



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ESTRUTURAL E CONSTRUÇÃO CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL:
ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL

ELVIS ANDRADE SOARES

AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES DO CONCRETO PROJETADO POR VIA SECA
QUANDO SE VARIA A DIREÇÃO DE PROJEÇÃO E O USO DE SÍLICA ATIVA

FORTALEZA - CE

2018

ELVIS ANDRADE SOARES

AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES DO CONCRETO PROJETADO POR VIA SECA
QUANDO SE VARIA A DIREÇÃO DE PROJEÇÃO E O USO DE SÍLICA ATIVA

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Civil.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Eduardo Bezerra Cabral.

FORTALEZA - CE

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S653a Soares, Elvis Andrade.

Avaliação de propriedades do concreto projetado por via seca quando se varia a direção de projeção e o uso de sílica ativa / Elvis Andrade Soares. – 2018.
163 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil, Fortaleza, 2018.

Orientação: Prof. Dr. Antônio Eduardo Bezerra Cabral.

1. concreto projetado. 2. índice de reflexão. 3. sílica ativa. I. Título.

CDD 624.1

ELVIS ANDRADE SOARES

AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES DO CONCRETO PROJETADO POR VIA SECA
QUANDO SE VARIA A DIREÇÃO DE PROJEÇÃO E O USO DE SÍLICA ATIVA

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Civil.

Aprovada em: 29 / 01 / 2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Antônio Eduardo Bezerra Cabral (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Marcelo Silva Medeiros Junior
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Bernardo Fonseca Tutikian
Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

À Deus.

À minha esposa Cleziane pelo apoio e compreensão.

AGRADECIMENTOS

À Deus, criador de tudo e de todos, que a cada dia me presenteia com o dom da vida;

À minha esposa Cleziane, pela compreensão da ausência em muitos momentos;

Aos meus pais (Etvaldo e Maria de Fátima), irmão (Elton) e irmã (Elisa), pela compreensão e apoio em todos os momentos desde o meu surgimento;

À Tia Salete pelo incentivo e apoio, sem ela nada disso aconteceria;

Aos primos e amigos Jovytinno, “Juciê” e “Bá”, pela ajuda na extração dos corpos de prova e apoio para conclusão do trabalho.

Ao Prof. Dr. Antonio Eduardo Bezerra Cabral pela sua paciência e orientação transmitindo para mim seus conhecimentos.

Aos Professores do mestrado: Bertini, Barros Neto, Vanessa, Evandro, Augusto e Tereza Denyse pelo voto de confiança;

Aos Professores Bernardo Tutikian e Marcelo Medeiros pela valorosa contribuição ao participar da avaliação do presente trabalho.

Aos colegas de trabalho e gestores do Banco do Nordeste: Rose, Maria Clara, Joselito e Júlio e pela compreensão nos momentos de necessidade;

Aos colegas da turma de mestrado, pelas reflexões, críticas e sugestões recebidas: Mylene Melo, Bruno de Oliveira, William Silva Júnior, Diana Cangussú, Patrícia Gonçalves, Kelma Leite, Juliana Marinho, Marcelo Mendes, Viviane dos Santos, Charlys Menezes e Enza Arruda;

À empresa Modulo Engenharia, pelo apoio para realização da parte experimental deste trabalho;

Agradeço ainda aos que contribuíram de forma direta ou indireta para minha formação, sintam-se abraçados por quem em algum momento recebeu o seu apoio.

“Porque quando estou fraco, então é que sou forte.”

2 Coríntios 12, 10.

RESUMO

O concreto projetado tem como um dos seus principais usos, a recuperação de estruturas, considerando-se vantajosa a sua aplicação em função da não utilização de fôrmas e produtividade alcançada. No processo de aplicação existem alguns fatores que interferem de maneira significativa na qualidade do resultado final, dentre eles está o índice de reflexão, o qual é a medida da quantidade de material projetado que não fica aderido ao substrato. A adição de sílica ativa à mistura se mostra como uma alternativa para a redução do índice de reflexão, podendo ainda provocar outras melhorias. Neste estudo, objetiva-se examinar prioritariamente o comportamento do índice de reflexão sob a influência de diferentes teores de adição de sílica ativa (5%, 10% e 15%), em três distintas situações de projeção (horizontal, vertical e inclinada), utilizando-se de dois traços de resistência característica (f_{ck}) 30 MPa e 45 MPa. As propriedades avaliadas dividem-se em características no estado fresco (consistência medida com a agulha de Proctor, umidade da mistura antes e após a projeção e índice de reflexão) e no estado endurecido (resistência à compressão aos 7, 28 e 540 dias, módulo de elasticidade, absorção por imersão, índice de vazios, massa específica seca, absorção por capilaridade e a resistência à tração na compressão diametral). Para tanto foi construído um aparato em estrutura metálica no intuito de proporcionar as situações de projeção já citadas. Após moldagem de placas de concreto foram realizadas as extrações, originando assim os corpos de prova para avaliação das propriedades. Todos os ensaios seguiram as normas brasileiras vigentes. Para avaliação dos resultados utilizou-se a análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey para comparação das médias. Como resultado constatou-se a melhora nas propriedades do concreto projetado com a adição da sílica, notadamente a redução do índice de reflexão, da absorção por imersão e do índice de vazios combinados com incremento na resistência à compressão e na tração por compressão diametral. Restou evidenciado ainda que quanto à posição de projeção, a posição horizontal apresentou os melhores resultados do concreto projetado enquanto que a posição vertical, os piores.

Palavras-chave: concreto projetado, índice de reflexão, sílica ativa.

ABSTRACT

The shotcrete has as one of its main uses, the recovery of structures, considering the application due to the non-use of formworks and the productivity achieved. In the application process there are some factors that significantly interfere in the quality of the final result, among them are the reflection coefficient, which is the measure of the amount of projected material that is not adhered to the substrate. The addition of fumed silica to the mixture is shown to be an alternative for reducing the reflection coefficient, and it may also bring some other improvements. In this study, the objective is primarily to examine the behavior of the reflection coefficient under the influence of different levels of fumed silica addition (5%, 10% and 15%), in three different projection situations (horizontal, vertical and inclined), using traces of (fck) 30 MPa and 45 MPa resistance. The properties evaluated are divided into characteristics in the fresh state (consistency measured with a Proctor needle, moisture of the mixture before and after spraying and reflection coefficient) and in the hardened state (compressive strength at 7, 28 and 540 days, modulus, elasticity, immersion absorption, void ratio, dry density, capillary absorption and tensile strength in diametral compression). For this purpose, an apparatus was built in a metallic structure, intended to provide the aforementioned projection situations. After molding the concrete slabs, the extractions were performed, originating the concrete specimens for the properties evaluation. All tests followed current Brazilian standards. To evaluate the results, an analysis of variance (ANOVA) and the Tukey's test were used to compare the means. As a result, it was found an improvement in the properties of shotcrete with the addition of silica, notably the reduction of the reflection coefficient, the absorption by immersion and the void ratio combined with an increase in the compressive strength and in the tensile strength by diametral compression. It was also evidenced that, as for the projection position, the horizontal position of the shotcrete presented the best results compared to the vertical one.

