2.

$$a = \frac{\alpha(1 + m)}{100} - 1 \quad (2)$$

Onde:

α é o teor de argamassa do concreto;

m é o valor do traço encontrado na curva de dosagem.

Realizando os cálculos, chegou-se no valor de a igual a 1,23.

Conhecido o valor de a foi possível determinar o valor de p (proporção de pedra no traço), pois m é a soma dos valores de a e p , portando p é igual a m menos o valor de a . Desse modo p é igual a 1,97.

Como o traço possui a composição das areias 2 e 3, nas proporções de 75% e 25%, respectivamente. O valor de a_2 (proporção da areia 2 no traço) será 75% do valor de a total, ou seja, 75% de 1,23. Enquanto a_3 (proporção da areia 3 no traço) será 25% do valor total de a , ou seja, 25% de 1,23.

No quadro 10, está apresentado o traço final para o concreto 1.

Quadro 10 - Traço final desdobrado em massa do concreto 1

Cimento	Areia 2	Areia 3	Brita zero	Água
1	0,92	0,31	1,97	0,58

Fonte: Elaboração própria (2023).

Com o traço definido e o valor do consumo de cimento determinado anteriormente, na curva de dosagem. Foi calculada a quantidade em massa de material necessária para produção de um metro cúbico de concreto.

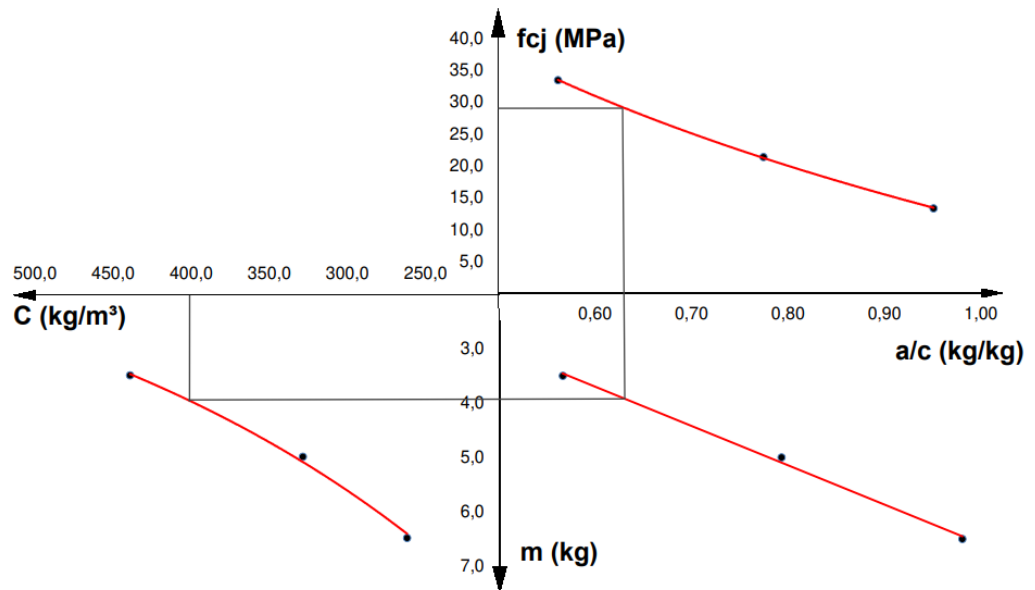
Quadro 11 - Quantidade de material necessária para produzir 1m³ de concreto

Cimento (Kg)	Areia 2 (Kg)	Areia 3 (Kg)	Brita zero (Kg)	Água (Kg)
440	405	136	867	255

Fonte: Elaboração própria (2023).

Inserindo o valor de resistência à compressão de cálculo na curva de dosagem do concreto 2, obteve-se o gráfico da Figura 30.

Figura 30 - Dosagem do concreto 2



Fonte: Elaboração própria (2023).

Fazendo a análise do gráfico apresentado da Figura 30, conclui-se que para o concreto atenda ao dimensionamento proposto, a relação água/cimento deve ser em torno de 0,63, o traço m próximo de 4,0 e o consumo de cimento aproximadamente 400kg/m^3 .

Utilizando a Equação 2, obteve-se o valor de a igual a 1,65 para o concreto 2. O valor de p encontrado foi 2,35. Esse traço possui apenas uma areia e tem o emprego de aditivo na proporção de 0,3% em relação a massa de cimento. Portanto o traço final desdobrado para o concreto 2 está apresentado no Quadro 13.