Keywords: shotcrete, rebound, silica fume.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema do processo de projeção do concreto por via seca.....	25
Figura 2 - Esquema do processo de projeção do concreto por via úmida.....	25
Figura 3 – Agulha de Proctor.....	35
Figura 4 – Distribuição granulométrica dos agregados miúdo (a) e graúdo (b).....	44
Figura 5 - Esquema de projeção horizontal, vertical e inclinada.	46
Figura 6 – a) Máquina de projeção utilizada e b) compressor utilizado.....	48
Figura 7 - Fôrma da placa para obtenção dos corpos de prova.	49
Figura 8 - Estrutura metálica utilizada para posicionamento das formas.	50
Figura 9 – Extração dos testemunhos.....	52
Figura 10 – Aparato com lonas para coleta do material refletido.	53
Figura 11 – Utilização da agulha de Proctor: a) aplicação da força necessária para penetração da ponteira. b) realização da leitura.	54
Figura 12 – Coleta do material projetado.	55
Figura 13 – Corpos de prova após rompimento.	56
Figura 14 - Comportamento do índice de reflexão em função das variáveis independentes.....	62
Figura 15 - Comportamento da consistência com agulha de Proctor em função das variáveis independentes.....	68
Figura 16 - Comportamento da umidade da mistura antes da projeção em função das variáveis independentes.	71
Figura 17 - Comportamento da umidade da mistura projetada em função das variáveis independentes.....	72
Figura 18 - Comportamento da resistência a compressão aos 07 (sete) dias em função das variáveis independentes.	75
Figura 19 - Comportamento da resistência a compressão aos 28 (vinte e oito) dias em função das variáveis independentes.	76
Figura 20 - Comportamento da resistência a compressão aos 540 (quinhentos e quarenta) dias em função das variáveis independentes.	77
Figura 21 - Comportamento do módulo de elasticidade em função das variáveis independentes.....	78
Figura 22 - Comportamento da resistência a tração na compressão diametral em função das variáveis independentes.	80

Figura 23 – Comportamento da absorção por imersão após 24h em função das variáveis independentes.....	81
Figura 24 - Evolução da absorção por imersão em função do tempo.	82
Figura 25 - Comportamento do índice de vazios em função das variáveis independentes.....	85
Figura 26 - Comportamento da absorção por capilaridade em função das variáveis independentes.....	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Teores de utilização de sílica em concreto projetado encontrados na literatura.....	31
Tabela 2 - Ensaio de caracterização e índices físicos realizados nos agregados...42	42
Tabela 3 - Características do cimento utilizado.....	43
Tabela 4 - Estimativa de consumo de materiais por metro cúbico de concreto projetado por via seca para as misturas de referência.....	44
Tabela 5 - Estrutura da pesquisa em função das variáveis.....	45
Tabela 6 - Nomenclatura das misturas.....	47
Tabela 7 – Valores médios dos resultados obtidos nos ensaios: índice de reflexão, consistência com agulha de Proctor, umidade antes e após a projeção, resistência à compressão aos 07, 28 e 540 dias, módulo de elasticidade e resistência à tração na compressão diametral.....	59
Tabela 8 – Valores médios dos resultados obtidos nos ensaios: absorção por imersão, absorção por capilaridade e índice de vazios.....	60
Tabela 9 – Análise de variância do índice de reflexão.....	61
Tabela 10 – Índice de reflexão de outros estudos de concreto projetado por via seca.....	65
Tabela 11 - Análise de variância da consistência com agulha de Proctor.....	67
Tabela 12 – Análise de variância da umidade do material que alimentou a máquina de projeção e do material projetado.....	69
Tabela 13 - Análise de variância da resistência a compressão aos sete dias.....	73
Tabela 14 – Análise de variância da resistência a compressão aos vinte e oito dias.....	74
Tabela 15 - Análise de variância da resistência a compressão aos quinhentos e quarenta dias.....	74
Tabela 16 - Análise de variância do módulo de elasticidade.....	78
Tabela 17 - Análise de variância da resistência a tração na compressão diametral.....	79
Tabela 18 -Análise de variância da absorção por imersão aos 1440 minutos.....	81
Tabela 19 - Análise de variância da massa específica.....	84
Tabela 20 - Análise de variância do índice de vazios.....	84
Tabela 21 – Análise de variância da absorção por capilaridade aos 1440 minutos ..	86

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Ø – diâmetro;

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;

C – elemento químico carbono;

Ca – elemento químico cálcio;

Cl⁻ – cloreto;

CP – corpo de prova;

CP II Z 32 – Cimento Portland composto com pozolana e de resistência característica aos 28 dias de 32MPa;

DEECC – Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil da Universidade Federal do Ceará;

H – elemento químico hidrogênio;

IR ou I_r – Índice de reflexão;

K – elemento químico potássio;

Mg – elemento químico magnésio;

MPa – mega Pascal;

N – Newton;

Na – elemento químico sódio;

NBR – Norma Brasileira;

NUTEC – Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará;

O – elemento químico oxigênio;

Proj H, Proj V e Proj I – projeção horizontal, projeção vertical e projeção inclinada, respectivamente;

RILEM – International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures;

Si – elemento químico silício;

UFC – Universidade Federal do Ceará;

USP – Universidade de São Paulo.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1 JUSTIFICATIVA.....	18
1.2 OBJETIVOS	19
1.2.1 OBJETIVO GERAL.....	19
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	20
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 CONCRETO COMO MATERIAL ESTRUTURAL.....	21
2.2 CONCRETO PROJETADO – DEFINIÇÃO, CLASSIFICAÇÃO E CARACTERÍSTICAS	23
2.2.1 PROPRIEDADE DO CONCRETO PROJETADO NO ESTADO FRESCO.....	31
- ÍNDICE DE REFLEXÃO.....	31
- TRABALHABILIDADE E CONSISTÊNCIA.....	34
- TEOR DE ÁGUA.....	36
2.2.2 PROPRIEDADES DO CONCRETO PROJETADO NO ESTADO ENDURECIDO.....	37
- MÓDULO DE ELASTICIDADE	37
- RESISTÊNCIA MECÂNICA	39
- ABSORÇÃO DE ÁGUA E PERMEABILIDADE	40
3. MATERIAIS E MÉTODO DE PESQUISA	42
3.1 MATERIAIS.....	42
3.2 MÉTODO DE PESQUISA.....	45
3.2.1 PARTE EXPERIMENTAL.....	45
3.2.2 ENSAIOS NO ESTADO FRESCO	53
-MEDIÇÃO DO ÍNDICE DE REFLEXÃO (IR).....	53

-CONSISTÊNCIA COM A AGULHA DE PROCTOR.....	54
-UMIDADE DA MISTURA ANTES E APÓS A PROJEÇÃO	55
3.2.3 ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO	56
-RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E MÓDULO DE ELASTICIDADE	56
-RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL	57
-ABSORÇÃO POR IMERSÃO, ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA.....	57
-ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE.....	57
- ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	57
4. APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	59
4.1 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	59
4.2 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	61
- ÍNDICE DE REFLEXÃO.....	61
- CONSISTÊNCIA COM AGULHA DE PROCTOR	67
- UMIDADES DA MISTURA ANTES E APÓS A PROJEÇÃO.....	69
- RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	73
- MÓDULO DE ELASTICIDADE	77
- RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA COMPRESSÃO DIAMETRAL.....	79
- ABSORÇÃO POR IMERSÃO	80
- ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA.....	84
- ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE.....	86
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	88
5.1 CONCLUSÕES.....	88
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	89
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90

APÊNDICE A – RESULTADOS BRUTOS DO ÍNDICE DE REFLEXÃO

APÊNDICE B – RESULTADOS BRUTOS DA CONSISTÊNCIA COM A AGULHA DE PROCTOR

APÊNDICE C – RESULTADOS BRUTOS DA UMIDADE DA MISTURA ANTES E APÓS A PROJEÇÃO

APÊNDICE D – RESULTADOS BRUTOS DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

APÊNDICE E – RESULTADOS BRUTOS DO MÓDULO DE ELASTICIDADE

APÊNDICE F – RESULTADOS BRUTOS DA ABSORÇÃO POR IMERSÃO

APÊNDICE G – RESULTADOS BRUTOS DA ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE

APÊNDICE H – RESULTADOS BRUTOS DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL.

APÊNDICE I – ESTRUTURA METÁLICA UTILIZADA PARA POSICIONAMENTO DAS FÔRMAS.

1. INTRODUÇÃO

A evolução do conhecimento dos materiais e técnicas para projeto e execução de estruturas de concreto conduz a uma elevada confiança no domínio do processo de execução. Mesmo sob tal evolução, falhas podem ocorrer nas três fases do processo: projeto, execução e manutenção da estrutura. Em tal contexto, torna-se de fundamental importância as técnicas de recuperação e reforço de estruturas. Merece destaque a utilização do concreto projetado. Os primeiros registros do uso de concreto projetado no Brasil datam da década de 1950, em pequenos trabalhos de estabilização de taludes e reparo em estruturas de concreto (BOSCOV, 1999). Figueiredo (1992) mencionou a existência de cerca de 40 aplicações diferentes para o concreto projetado, que podem ser agrupadas principalmente em revestimentos, obras subterrâneas, contenção de taludes, reparos e reforços estruturais.

O concreto projetado dispensa a utilização de formas, fator que viabiliza obras em abóbadas, lajes, tabuleiro de pontes e viadutos e outros elementos de difícil acesso (FIGUEIREDO, 1992). Outra característica que torna o concreto projetado atraente é a alta produtividade alcançada. Tal índice de produção é consequência da forma como se produz o concreto, residindo também aí, alguns dos maiores problemas desta tecnologia. O fenômeno da reflexão apresenta-se como o principal passo a se vencer para caminhar no sentido da expansão do uso do projetado. Trata-se de parcela do material projetado que não fica aderida à superfície de projeção. Essa parte de material que não adere ao substrato, acaba por modificar as características/proporções do concreto projetado, trazendo ao processo uma peculiar condição, o traço definido em projeto é diferente do traço efetivamente aplicado, justamente em função do material projetado e refletido.

No início do processo de projeção, apenas a parte fina da mistura adere ao substrato, havendo uma grande reflexão da parte grávida, formando-se uma camada inicial de material fino, esta serve como amortecedora do impacto e absorvedora da energia das partículas, proporcionando assim a aderência e conseqüentemente a contínua agregação de camadas. Necessário se faz o estudo de alternativas para redução do índice de reflexão, pois além do impacto na qualidade do material, tem-se o impacto financeiro, energético, ambiental, dentre outros.

Atreladas ao índice de reflexão, outras questões carecem de maior aprofundamento e investigação como a posição de projeção e a utilização de adições,

cujas consequências sobre a qualidade e durabilidade do material justificam sua abordagem. Conforme será aprofundado neste estudo, tem-se que a posição de projeção é uma das variáveis que carecem de maior investigação e compreensão com intuito de reduzir o índice de reflexão, proporcionando maior economicidade no uso do concreto projetado.

1.1 JUSTIFICATIVA

A disponibilidade de trabalhos sobre concreto projetado no cenário nacional é escassa, principalmente a produzida nos últimos anos. Atividade intensa foi registrada na década de 1990, com vários trabalhos desenvolvidos na região sudeste, notadamente na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP). Especificamente sobre o índice de reflexão em concreto projetado por via seca, variando-se a posição de projeção e o teor de sílica ativa a disponibilidade de trabalhos acadêmicos é ainda menor.

Uma das propriedades mais avaliadas em concreto projetado é o índice de reflexão. Reduções do índice de reflexão podem ter desdobramentos tanto nos custos do material, quanto na qualidade e durabilidade, característica importantes para ampliação do uso do concreto projetado. Os fatores que determinam a maior ou menor reflexão vão desde o traço do concreto, a qualidade dos materiais e o ângulo de projeção, até as condições da superfície (FIGUEIREDO, 1992).

Na busca pela redução do índice de reflexão (IR), algumas medidas já foram estudadas, como a adição de fibras de polipropileno (FITESA, 2003), de fibras de aço e metacaulim (BINDIGANAVILE et al, 2001) e a própria adição de sílica ativa (SILVA,1993).

Os valores do índice de reflexão do concreto projetado relatado na literatura são bastante discrepantes. Silva (1993) cita fatores oscilando de 5% a 50%, uma variação de dez vezes o menor valor. No boletim técnico da FITESA (2003), tem-se valores entre 7,6% e 11,3%, considerando o uso ou não de fibras, respectivamente. Pfeuffer et al. (2001) cita valores entre 15% e 55%, já Bindiganavile et al. (2001) registra índices que vão de 15% a 60%.

Pelos números apresentados acima, pode-se considerar que o estudo do índice reflexão é um tema que demandará pesquisas e experimentos, até que se tenha um real conhecimento e controle dos fatores envolvidos. Tratando-se do ângulo de

projeção é comum ouvir dos profissionais que trabalham com o projetado a percepção de qual tal fator interfere de forma significativa na reflexão, sem no entanto se conhecer o quanto. Doutra sorte, adota-se no mercado quase como uma regra a adição de sílica ativa para fabricação do projetado, amparando-se na melhoria das propriedades do projetado, sem, no entanto, conhecer se existe diferença os teores comumente empregados. Neste contexto a presente pesquisa ajuda no preenchimento desta lacuna no conhecimento.

Esta pesquisa está inserida no projeto PAPPE-0060-00086.01.00/11, de título “Desenvolvimento de concreto projetado reforçado com compósitos para recuperação e reforço em estruturas”, aqui denominado de projeto global. Esse projeto é financiado pela Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento e Científico Tecnológico (FUNCAP), e realizado em parceria do Grupo de Pesquisa em Materiais de Construção e Estruturas (GPMATE) da Universidade Federal do Ceará e a empresa Módulo Engenharia, especializada em serviços de recuperação e reforço estrutural e sediada em Fortaleza – CE.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é avaliar o comportamento no estado fresco e endurecido do concreto projetado por via seca, quando se varia a posição de projeção e a quantidade de aglomerante.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a influência da adição de sílica ativa sobre propriedades no estado fresco e endurecido do concreto projetado via seca;
- Avaliar a influência da posição de projeção sobre propriedades no estado fresco e endurecido do concreto projetado via seca;
- Avaliar o efeito sinérgico da adição de sílica ativa e da posição de projeção sobre propriedades no estado fresco e endurecido do concreto projetado via seca;

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O capítulo 1 consiste da parte introdutória do trabalho, da justificativa da pesquisa com a identificação do problema, seguido dos objetivos da pesquisa e a apresentação da estrutura do trabalho.

No capítulo 2 apresenta-se a revisão bibliográfica sobre o concreto projetado por via seca, focando a questão do índice de reflexão, posição de projeção e uso da sílica ativa, além de outras características do material estudado. Para tal, recorreu-se a dissertações e teses sobre o tema, assim como os artigos de revistas e congressos nacionais e internacionais.

No capítulo 3 são apresentados os materiais e métodos utilizados na pesquisa. Trata-se inicialmente dos materiais empregados e suas características, descrevendo em um segundo momento os métodos utilizados. Registrando-se ainda as ferramentas estatísticas (ANOVA e Tukey) utilizadas para tratamento dos dados.

O capítulo 4 consiste nas apresentações, análises e discussões dos resultados obtidos.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões que resultaram da realização deste trabalho, assim como as sugestões para trabalhos futuros com questões não discutidas no presente estudo.

Por fim, são apresentadas as referências bibliográficas citadas ao longo do texto, além do apêndice onde são apresentados os resultados brutos obtidos em todos os ensaios realizados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONCRETO COMO MATERIAL ESTRUTURAL

A consideração do concreto como material de elevada durabilidade passa necessariamente pela aplicação rigorosa das melhoras técnicas e materiais disponíveis nas principais etapas de trato com tal material, quais sejam as fases de projeto, execução e manutenção.

Na fase de projeto, a correta consideração/mensuração das situações a que o material será submetido, notadamente questões associadas às condições do ambiente (sejam naturais ou artificiais) conduzirão provavelmente a uma melhor especificação do material o que poderá lhe conferir maior adequação ao uso com otimização da vida útil.

Tratando da execução, poder-se-ia imaginar que observando estritamente o previsto na fase anterior (projeto) já se teria garantia suficiente da qualidade e durabilidade do material produzido. Ocorre que a quantidade de variáveis existente no processo traz uma componente de incerteza que deve ser tratada com a utilização de mão de obra qualificada, aliada a materiais selecionados e com qualidade controlada. É necessário presumir que a quantidade de variáveis do processo é de tal sorte que apenas com mão de obra qualificada e materiais selecionados chegar-se-á ao melhor resultado.

Uma obra, da mesma forma que um ser vivo, encontra-se submetida à ação de elementos como o calor, umidade, ventos, geadas, entre outros, também têm que suportar ações mecânicas que podem fatigá-la e inclusive destruí-la. Por conseguinte, a vida da obra dependerá muito dos cuidados e da fiscalização durante a sua construção. Não se deve pensar que o acompanhamento termina com a finalização da obra, pois é preciso continuar fazendo manutenção (CÁNOVAS, 1998).