Quadro 12 - Traço final desdobrado em massa do concreto 2

Cimento	Areia 1	Brita zero	água	Aditivo
1	1,65	2,35	0,63	0,003

Fonte: Elaboração própria (2023).

Com o traço final e o valor do consumo de cimento definido anteriormente, na curva de dosagem. Foi calculada a quantidade em massa de material necessária para produção de um metro cúbico de concreto.

Quadro 13 - Quantidade de material necessária para produção de 1m³ de concreto

Cimento (Kg)	Areia 1 (Kg)	Brita zero (Kg)	Água (Kg)	Aditivo (Kg)
400	660	940	252	1,2

Fonte: Elaboração própria (2023).

4.8 Comparativo de custos

A fim de comparar os custos de produção do concreto 1 e 2, foram levantadas as informações dos preços que a empresa está pagando atualmente nos insumos e também o custo para aquisição do aditivo.

O custo de cada insumo está apresentado no Quadro 14.

Quadro 14 - Preço dos insumos empregados na produção de concreto

Insumo	Preço
Cimento Portland	37,50 R\$ / saco de 50Kg
Areia 1	69,76 R\$ / m ³
Areia 2	69,76 R\$ / m ³
Areia 3	80,90 R\$ / m ³
Pedrisco	76,96 R\$ / m ³
Aditivo	11,22 R\$ / Kg

Fonte: Elaboração própria (2023).

A partir dos dados de preço dos insumos, obteve-se então o custo do metro cúbico do concreto que está sendo produzido atualmente na fábrica também o custo do metro cúbico dos concretos dosados nesse trabalho (concreto 1 e concreto 2), apresentados no Quadro 15.

Quadro 15 - Comparativo de custos por metro cúbico de cada um dos concretos

Concreto	Cimento (R\$/m³)	Areia 1 (R\$/m³)	Areia 2 (R\$/m³)	Areia 3 (R\$/m³)	Brita zero (R\$/m³)	Aditivo (R\$/m³)	TOTAL (R\$/m³)
Atual	278,36	-	27,97	10,81	53,61	-	370,75
1	330,00	-	23,05	8,97	49,09	-	411,11
2	300,00	37,54	-	-	53,23	13,46	404,23

Fonte: Elaboração própria (2023).

Analisando os dados apresentado no Quadro 15, constatou-se que o concreto produzido atualmente é o que possui o menor custo de produção, isso é interessante do ponto de vista econômico, porém, como visto no decorrer desse trabalho, a resistência à compressão possui muita variação e não atinge o valor de resistência característica à compressão mínimo, exigido por norma.

Os concretos 1 e 2, apesar de terem custo superior de produção, visam atender às exigências de norma e conseqüentemente proporcionarem maior qualidade aos produtos produzidos pela empresa. Dentre esses dois traços o que apresenta custo de produção mais interessante é o concreto 2, que utiliza apenas uma das areias, excluindo a areia que tem o maior custo por m³ (areia 3). E emprega o uso de aditivo superplastificante, que impactou no consumo de cimento menor em relação ao traço 1, que não faz uso de aditivo.

Considerando uma produção mensal de concreto em torno de 200m³, o concreto 2 representa uma economia mensal de R\$ 1.376,00 se comparado aos custos do concreto 1.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal do trabalho desenvolvido foi identificar e apresentar as possíveis causas da variação da resistência mecânica à compressão, bem como propor as possíveis soluções para melhorar a qualidade do material produzido pela empresa.

Os ensaios interlaboratoriais de ruptura de corpos de prova, mostraram que os laudos de resistência à compressão fornecidos pela empresa de controle tecnológico contratada são confiáveis, com base nesses laudos, foram feitas determinações estatísticas que confirmaram que há variações significativas no concreto que a empresa de pré-fabricados está produzindo atualmente. Outra questão importante identificada é que a resistência característica do concreto à compressão está abaixo de 20MPa, ou seja, abaixo da Classe C20, que é o mínimo exigido pela ABNT NBR 14859-1 (2016) para lajes pré-fabricadas de concreto.

Portanto, na situação atual, foi realizado os estudos de dosagem com 2 traços distintos.

Os testes em argamassa realizados nesse trabalho serviram como base para a definição dos agregados e as proporções de cada um a serem empregadas nos estudos de dosagem.

A adoção do traço 1 na produção de concreto da fábrica, é a primeira alternativa para correção do concreto, nesse traço permanecem sendo utilizados os mesmos materiais empregados atualmente, porém, há um aumento no consumo de cimento e conseqüentemente um aumento no custo de produção.