Supondo uma perfeita integração entre as fases de projeto e execução, pode-se considerar que a fase da manutenção será menos atribulada, o que não autoriza a utilização de técnicas ou mão de obra inadequada. Nada obstante à condução de todas as fases da melhor maneira possível, o surgimento de manifestações patológicas poderá ocorrer em maior ou menor intensidade, com uma idade elevada ou logo nos primeiros anos de utilização da estrutura.

Objetivamente, as causas da deterioração podem ser as mais diversas, desde o envelhecimento “natural” da estrutura até os acidentes e a irresponsabilidade de alguns profissionais que optam pela utilização de materiais de baixa qualidade, na maioria das vezes por razões econômicas (SOUZA e RIPPER, 1998).

Estudos indicam que os problemas patológicos ocorrem, em aproximadamente 40% dos casos, por falhas de projeto e planejamento das edificações (AZEVEDO, 2011). Wrubel Moreira (2009) estudando a fabricação de peças de concreto evidenciou que a ausência de mão de obra qualificada no acompanhamento da produção motivou o surgimento de manifestações patológicas. Doutra parte, a utilização de insumos não qualificados se traduziu em um fator negativo e também contribuiu para o surgimento de manifestações patológicas.

Para Souza e Ripper (1998), salvo os casos correspondentes à ocorrência de catástrofes naturais (em que a violência das solicitações, aliada ao caráter marcadamente imprevisível das mesmas será o fator preponderante) os problemas patológicos têm suas origens motivadas por falhas, que ocorrem durante a realização de uma ou mais, das atividades inerentes ao processo genérico, a que se denomina de construção civil. O surgimento da manifestação patológica, indica de maneira geral que houve falha em alguma fase do processo, seja no projetar a estrutura, na execução ou mesmo no período de uso e conseqüente manutenção.

Uma vez identificada a manifestação patológica, deve-se buscar o diagnóstico preciso, com conseqüente recomendação e projeto para recuperação e/ou reforço. A fase de identificação e diagnóstico da manifestação patológica se reveste de atenção especial na medida que a partir das informações levantadas nesta fase ter-se-á a definição de qual técnica e/ou materiais a adotar para tratar o problema encontrado.

A durabilidade e a conseqüente previsão da vida útil das estruturas de concreto armado estão sendo objeto de muitas pesquisas em diversas instituições, tanto no Brasil como no exterior. Dodds et al (2017), estudando a durabilidade de concreto com agregado reciclados, perceberam que a utilização de tal agregado contribui para a redução da vida útil do material na medida em que traz efeito prejudicial sobre a microestrutura e a absorção de água do concreto, efeitos que podem ser reduzidos com a adição de cinzas de alto forno. Já Fallah et al (2017) evidenciaram que a adição de sílica contribui para um aumento da durabilidade do concreto vez que reduz a absorção de água do material. Wang et al (2017) verificaram a durabilidade de

concretos com adição de sílica e cinzas, submetido a ataque de sulfatos e congelamento e descongelamento, concluindo que as adições contribuem para melhoria das características do material (resistência à compressão e ao ataque de sulfatos) e por conseguinte para o incremento da sua durabilidade.

Dentre as técnicas a adotar, cita-se a aplicação de fibras de carbono, a utilização de concreto convencional, o reforço com estruturas metálicas e a aplicação do concreto projetado, dentre tantos outros exemplos que poderiam ser dados.

No presente estudo, estará sob enfoque o concreto projetado enquanto material apropriado para a recuperação e reforço de estruturas, abordando questões relevantes como o índice de reflexão, consequências da posição de projeção e teor de adição de sílica incorporado à mistura.

2.2 CONCRETO PROJETADO – DEFINIÇÃO, CLASSIFICAÇÃO E CARACTERÍSTICAS

A maioria das definições encontrada na literatura (NBR 14026, 2012; PRUDÊNCIO JÚNIOR, 2005; HEMPHILL, 2013) para o concreto projetado se refere na verdade, ao processo de aplicação, e às características do material em si.

Em relação ao processo de aplicação, o concreto projetado pode ser classificado como por via seca, por via úmida e por via semi-úmida.

No concreto projetado por via seca, tem-se no primeiro momento a mistura manual ou mecanizada do aglomerante e agregados em estado sólido. Os agregados são constituídos de brita e areia, sendo a dimensão máxima de 9,5mm. Já o aglomerante básico é o cimento, podendo receber adições com objetivo de melhorar as características da mistura. Dentre as adições mais comuns está a sílica ativa. Pesquisas diversas já atestaram a viabilidade técnica da utilização de materiais como cinza volante e caulim. O aparato de projeção se constitui basicamente de máquina de projeção e compressor de elevada vazão. Após a mistura dos materiais secos, o composto alimenta a máquina de projeção que se constitui basicamente de uma câmara para recebimento do material e um mecanismo que impulsiona a mistura através de um mangote. A câmara para recebimento do material por sua vez se divide em dois recipientes que podem ou não se comunicar em função da operação em andamento. Explica-se melhor. O recipiente para os materiais na verdade se compõe de dois recipientes que se comunicam através de uma comporta interna que com

sistema de alavanca e engrenagens pode ser interligado ou não. Antes do início da projeção, os operários alimentam a máquina com o máximo possível de material. Após o início da projeção, o operador fecha a comunicação entre os recipientes, fazendo com que um deles permaneça pressurizado e alimentando a projeção, enquanto o outro pode ser abastecido com material. Após o abastecimento, os recipientes são interligados fazendo com que a projeção seja contínua. Tal modo de funcionamento proporciona elevada produtividade para o concreto projetado.

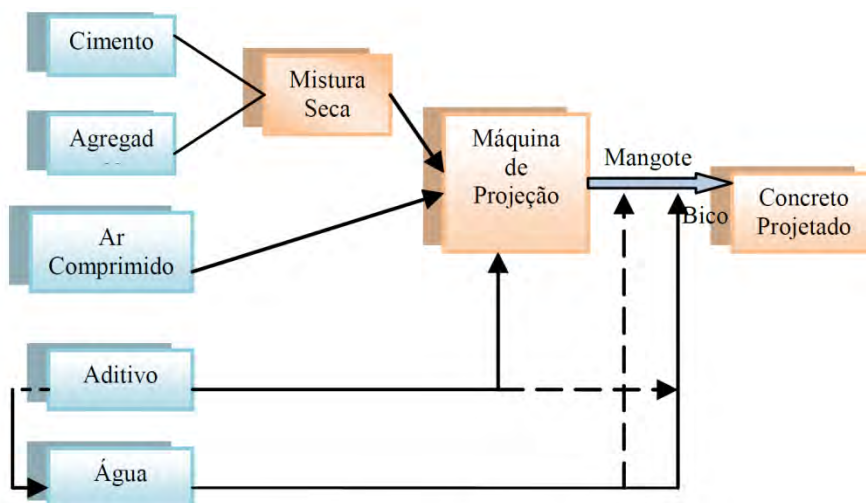
No recipiente que recebe os materiais existe um dispositivo misturador, cuja força motriz é obtida a partir do compressor. Uma vez dentro do recipiente pressurizado, o material é transportado pelo mangote para projeção na superfície. A força para transporte do material é obtida através do compressor de elevada vazão.

Alguns centímetros antes do fim do mangote, é adicionada água cujo controle é feito pelo operário chamado de mangoteiro. Assim a mistura é projetada à elevadas velocidades sobre a superfície, tal operação proporciona a compactação do material.

O ponto de inserção da água é basicamente o que diferencia/classifica o concreto projetado. Quando a água é adicionada no fim do mangote, próximo ao ponto de projeção, têm-se o transporte dos materiais secos e esse é o concreto projetado por via seca. Quando o acréscimo de água ocorre no recipiente dos materiais, ainda na máquina de projeção, ocorre o transporte dos materiais já úmidos e nessa situação têm-se o concreto projetado por via úmida. Por fim, em uma situação intermediária, onde os materiais são misturados e impulsionados em parte do mangote ainda secos e a adição de água ocorre em um ponto distante do fim do mangote, têm-se o concreto projetado por via semi-úmida.