A segunda opção é adotar um novo traço, trocando as areias utilizadas por uma única areia (areia 1) e fazendo emprego de um aditivo superplastificante. Conforme o comparativo de custos realizado, essa opção é a mais viável economicamente para empresa.

Adotando qualquer um dos novos traços a empresa de pré-fabricados irá melhorar a qualidade do concreto que produz e conseqüentemente melhorará a qualidade do seu produto final, atendendo as normas técnicas referentes a produção de concreto e produção de lajes pré-fabricadas.

Além da adoção de um novo traço, é importante controlar a umidade dos materiais que compõem a mistura. Assim, é possível evitar o excesso ou a falta de água, que podem comprometer as propriedades mecânicas e a durabilidade do material. Esse controle pode ser feito de maneira simples, secando diariamente uma amostra de cada agregado e determinando o teor de umidade dos materiais.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Para trabalhos futuros, após a adoção de um novo traço e controle de umidade dos materiais, recomenda-se realizar uma nova coleta de dados de resistência à compressão e abatimento de tronco de cone, com a finalidade de verificar se as variações nesses dados foram controladas com a adoção dessas medidas.

Outra sugestão é implantar um sistema de gestão da qualidade na fábrica de pré-fabricados e capacitar a mão de obra, visando padronizar e melhorar os processos produtivos e conseqüentemente o material produzido.

Além disso, pode-se explorar o uso de novos aditivos de diferentes fornecedores e bases químicas, em proporções variadas. Isso permitirá avaliar o potencial de redução de custos ao empregar aditivos na dosagem do concreto.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14859-1: Lajes pré-fabricadas de concreto – Parte 1: Vigotas, minipainéis e painéis – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697: Cimento Portland – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17054: Agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado.** Rio de Janeiro, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 26: Agregados - Amostragem.** Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 27: Agregados - Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório.** Rio de Janeiro, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, 1996.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM ISO 3310-1: Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação - Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico.** Rio de Janeiro, 2010.
- BAUER, L. A F. **Materiais de Construção - Vol. 1.** Rio de Janeiro - RJ: Grupo GEN, 2019. E-book. ISBN 9788521636632. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521636632/>. Acesso em: 01 nov. 2022.
- HELENE, P. L.; ANDRADE, T. Em: Geraldo C. Isaias. (Org). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais.** 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2010.

ISAIA, Geraldo Cechella (ed.). **Concreto: ciência e tecnologia** – volume I. São Paulo: IBRACON, 2011.

LISBOA, Ederval de S.; ALVES, Edir dos S.; MELO, Gustavo Henrique Alves Gomes D. **Materiais de Construção: Concreto e Argamassa**. Porto Alegre - RS: Grupo A, 2017. E-book. ISBN 9788595020139. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595020139/>. Acesso em: 01 nov. 2022.

Manual de Dosagem e Controle do Concreto Prof. Paulo Helene e Paulo Terzian São Paulo, 1993, Ed. Pini.

NEVILLE, A M. **Tecnologia do Concreto**. Porto Alegre – RS: Grupo A, 2013. E-book. ISBN 9788582600726. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582600726/>. Acesso em: 16 out. 2022.

NEVILLE, AM **Propriedades do Concreto**. Porto Alegre – RS: Grupo A, 2016. E-book. ISBN 9788582603666. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582603666/>. Acesso em: 16 out. 2022.

PEDROSO, Fábio Luís. **Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem**. Concreto e construções, v. 53, p. 14-19, 2009.

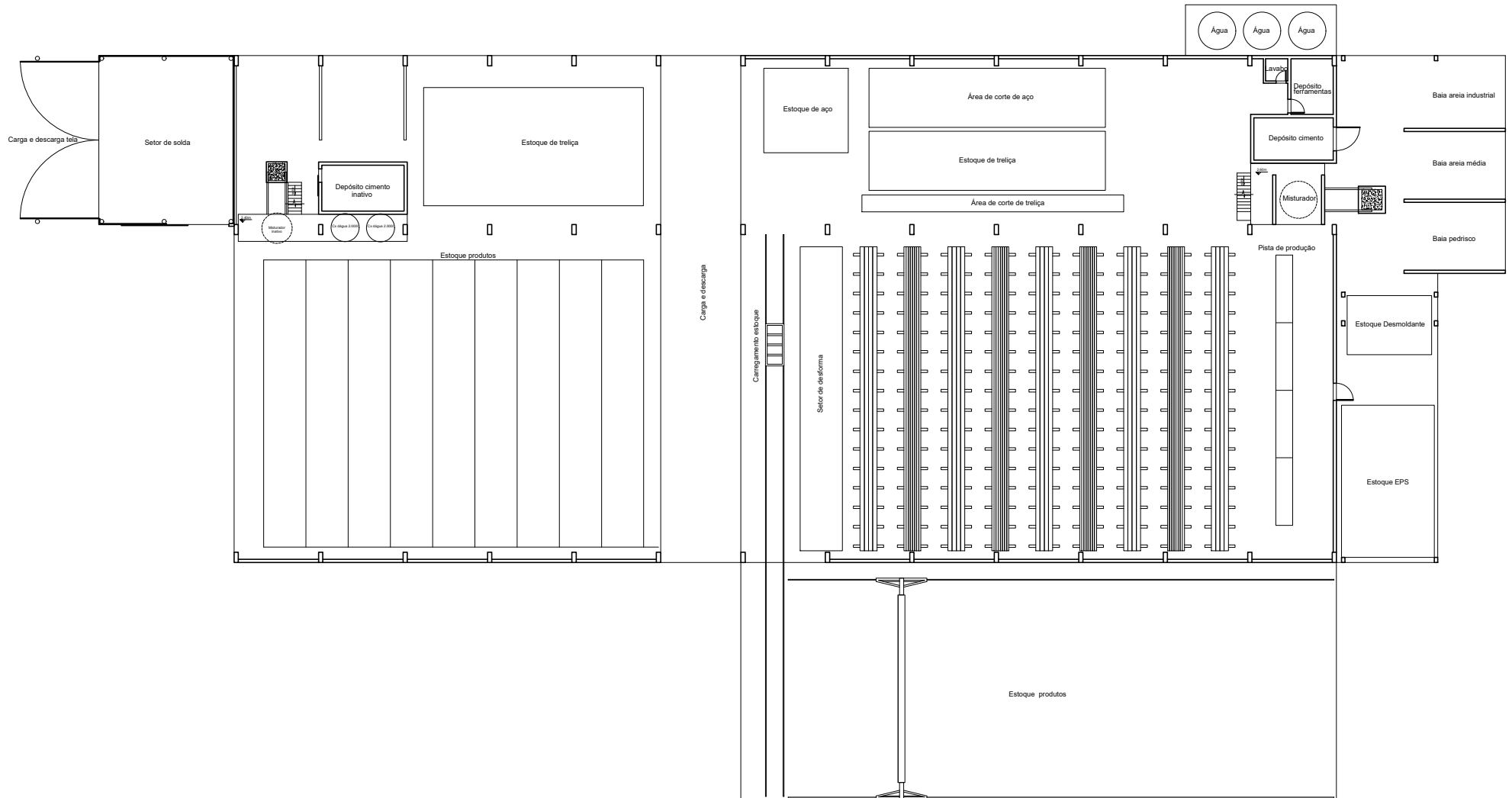
PEREIRA, Caio. **Laje Pré-Moldada: O que é, principais tipos e vantagens**. Escola Engenharia, 2017. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/laje-pre-moldada/>. Acesso em: 01 de novembro de 2022.

PETRUCCI, Eládio G. **Concreto de Cimento Portland**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1968.

SERAFIN, Bolívar L. T; WERNER, Matheus P. **Dosagens do concreto para o controle de qualidade de estruturas pré-moldadas: estudo de caso**. 2018. 90 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento acadêmico de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2018.

SILVA, Wilson Ricardo Leal da et al. **Concreto dosado em central: proposta de metodologia de controle de qualidade e identificação das causas de variabilidade no processo de produção de concreto**. 2012. 325f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

ANEXOS



CERTIFICADO DE REALIZAÇÃO DE ENSAIOS

CSP AVULSO/2023

**Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos
NBR 5739/2018**

Contratante: Sistrel Pré-Moldados Ltda.
Obra: Fábrica de Pré-Moldados
Endereço: Rodovia BR - Areias - Paulo Lopes - SC

Máquina de Ensaio: Prensa PCE100C EMIC, acionamento hidráulico
Calibração: Certificado Nº 0127/22 **Data:** 06/06/2022 **Emitente:** Instruqual

Máquina de Ensaio: Prensa PC150C EMIC, acionamento hidráulico
Calibração: Certificado Nº 0088/23 **Data:** 18/04/2023 **Emitente:** Instruqual