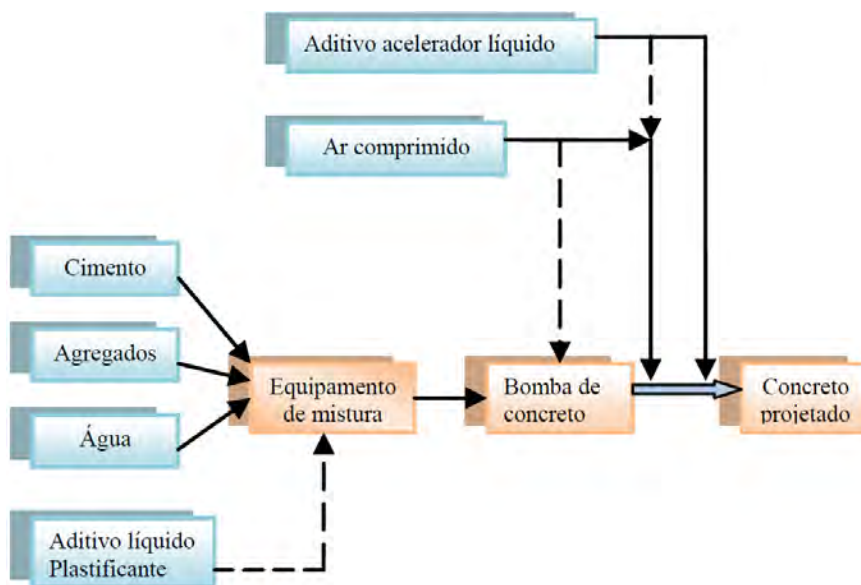
No concreto projetado por via seca (Figura 1), considerando a inserção da água próximo ao fim do mangote, costuma-se utilizar aditivos secos, que são misturados no início do processo. Já no caso da via úmida (Figura 2), prevalece a utilização de aditivos líquidos que são inseridos no processo através da água injetada na máquina de projeção. Registra-se que a regra é a utilização de aditivos no concreto projetado, o que talvez não corresponda a realidade de outros concretos.

Figura 1 - Esquema do processo de projeção do concreto por via seca.



Fonte: BARBOSA, 2001.

Figura 2 - Esquema do processo de projeção do concreto por via úmida.



Fonte: BARBOSA, 2001.

Os materiais utilizados para o concreto projetado se diferenciam dos utilizados no concreto dito convencional em face principalmente das dimensões dos agregados, notadamente agregado graúdo. De acordo com Amorim (2010) as características dos agregados como: porosidade, composição granulométrica, absorção d'água, estabilidade, forma e textura superficial dos grãos e resistência mecânica, influenciam as propriedades dos concretos. Uma das formas mais comuns para classificar os agregados é em função do tamanho dos grãos. Doutra sorte, as

impurezas dos agregados podem, por exemplo, aumentar o consumo de água, o que favorece a perda de resistência à compressão e aumenta a permeabilidade do concreto (TERZIAN, 2005).

No concreto projetado é utilizada basicamente a brita 0. Um dos problemas que pode ocorrer durante o processo de projeção é o entupimento do mangote e isso explica a utilização do agregado graúdo com dimensões reduzidas. A brita 0 necessita de uma grande quantidade para preencher o volume necessário, além de aumentar o consumo de água. De preferência recomenda-se a utilização de britas com formato cúbico em vez de lamelar, pois apresenta maior trabalhabilidade, já que as de formato lamelar podem contribuir para o entupimento do mangote (HELENE, 1992).

Além da peculiaridade dos agregados, via de regra se utilizam adições no projetado. Segundo Amorim (2010), as adições minerais nos concretos incorporam grandes qualidades no que diz respeito ao aspecto físico associado ao pequeno tamanho das partículas, além das reações químicas no uso de pozolanas. De acordo com Dal Molin (2005), há outras adições que são obtidas por meio de resíduos, como a cinza da casca de arroz. Dos materiais que são utilizados como adições pode-se destacar: Pozolanas naturais; Cinza volante; Sílica ativa (resíduo do processo de obtenção do ferro silício); Metacaulin; Cinza de casca de arroz; Escória granulada de alto forno; e Fíler (CAMPOS, 2016).

Segundo a NBR 5736 (ABNT, 1991), os materiais pozolânicos, são materiais silicosos ou silico aluminosos que por si só pouco ou nem possuem atividade aglomerante, a não ser que sejam finamente divididos e com a presença de água, reagem com o hidróxido de cálcio, à temperatura ambiente, formando compostos com propriedades cimentícias.

Para Garcia et al (2014), uma vez que as adições são incorporadas ao cimento e ao concreto, interagem química e fisicamente com os produtos da hidratação do clínquer, o que modifica a microestrutura do material. A adição de materiais pozolânicos modifica a microestrutura do concreto, diminuindo a permeabilidade, difusão iônica e a porosidade capilar, aumentando a durabilidade do concreto, além de aumentar a resistência à compressão e melhorar a trabalhabilidade, dentre outros.

A sílica ativa é, normalmente, oriunda do processo de produção das indústrias de ferrosilício e silíciometálico (MEHTA e MONTEIRO, 2014). Neste processo, o silício é produzido em grandes fornos elétricos de fusão, do tipo arco-

voltaico, onde o quartzo é reduzido pelo carbono em altas temperaturas. Como resultado tem-se a produção do monóxido de silício gasoso (SiO), que se condensa às temperaturas mais baixas, formando o dióxido de silício (SiO₂). Este apresenta uma coloração que pode variar do cinza claro ao escuro, devido aos teores de carbono incombusto presentes (RILEM, 1988). O teor de SiO₂ presente nesta pozolana fica, invariavelmente, em patamares próximos a 80%, sendo que este teor está diretamente relacionado com a forma de produção existente. No Brasil, o teor de SiO₂ não-cristalino é fixado em 85% (NBR 13956, ABNT 2012). As principais impurezas verificadas neste rejeito industrial são os álcalis K₂O e Na₂O, onde o primeiro encontra-se em teores entre 1% e 5%, e o CaO e o MgO em teores inferiores a 2% (SENSALE, 2000).

Tratando da água utilizada na mistura, França (2004) relata que a água precisa ser de boa qualidade para evitar a contaminação por substâncias estranhas. Toda água potável é adequada para o uso em concreto, as não potáveis precisam atender os requisitos da NBR 15.900 (ABNT, 2009).

Em algumas aplicações do projetado são utilizados aditivos que segundo a NBR 11.768 (ABNT, 2011) são produtos que se adicionados em pequena quantidade a concretos de cimento Portland modificam algumas de suas propriedades, no sentido de melhor adequá-las a determinadas situações. Martin (2005) relata que diversos fatores devem ser analisados para aplicação dos aditivos de forma a proporcionar os efeitos desejados, e dentre os fatores destacam-se: tipo de cimento; adições; e tipos de aditivos.

Uma característica peculiar do concreto projetado é que a composição da mistura aplicada difere da que abasteceu a máquina de projeção, devido ao fenômeno conhecido como reflexão. Tal diferença ocorre vez que parte do material que é impulsionado a elevadas velocidades não fica aderido à superfície de projeção. Os agregados projetados a elevada velocidade colidem com a superfície de projeção que em uma análise macro não apresenta qualquer deformação, ocorrendo uma colisão elástica. Tal situação não ocorre com os grãos do aglomerante, bem menores e envoltos pela água introduzida na mistura, ficam aderidos a superfície de projeção desde o primeiro momento, criando um colchão de amortecimento que transforma uma situação de colisão elástica em colisão inelástica para os agregados (grãos e miúdos). O índice de reflexão (Eq. 1) pode ser definido como a relação entre a massa

do concreto que não adere (m_r) e a massa total (m_c) lançada à superfície de projeção (PRUDÊNCIO JÚNIOR, 2005).

$$I_r(\%) = \frac{m_r}{m_c} * 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

$I_r(\%)$ – Índice de reflexão em percentagem;

m_r – massa de material refletido;

m_c – massa total de concreto projetado.

Em função do material que não adere inicialmente à superfície, via de regra a mistura aderida tem maior proporção de aglomerante do que a mistura que alimentou a máquina de projeção. Essa diferença entre o que fora projetado e o que ficou aderido traz uma série de consequências de ordem econômica e ambiental, apenas para citar as principais.