Identificação	Lote	Moldagem				Rompimento					fck (MPa)	Estrutura
		Data	Hora	slump (cm)	Nota Fiscal	Data	Idade (dias)	Resistência à compressão (MPa)	Cap. / Ret. *			
ST 25	1	05/07/22	11:00	-	in loco	12/07/22	7	26.3	R	n.i.	não indicada	
ST 26	1	"	"	"	"	"	7	26.5	R	n.i.	"	
ST 27	1	"	"	"	"	19/07/22	14	28	R	n.i.	"	
ST 28	1	"	"	"	"	"	14	26.9	R	n.i.	"	
ST 29	1	"	"	"	"	02/08/22	28	31.4	R	n.i.	"	
ST 30	1	"	"	"	"	"	28	32.4	R	n.i.	"	
ST 31	1	19/07/22	11:00	15,0	in loco	26/07/22	7	21.5	R	n.i.	Juliano 038C	
ST 32	1	"	"	"	"	"	7	22	R	n.i.	"	
ST 33	1	"	"	"	"	02/08/22	14	24.2	R	n.i.	"	
ST 34	1	"	"	"	"	"	14	24.4	R	n.i.	"	
ST 35	1	"	"	"	"	16/08/22	28	25.2	R	n.i.	"	
ST 36	1	"	"	"	"	"	28	24.8	R	n.i.	"	
ST 37	1	06/09/22	-	10,0	-	14/09/22	8	15.5	R	n.i.	pedido 457B	
ST 38	1	"	"	"	"	"	8	15.6	R	n.i.	"	
ST 39	1	"	"	"	"	20/09/22	14	18.5	R	n.i.	"	
ST 40	1	"	"	"	"	"	14	18.1	R	n.i.	"	
ST 41	1	"	"	"	"	04/10/22	28	21.5	R	n.i.	"	
ST 42	1	"	"	"	"	"	28	21.3	R	n.i.	"	
ST 43	1	05/10/22	10:30	7,0	-	13/10/22	8	9.4	R	n.i.	pedido 592B-2 (MD Engenharia)	
ST 44	1	"	"	"	"	"	8	9.4	R	n.i.	"	
ST 45	1	"	"	"	"	19/10/22	14	11.6	R	n.i.	"	
ST 46	1	"	"	"	"	"	14	11.3	R	n.i.	"	
ST 47	1	"	"	"	"	01/11/22	27	13	R	n.i.	"	

* (Cap.) Capeado com enxofre; (Ret.) Retificado
 Corpos de prova moldados pela contratante.

20230607151149_76_1_2366

07/06/2023

CERTIFICADO DE REALIZAÇÃO DE ENSAIOS

CSP AVULSO/2023

**Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos
NBR 5739/2018**

Contratante: Sistrel Pré-Moldados Ltda.
Obra: Fábrica de Pré-Moldados
Endereço: Rodovia BR - Areias - Paulo Lopes - SC

Máquina de Ensaio: Prensa PCE100C EMIC, acionamento hidráulico
Calibração: Certificado Nº 0127/22 **Data:** 06/06/2022 **Emitente:** Instruqual

Máquina de Ensaio: Prensa PC150C EMIC, acionamento hidráulico
Calibração: Certificado Nº 0088/23 **Data:** 18/04/2023 **Emitente:** Instruqual

Identificação	Lote	Moldagem				Rompimento				fck (MPa)	Estrutura
		Data	Hora	slump (cm)	Nota Fiscal	Data	Idade (dias)	Resistência à compressão (MPa)	Cap. / Ret. *		
ST 48	1	05/10/22	10:30	7,0	-	01/11/22	27	12.3	R	n.i.	pedido 592B-2 (MD Engenharia)
ST 49	1	16/11/22	10:00	17,0	-	25/11/22	9	19.7	R	n.i.	pedido 559B
ST 50	1	"	"	"	"	"	9	21.1	R	n.i.	"
ST 51	1	"	"	"	"	30/11/22	14	22.3	R	n.i.	"
ST 52	1	"	"	"	"	"	14	-	-	n.i.	"
ST 53	1	"	"	"	"	13/12/22	27	26.3	R	n.i.	"
ST 54	1	"	"	"	"	"	27	27.1	R	n.i.	"
ST 55	1	24/11/22	14:00	15,0	-	02/12/22	8	24.3	R	n.i.	pedido 395
ST 56	1	"	"	"	"	"	8	25	R	n.i.	"
ST 57	1	"	"	"	"	08/12/22	14	25.5	R	n.i.	"
ST 58	1	"	"	"	"	"	14	25.7	R	n.i.	"
ST 59	1	"	"	"	"	21/12/22	27	29.6	R	n.i.	"
ST 60	1	"	"	"	"	"	27	30.3	R	n.i.	"
ST 61	1	13/12/22	14:00	15,0	-	22/12/22	9	19	R	n.i.	pedido 460C
ST 62	1	"	"	"	"	"	9	18.8	R	n.i.	"
ST 63	1	"	"	"	"	27/12/22	14	20.4	R	n.i.	"
ST 64	1	"	"	"	"	"	14	20.2	R	n.i.	"
ST 65	1	"	"	"	"	10/01/23	28	21.8	R	n.i.	"
ST 66	1	"	"	"	"	"	28	22.7	R	n.i.	"
ST 67	1	18/01/23	10:00	18,0	-	26/01/23	8	15.9	R	n.i.	pedido 402D-2
ST 68	1	"	"	"	"	"	8	15.5	R	n.i.	"
ST 69	1	"	"	"	"	01/02/23	14	16	R	n.i.	"
ST 70	1	"	"	"	"	"	14	18.4	R	n.i.	"