Antes de adentrar a questão financeira é importante repisar a máxima que a prevenção é sempre mais barata que o tratamento da manifestação patológica. Tal raciocínio se aplica a várias áreas do conhecimento, notadamente das que tratam das patologias das construções. Neste contexto e considerando a utilização do projetado para recuperação de estruturas, têm-se então uma situação em que o dispêndio financeiro é maior do que a possibilidade passada de prevenção. Outro aspecto importante é a mobilização necessária para execução do projetado, vez que demanda, dentre outros, o compressor de elevada vazão e a máquina de projeção, o que se reflete em um considerável custo de mobilização.

Superado o custo inicial, têm-se o início da projeção e aqui, novamente, depara-se com a questão financeira vez que a quantidade de material desperdiçado em face da reflexão pode chegar a 74% (ARMELIN, 1997). Então, além de um custo considerável para mobilização, tem-se um custo também considerável relacionado com desperdício do material durante a execução do serviço e é neste contexto que várias pesquisas buscam a redução do índice de reflexão, destacando-se a utilização de adições ou até substituições do aglomerante principal (cimento). Essa redução de reflexão, por significar diminuição do desperdício de material e aumento do material retido na superfície, tem implicações financeiras significativas. Além disso, consegue-se diminuir a retração do concreto projetado através de maior incorporação de

agregado graúdo, com reflexos positivos para a durabilidade do revestimento (SILVA, 1993).

O concreto projetado é um material muito versátil e apresenta excelentes propriedades mecânicas e de durabilidade quando bem executado. Hoje é possível se especificar este material como responsável por obras de saneamento, reparo e reforço estrutural e até mesmo obras marítimas, apesar da alta agressividade do meio. Entretanto, a execução por pessoas inexperientes pode trazer grandes transtornos, como problemas com a alta reflexão, baixa compacidade, baixa resistência, porosidade elevada, fissuras com lixiviação, entre outros, que podem deteriorar rapidamente o material (PALERMO, 1997).

Na busca por minimizar os problemas citados, algumas adições minerais são estudadas, sempre buscando a otimização de uso dos recursos e das características do concreto produzido. Neste contexto, têm-se a adição de sílica ativa como uma alternativa.

Sabe-se que a estrutura de vazios de concreto endurecido tem efeitos substanciais nas propriedades mecânicas e na durabilidade do concreto. Choi et al (2016) estudando o concreto projetado por via úmida e utilizando sílica e aditivos superplastificantes, evidenciou efeitos positivos da adição de sílica como a retenção de pequenas bolhas de ar nas matrizes, que atuam positivamente sobre a durabilidade do concreto projetado por via úmida endurecido. A durabilidade do concreto endurecido está intimamente associada ao índice de vazios da mistura, mas também ao número e ao fator de espaçamento das pequenas bolhas de ar. Por outro lado, existe uma forte correlação entre o teor de sílica e a permeabilidade. O aumento do teor de sílica de 0 a 9% pode levar a reduções de 40% a 60% na permeabilidade das misturas. De forma semelhante ao comportamento do concreto convencional, a resistência a compressão e a tração na flexão do concreto projetado por via úmida tende a aumentar com a diminuição do índice de vazios. Aumentar o teor de sílica e diminuir o volume de vazios leva a reduções na permeabilidade.

Liu et al (2017) estudaram a utilização de fibras de polipropileno combinada com adição de sílica para melhorias das características do projetado por via úmida, dentre elas a reflexão, obtendo valores que oscilaram entre 4% e 11% para o índice de reflexão e evidenciando que a utilização das fibras influencia o rebote e que fibras curtas conduzem a um melhor desempenho se comparadas com fibras longas.

Bindiganavile et al (2009), utilizando dois tipos de fibras de aço e adições como sílica, metacaulim e cinzas concluíram que tais adições podem contribuir de forma positiva para redução da reflexão e que o tamanho da partícula da adição é mais importante do que sua forma. Noutra vertente, registrou que a combinação de duas adições pode conduzir a otimização das características do projetado.

A adição de sílica ativa, aumenta a coesão e a aderência do concreto projetado, promovendo uma redução considerável dos índices de reflexão, sobretudo no concreto projetado via seca (MORGAN, 1986 e DANIELSSEN, 1986). Segundo o estudo de Morgan (1986), o índice de reflexão em uma camada de 50mm de projeção via seca, foi reduzido de 40% (em massa) para 25% (em massa) após a incorporação da sílica.

Os estudos desenvolvidos por Morgan (1986) demonstram que no concreto projetado por via seca convencional não se consegue ultrapassar espessuras de 50mm a 75mm sem que ocorra o deslocamento do revestimento. Esses valores podem ser ampliados para 400mm, mesmo sem o emprego de aceleradores, quando a sílica é adicionada ao concreto projetado. Isto é conseguido porque a sílica ativa melhora a coesão e a aderência. É importante salientar que essa característica se reverte em aumento da produtividade, com consequências positivas da ordem econômica (SILVA, 1993).

Franzén (1993) em um levantamento sobre o estado da arte do concreto projetado (via úmida e via seca) em quinze nações já reportava a utilização de adições como sílica ou cinzas como benéficas em face de pesquisas em vários países. Consta do estudo citado uma tabela onde se recomenda a adição da sílica com valores oscilando entre 3% e 15%.

Noutra vertente, ITA (2010) ratifica o intenso uso de sílica em países como Austrália e Itália, inclusive reportando uma intenção de redução da dependência deste aditivo em função do seu elevado custo em tais países.

Há que se registrar duas formas de uso da sílica ativa no concreto, observadas na literatura, qual seja a adição e a substituição, ambas em relação à massa do cimento, conforme Tabela 1, os valores já utilizados oscilam entre 5% e 10%.

Tabela 1 - Teores de utilização de sílica em concreto projetado encontrados na literatura.

Tipo	Teor	Fonte
Substituição	4% e 8%	Silva, 1993.
Substituição	8%	Gasparim, 2007.
Adição	7%	Anjos et al, 2007.
Adição	5% a 10%	Silva, 1997.
Adição	8% e 12%	Alves et al, 1994.

Fonte: Elaborada pelo autor.

2.2.1 PROPRIEDADE DO CONCRETO PROJETADO NO ESTADO FRESCO

O concreto projetado apresenta diversas propriedades e a seguir são apresentadas as características no estado fresco consideradas mais importantes para que esse produto possa cumprir as suas funções.

- *ÍNDICE DE REFLEXÃO*

Denomina-se medição do índice de reflexão de maneira direta (NBR 13317, ABNT 2012), a que ocorre durante uma obra ou aplicação prática/comercial, distinta daquela que tem fins acadêmicos ou laboratoriais.

No intuito de reduzir o índice de reflexão, várias são as medidas estudadas, tais como a utilização de aditivos líquidos e em pó, adições minerais, ajustes no processo de projeção, melhor seleção dos agregados empregados quanto à forma e granulometria, entre outras.

Os aditivos líquidos podem permitir a formação de recobrimentos homogêneos, coesos e resistentes, tornando possível a aplicação de camadas espessas de material, com reduzido risco de entupimento do bocal de projeção e com mínimo desperdício por rebote. Porém, os aditivos que induzem à rápida formação de camadas rígidas (ainda durante a projeção) tendem a causar um maior desperdício por rebote. Isto porque, cada nova camada de concreto aplicada estará sendo submetida a choques elásticos com a superfície rígida. Por fim, o intenso cisalhamento

na projeção de uma nova camada poderá provocar o rompimento do material aplicado que ainda se encontra em fase de consolidação (PILEGGI et al, 2002).

Outra vertente de redução do índice de reflexão é a utilização da adição de fibras, sejam elas metálicas ou de materiais sintéticos como o polipropileno, poliéster ou polietileno.

O desempenho mecânico do concreto projetado reforçado com fibras sofre intervenção da quantidade, distribuição e orientação das fibras, que são parâmetros influenciados de forma especial pela técnica de aplicação. Devido à velocidade de impacto relativamente alta, o concreto e as fibras não aderem completamente à superfície tratada e, em geral, observa-se uma grande quantidade de reflexão (KAUFMANN et al, 2013).