* (Cap.) Capeado com enxofre; (Ret.) Retificado
 Corpos de prova moldados pela contratante.

20230607151149_76_1_2366

07/06/2023

CERTIFICADO DE REALIZAÇÃO DE ENSAIOS

CSP AVULSO/2023

**Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos
NBR 5739/2018**

Contratante: Sistrel Pré-Moldados Ltda.
Obra: Fábrica de Pré-Moldados
Endereço: Rodovia BR - Areias - Paulo Lopes - SC

Máquina de Ensaio: Prensa PCE100C EMIC, acionamento hidráulico
Calibração: Certificado Nº 0127/22 **Data:** 06/06/2022 **Emitente:** Instruqual

Máquina de Ensaio: Prensa PC150C EMIC, acionamento hidráulico
Calibração: Certificado Nº 0088/23 **Data:** 18/04/2023 **Emitente:** Instruqual

Identificação	Lote	Moldagem				Rompimento					fck (MPa)	Estrutura
		Data	Hora	slump (cm)	Nota Fiscal	Data	Idade (dias)	Resistência à compressão (MPa)	Cap. / Ret. *			
ST 71	1	18/01/23	10:00	18,0	-	15/02/23	28	19.5	R	n.i.	pedido 402D-2	
ST 72	1	"	"	"	"	"	28	18.7	R	n.i.	"	
ST 73	1	25/01/23	09:30	13,0	-	03/02/23	9	21.6	R	n.i.	pedido 457K	
ST 74	1	"	"	"	"	"	9	18.9	R	n.i.	"	
ST 75	1	"	"	"	"	08/02/23	14	22.6	R	n.i.	"	
ST 76	1	"	"	"	"	"	14	23.3	R	n.i.	"	
ST 77	1	"	"	"	"	22/02/23	28	-	-	n.i.	"	
ST 78	1	"	"	"	"	"	28	-	-	n.i.	"	
ST 79	1	08/02/23	15:00	15,0	-	16/02/23	8	17	R	n.i.	pedido 204A	
ST 80	1	"	"	"	"	"	8	17.6	R	n.i.	"	
ST 81	1	"	"	"	"	22/02/23	14	18.4	R	n.i.	"	
ST 82	1	"	"	"	"	"	14	20.4	R	n.i.	"	
ST 83	1	"	"	"	"	08/03/23	28	21.1	R	n.i.	"	
ST 84	1	"	"	"	"	"	28	23.8	R	n.i.	"	
ST 85	1	14/02/23	10:00	13,0	-	22/02/23	8	20	R	n.i.	pedido 069 - Tempus	
ST 86	1	"	"	"	"	"	8	19.9	R	n.i.	"	
ST 87	1	"	"	"	"	28/02/23	14	20.5	R	n.i.	"	
ST 88	1	"	"	"	"	"	14	20.7	R	n.i.	"	
ST 89	1	"	"	"	"	14/03/23	28	22.8	R	n.i.	"	
ST 90	1	"	"	"	"	"	28	23.4	R	n.i.	"	
ST 91	1	16/02/23	15:00	14,0	-	25/02/23	9	21.9	R	n.i.	pedido 081A - E.S.E	
ST 92	1	"	"	"	"	"	9	21.8	R	n.i.	"	
ST 93	1	"	"	"	"	02/03/23	14	23.8	R	n.i.	"	

* (Cap.) Capeado com enxofre; (Ret.) Retificado
 Corpos de prova moldados pela contratante.