Austin et al (1997) não encontrou influência significativa da adição, da geometria ou da massa das fibras na reflexão do material e relatou que as variações nas condições de projeção tiveram um efeito maior.

Leung et al (2005) e Saw et al (2013) avaliaram as características de resistência e reflexão do concreto projetado por via úmida reforçado com fibra. Beaupre (1994), Yun et al (2015) e Choi et al (2017) correlacionaram as propriedades reológicas do concreto projetado de alto desempenho com a bombeabilidade e capacidade de projeção. Outras pesquisas abrangem a modelagem da pressão da bomba considerando reologia e condições de fricção (BURNS, 2008) e análise do fluxo na tubulação considerando camadas de lubrificação (CHEN et al, 2016).

Apesar de muitas vantagens esperadas no uso de fibras de aço, deve ser dada especial atenção para evitar a degradação excessiva da capacidade de bombeamento e da resistência à penetração de íons cloreto quando é utilizada uma dosagem elevada ($> 50 \text{ kg} / \text{m}^3$) de fibras metálicas (CHOI et al, 2017).

O rebote da fibra foi estudado principalmente em fibras de aço. Verificou-se que o índice de reflexão da fibra de aço aumenta com uma maior proporção de agregado para cimento, enquanto a adição de finos como metacaulim, cinzas volantes ou sílica leva a uma menor reflexão das fibras (BINDIGANAVILE et al, 2001). Tratando do concreto projetado por via úmida, Banthia et al (1994) não encontrou relação entre a reflexão de fibras de aço com sua geometria.

Além do rebote, um outro aspecto importante é a orientação das fibras na área da superfície tratada, uma vez que tal orientação influencia significativamente as propriedades mecânicas de um composto. Em face da peculiar técnica de aplicação,

um alinhamento preferencial é esperado. No entanto, se sabe muito pouco sobre a orientação das fibras em concreto projetado. Uma orientação preferencial das fibras de aço perpendiculares à direção da projeção pode ser encontrada quando se analisa seções do material (ARMELIN, 1992 e BANTHIA et al, 1994).

A aplicação de fibras de polímero (polipropileno, polietileno, entre outros) em concreto projetado cresceu significativamente em todo o mundo desde a sua introdução no final da década de 1990. Enquanto as fibras de aço mais rígidas são usadas com um comprimento relativamente curto (30-35 mm) para reduzir entre outros fatores o entupimento do mangote, as fibras de polímero mais flexíveis podem ser usadas com maior comprimento (40-60 mm) sem reduzir significativamente a capacidade de projeção e a bombeabilidade da mistura. Verificou-se que fibras de polipropileno levaram a uma redução da perda de fibras por reflexão e aumento da espessura acumulada da camada de concreto projetado (DUFOUR et al, 2006).

Os agregados graúdos e especialmente as fibras tendem a refletir mais do que o resto dos componentes do concreto projetado e, portanto, o material fica deficiente de tais materiais. Embora a perda de agregados ou outros componentes de concreto afetem principalmente a eficiência do trabalho, a perda das fibras de reforço tem um impacto significativo nas propriedades mecânicas do concreto projetado com fibras.

Armelin e Bantthia (1998) estudaram o mecanismo de reflexão dos agregados em concreto projetado aplicando uma câmera de alta velocidade, concluindo que a adesão entre a partícula e o substrato deve ser considerada como o principal mecanismo a investigar. O material coletado do chão (reflexão) é rico em agregado graúdo em comparação com o concreto projetado que permaneceu na parede. Isso implica que a reflexão dos grãos maiores é maior do que para o resto dos componentes minerais do concreto projetado (KAUFMANN et al, 2013). A menor densidade dos agregados e a adição de partículas finas são caminhos possíveis para reduzir o índice de reflexão (BINDIGANAVILE E BANTHIA, 2009).

O rápido crescimento da indústria da construção moderna acelerou o esgotamento de fontes de agregados naturais, o que tornou bastante difícil a aquisição de materiais de alta qualidade e bem classificados. Por esta razão, recentemente, há uma demanda crescente por fontes de agregadas alternativos que podem substituir os agregados naturais. Uma das formas promissoras para resolver esse problema pode ser o uso de agregados triturados vez que: (1) agregados triturados fornecem

uma ligação física mais forte à matriz de cimento, o que pode melhorar as propriedades mecânicas do concreto projetado; (2) os custos de construção podem ser substancialmente reduzidos à medida que os agregados triturados são obtidos diretamente de um local de trabalho (escavação de túnel, recuperação estrutural, etc) - não ocorrendo custos adicionais de transporte; e (3) são materiais ecológicos prontamente obtidos após algumas breves etapas de processamento de matérias-primas (CHOI et al, 2017).

A maioria das pesquisas encontradas na literatura se concentraram em caracterizar o concreto projetado com a utilização de agregados naturais, especificamente em termos de desempenho mecânico, de durabilidade e comportamento reológico. Uma série de estudos (ISHIDA, 2006; WON et al, 2013; LEE et al, 2006; CHEN et al, 2014 e AITCIN, 2003) investigaram o desempenho mecânico e a durabilidade de concreto projetado normal e de alto desempenho produzidos com agregados naturais.

Em contraste, tem havido muito menos dados e documentação disponíveis sobre o concreto projetado feito com rocha esmagada (proveniente da escavação de túneis) e areia britada. Thalmann-Suter (1999) realizou um estudo de viabilidade sobre o uso de rochas escavadas extraídas do solo com base em análise petrográfica e testes de carga pontual e demonstrou que a rocha escavada pode ser potencialmente utilizada como substituto do agregado natural. O estudo realizado por Weiss (2007) registrou que os agregados processados a partir de materiais de escavação de túnel podem ser adequados para uso em produção de concreto de alta qualidade. Jolin et al (2003) sugeriram um esboço de mistura ideal para concreto projetado por via úmida feito com agregado triturado incorporando uma alta dose de macrofibras sintéticas.

- TRABALHABILIDADE E CONSISTÊNCIA

A trabalhabilidade é definida pela facilidade de manuseio da mistura por parte do operário ao realizar a sua aplicação sendo possível verificar a sua compacidade e o seu rendimento (VEIGA, 1997; SILVA, 2006; GUACELLI, 2010). Esta definição não se enquadra perfeitamente para o concreto projetado via seca, visto que a aplicação acontece por meio do jato de ar comprimido, não havendo manuseio por parte do operário. Contudo, é possível mensurar a trabalhabilidade do concreto projetado via seca, como será explicado adiante. A trabalhabilidade é uma

característica que está interligada de forma direta com outras propriedades, notadamente a consistência.

A consistência é a propriedade que permite à mistura resistir às deformações que lhe são impostas (RILEM, 1988). Uma das formas de aferir a consistência do concreto projetado é a utilização da agulha de Proctor (Figura 3), como já mencionado, normatizada por meio da NBR 14278 (ABNT, 2012). O procedimento é simples e consiste no registro da força de cravação de um dispositivo com área de 64,3mm². Considerando que o ensaio deve ocorrer imediatamente após o término da projeção, o resultado demonstra de forma indireta qual o teor de água da mistura, podendo ser utilizada para o controle de qualidade do material na obra.

Outro aspecto importante e que deve ser considerado é que a utilização da agulha de Proctor pode auxiliar o mangoteiro¹ na aferição da quantidade de água adicionada a mistura (em se tratando de concreto projetado por via seca) e contribuir para um ajuste durante o processo de projeção.

Um baixo valor de consistência pode indicar que a quantidade de água adicionada a mistura foi tal que contribuiu para uma redução da reflexão e maior fluidez da mistura, o que poderá se traduzir ainda em um elevado índice de vazios, alta absorção e em uma redução da resistência mecânica da mistura.

Figura 3 – Agulha de Proctor.



Fonte: Elaborada pelo autor.

¹ Profissional responsável pelo manuseio do mangote de aplicação do concreto projetado e no caso da projeção via seca, este ajusta a quantidade de água adicionada à mistura.

Doutra parte, elevada consistência é indicativo de baixa adição de água a mistura o que pode ser benéfico na medida que contribuirá para melhoria de características como índice de vazios, absorção de água e resistência mecânica. Ocorre que quão menor o teor de água, maior tende a ser o índice de reflexão, o que tem consequências financeiras e ambientais.