20230607151149_76_1_2366

07/06/2023

CERTIFICADO DE REALIZAÇÃO DE ENSAIOS

CSP AVULSO/2023

**Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos
NBR 5739/2018**

Contratante: Sistrel Pré-Moldados Ltda.
Obra: Fábrica de Pré-Moldados
Endereço: Rodovia BR - Areias - Paulo Lopes - SC

Máquina de Ensaio: Prensa PCE100C EMIC, acionamento hidráulico
Calibração: Certificado Nº 0127/22 **Data:** 06/06/2022 **Emitente:** Instruqual

Máquina de Ensaio: Prensa PC150C EMIC, acionamento hidráulico
Calibração: Certificado Nº 0088/23 **Data:** 18/04/2023 **Emitente:** Instruqual

Identificação	Lote	Moldagem				Rompimento				fck (MPa)	Estrutura
		Data	Hora	slump (cm)	Nota Fiscal	Data	Idade (dias)	Resistência à compressão (MPa)	Cap. / Ret. *		
ST 94	1	16/02/23	15:00	14,0	-	02/03/23	14	22.6	R	n.i.	pedido 081A - E.S.E
ST 95	1	"	"	"	"	16/03/23	28	25.3	R	n.i.	"
ST 96	1	"	"	"	"	"	28	26.4	R	n.i.	"
ST 97	1	27/02/23	10:30	15,0	-	06/03/23	7	21.5	R	n.i.	pedido 047A - LIV
ST 98	1	"	"	"	"	"	7	22.3	R	n.i.	"
ST 99	1	"	"	"	"	15/03/23	16	22.6	R	n.i.	"
ST 100	1	"	"	"	"	"	16	22.6	R	n.i.	"
ST 101	1	"	"	"	"	27/03/23	28	25.1	R	n.i.	"
ST 102	1	"	"	"	"	"	28	26.2	R	n.i.	"
ST 103	1	02/03/23	14:10	15,0	-	10/03/23	8	20.6	R	n.i.	pedido 047A - LIV
ST 104	1	"	"	"	"	"	8	20.1	R	n.i.	"
ST 105	1	"	"	"	"	16/03/23	14	21	R	n.i.	"
ST 106	1	"	"	"	"	"	14	22.3	R	n.i.	"
ST 107	1	"	"	"	"	29/03/23	27	24.9	R	n.i.	"
ST 108	1	"	"	"	"	"	27	24.4	R	n.i.	"
ST 109	1	30/05/23	09:00	17,0	-	06/06/23	7			n.i.	pedido 181D - Jardim dos Ipês
ST 110	1	"	"	"	"	"	7			n.i.	"
ST 111	1	"	"	"	"	13/06/23	14			n.i.	"
ST 112	1	"	"	"	"	"	14			n.i.	"
ST 113	1	"	"	"	"	27/06/23	28			n.i.	"
ST 114	1	"	"	"	"	"	28			n.i.	"

* (Cap.) Capeado com enxofre; (Ret.) Retificado
 Corpos de prova moldados pela contratante.

20230607151149_76_1_2366

07/06/2023

GRANULOMETRIA AREIA 2 - AMOSTRA A			
MASSA INICIAL (g)			647,9
# (mm)	MASSA RETIDA (g)	% RETIDA	% RETIDA ACUMULADA
9,5	0,0	0,0	0,0
6,3	0,0	0,0	0,0
4,8	2,8	0,4	0,4
2,4	51,6	8,0	8,4
1,2	95,2	14,7	23,1
0,6	223,8	34,6	57,7
0,3	148,3	22,9	80,6
0,15	80,2	12,4	93,0
FUNDO	45,1	7,0	100,0
SOMA	647,0	100,0	
DIRENÇA MASSA INICIAL E SOMA (%)			0,14
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA			4,8 mm
MÓDULO DE FINURA			2,63

GRANULOMETRIA AREIA 2 - AMOSTRA B			
MASSA INICIAL (g)			650,8
# (mm)	MASSA RETIDA (g)	% RETIDA	% RETIDA ACUMULADA
9,5	0,0	0,0	0,0
6,3	0,0	0,0	0,0
4,8	2,7	0,4	0,4
2,4	75,5	11,6	12,0
1,2	118,6	18,3	30,3
0,6	239,0	36,8	67,1
0,3	123,5	19,0	86,1
0,15	55,9	8,6	94,7
FUNDO	34,1	5,3	100,0
SOMA	649,3	100,0	
DIRENÇA MASSA INICIAL E SOMA (%)			0,23
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA			4,8 mm
MÓDULO DE FINURA			2,91

DIFERENÇA DE PORCENTAGEM RETIDA ENTRE AMOSTRAS (%)	MÉDIA % RETIDA	MÉDIA % RETIDA ACUMULADA
0,00	0	0
0,00	0	0
0,02	0	0
3,65	10	10
3,55	16	27
2,22	36	62
3,90	21	83
3,79	11	94
1,72	6	100
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA		4,8 mm
MÓDULO DE FINURA		2,77
Dentro da zona utilizável		

GRANULOMETRIA AREIA 1 - AMOSTRA A			
MASSA INICIAL (g)			593,7
# (mm)	MASSA RETIDA (g)	% RETIDA	% RETIDA ACUMULADA
9,5	0,0	0,0	0,0
6,3	0,0	0,0	0,0
4,8	0,5	0,1	0,1
2,4	8,1	1,4	1,4
1,2	33,0	5,6	7,0
0,6	248,8	41,9	49,0
0,3	219,9	37,1	86,0
0,15	45,5	7,7	93,7
FUNDO	37,4	6,3	100,0
SOMA	593,2	100,0	
DIRENÇA MASSA INICIAL E SOMA (%)			0,08
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA			2,4 mm
MÓDULO DE FINURA			2,37

GRANULOMETRIA AREIA 1 - AMOSTRA B			
MASSA INICIAL (g)			593,7
# (mm)	MASSA RETIDA (g)	% RETIDA	% RETIDA ACUMULADA
9,5	0,0	0,0	0,0
6,3	0,0	0,0	0,0
4,8	0,6	0,1	0,1
2,4	11,8	2,0	2,1
1,2	42,8	7,2	9,3
0,6	270,6	45,7	55,0
0,3	206,3	34,8	89,8
0,15	37,2	6,3	96,1
FUNDO	23,1	3,9	100,0
SOMA	592,4	100,0	
DIRENÇA MASSA INICIAL E SOMA (%)			0,22
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA			2,4 mm
MÓDULO DE FINURA			2,52

DIFERENÇA DE PORCENTAGEM RETIDA ENTRE AMOSTRAS (%)	MÉDIA % RETIDA	MÉDIA % RETIDA ACUMULADA
0,00	0	0
0,00	0	0
0,02	0	0
0,63	2	2
1,66	6	8
3,74	44	52
2,25	36	88
1,39	7	95
2,41	5	100
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA		2,4 mm
MÓDULO DE FINURA		2,45
Dentro da zona utilizável		

GRANULOMETRIA AREIA 3 - AMOSTRA A			
MASSA INICIAL (g)			575,9
# (mm)	MASSA RETIDA (g)	% RETIDA	% RETIDA ACUMULADA
9,5	0,0	0,0	0,0
6,3	0,0	0,0	0,0
4,8	0,8	0,1	0,1
2,4	109,0	19,0	19,1
1,2	84,6	14,7	33,8
0,6	114,5	19,9	53,7
0,3	90,6	15,8	69,5
0,15	84,6	14,7	84,2
FUNDO	90,8	15,8	100,0
SOMA	574,9	100,0	
DIRENÇA MASSA INICIAL E SOMA (%)			0,17
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA			4,8 mm
MÓDULO DE FINURA			2,60

GRANULOMETRIA AREIA 3 - AMOSTRA B			
MASSA INICIAL (g)			577,3
# (mm)	MASSA RETIDA (g)	% RETIDA	% RETIDA ACUMULADA
9,5	0,0	0,0	0,0
6,3	0,0	0,0	0,0
4,8	0,7	0,1	0,1
2,4	130,7	22,7	22,8
1,2	99,0	17,2	40,0
0,6	119,8	20,8	60,8
0,3	82,0	14,2	75,0
0,15	65,8	11,4	86,4
FUNDO	78,1	13,6	100,0
SOMA	576,1	100,0	
DIRENÇA MASSA INICIAL E SOMA (%)			0,21
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA			4,8 mm
MÓDULO DE FINURA			2,85

DIFERENÇA DE PORCENTAGEM RETIDA ENTRE AMOSTRAS (%)	MÉDIA % RETIDA	MÉDIA % RETIDA ACUMULADA
0,00	0	0
0,00	0	0
0,02	0	0
3,73	21	21
2,47	16	37
0,88	20	57
1,53	15	72
3,29	13	85
2,24	15	100
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA		4,8 mm
MÓDULO DE FINURA		2,73
Dentro da zona utilizável		