- TEOR DE ÁGUA

O teor de água da mistura é retratado através da relação água cimento ou, no caso do concreto projetado, comumente utiliza-se o percentual de água da mistura.

A abordagem do teor de água da mistura e por conseguinte da capacidade de retenção de água é de fundamental importância em face da sua influência sobre várias características do material, inclusive sobre sua qualidade. Maciel et al (1998) explicam que a ocorrência de uma rápida perda de água afeta a aderência, a capacidade de absorver deformações, a resistência mecânica e a durabilidade.

Detriché e Maso (1986) afirmam que a capacidade de retenção de água de uma mistura está associada aos seguintes fatores: - a interferência das condições climáticas durante o período de cura da argamassa; - a proporção de aglomerantes e a distribuição granulométrica dos agregados que interferem nos poros da argamassa; - a composição química dos aglomerantes que influenciam na velocidade de formação dos capilares na mistura, devido à secagem da pasta; e - a espessura do camada de material, pois quanto mais espessa, maior será a retenção.

Tristão e Machado (2003) explicam que a quantidade de água deve ser o suficiente para molhar a superfície do aglomerante e do agregado.

Vários dos estudos citados têm suas conclusões aplicáveis ao comportamento do concreto projetado por via seca em face do teor de água adicionado pelo mangoteiro. De forma sucinta, pode-se afirmar que a quantidade de água adicionada irá influenciar de forma direta características como a consistência, o índice de reflexão e a resistência mecânica, além da absorção de água e o índice de vazios, considerando que o foco do presente estudo é a utilização do projetado para recuperação estrutural, o conjunto de características citadas se reveste de uma maior importância e, portanto, é necessária uma maior atenção para o teor de água adicionado a mistura.

Importante se faz registrar que o teor de água da mistura que fica aderida a superfície pode ser influenciado pela umidade contida no material que alimenta a máquina de projeção cabendo uma mensuração de tal umidade para que se possa inferir qual a quantidade de água ótima a ser adicionada a mistura. Outro parâmetro utilizado pelo mangoteiro é o comportamento da mistura durante o processo de projeção, vez que se a quantidade de água for elevada, têm-se uma redução da reflexão, mas não uma redução do desperdício vez que se o material não é refletido, com elevada quantidade de água ele escorre pela superfície, gerando um desperdício cuja forma de processamento talvez não possa ser classificada necessariamente como reflexão.

Doutra parte, o substrato que receberá o concreto projetado por vezes será uma estrutura existente e deteriorada, que demandou recuperação e/ou reforço, de sorte que a correta análise de tal superfície quanto à rugosidade, porosidade e integridade poderá levar a uma maior aderência e, portanto, maior qualidade do concreto projetado a ser aplicado. Supondo que o mangoteiro tenha regulado a vazão de água para um teor apropriado, qual seja o que não provoca elevada reflexão tampouco o que proporciona o escorrimento do material, é muito importante que seja avaliada qual a quantidade de água que o substrato irá demandar, vez que tal material é poroso em maior ou menor grau e demandará água da mistura recém aderida. Em face de tal situação é recomendável que antes do início da projeção seja aplicado jato de água sobre pressão na superfície que irá proporcionar duas consequências positivas ao processo de aplicação do projetado: - Limpeza da superfície de aplicação com remoção de material solto e impurezas; e - Absorção de água pelo substrato de sorte que não exista disputa pela água contida no projetado.

2.2.2 PROPRIEDADES DO CONCRETO PROJETADO NO ESTADO ENDURECIDO

A seguir são apresentadas as propriedades do concreto projetado no estado endurecido que são consideradas mais relevantes para que esse produto possa cumprir as suas exigências funcionais.

- *MÓDULO DE ELASTICIDADE*

Quando submetemos um corpo de prova de um dado material a tensões crescentes de tração ou de compressão, tipicamente se verifica que até determinado limite superior de tensão, as tensões (δ) são proporcionais às deformações específicas correspondentes (ϵ), entendendo como deformação específica; o quociente entre o alongamento ou encurtamento do corpo de prova e o comprimento inicial deste. É a conhecida Lei de Hooke ($\delta = E * \epsilon$). A constante de proporcionalidade (E) é uma propriedade característica do material e é denominada de Módulo de Elasticidade (Santos et al, 2013).

O conhecimento do valor numérico do módulo de elasticidade do material é de fundamental importância, pois este influencia a rigidez da estrutura. Para Beer e Johnson (1996), a importância do módulo de elasticidade torna-se ainda mais evidente na análise das deformações do concreto, já que são esperadas pequenas deformações nas estruturas projetadas, limitadas à faixa de deformação elástica, vez que o concreto não é um material elástico.

As propriedades de um material à base de cimento dependem, dentre outras características, da porosidade, resultado da densidade de empacotamento das partículas e do grau de hidratação do cimento. Para diminuir a porosidade devem-se considerar os dois fatores citados, pois nas primeiras idades, o efeito do empacotamento sobre a porosidade se sobrepõe ao grau de hidratação, com o avanço da idade, o efeito de ambos na porosidade é igual (CASTRO et al. 2011).

O teor de ar existente no concreto surte efeito negativo sobre o módulo de elasticidade, pois os vazios de ar aprisionado (ou ar incorporado) são muito maiores do que os vazios capilares. É inevitável que uma pequena quantidade de ar fique aprisionada na pasta de cimento durante a mistura em alguns casos. O ar pode ser propositalmente inserido através de aditivos incorporadores de ar, visando melhorias na trabalhabilidade no concreto fresco ou diminuição dos efeitos do congelamento no concreto endurecido, por exemplo (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

A influência dos agregados no valor do módulo de elasticidade do concreto ocorre com o tempo, pois em idades iniciais a pasta de cimento hidratada é responsável direta pelo valor do módulo. Somente em idades avançadas, com o ganho de resistência da pasta de cimento os esforços passam a ser transferidos para os agregados (ALHADAS, 2009).

Wang et al (2015), estudando o concreto projetado por via seca e comparando-o ao concreto convencional em ensaios de envelhecimento acelerado (congelamento – descongelamento), concluíram que o módulo de elasticidade do concreto convencional diminuiu à medida que o envelhecimento acelerado foi prolongado. No entanto, a mudança no módulo de elasticidade do concreto projetado foi observada em três estágios da seguinte forma: estágio inicial descendente (menos de 15 ciclos), estágio estável (mais de 15 ciclos, mas menos de 30 ciclos) e estágio em declínio rápido (mais do que 60 ciclos).

Noutro estudo, Wang et al (2016) trabalhando a durabilidade do concreto projetado evidenciou que o módulo de elasticidade e a perda de massa do concreto projetado comum foram diminuídos quando o ciclo de molhagem e secagem ultrapassava 60 vezes.

- RESISTÊNCIA MECÂNICA

A resistência mecânica está relacionada com a capacidade do material de resistir aos esforços de tensões à tração e à compressão, ocasionados pelos efeitos das condições ambientais ou pelas cargas estáticas ou dinâmicas que ocorrem nas edificações/estruturas (CINCOTTO et. al., 1995; MACIEL et al. 1998; NAKAKURA e CINCOTTO, 2004).

Para Martins e Assunção (2010), a resistência mecânica é influenciada pela natureza e consumo dos ligantes e agregados, pois nas misturas à base de cimento, a resistência à tração e à compressão diminui com o aumento da proporção de agregados. A resistência do concreto é largamente afetada em função dos agregados miúdos (SHARMIN et al., 2006).

Segundo Margalha et al (2007), a utilização de agregados (miúdo e graúdo) está relacionada com a elevada resistência e a estabilidade dimensional de tais materiais. Sbrighi Neto (2011) registra que a forma dos grãos dos agregados influencia na resistência mecânica e ao desgaste, ou seja, as misturas com os agregados miúdos de forma lamelar apresentam maior aderência da pasta aos seus grãos promovendo uma maior resistência à compressão e/ou tração e ao desgaste.

Silva e Campiteli (2006) revelam que o consumo de água e o teor de cimento são variáveis decisivas nas resistências à compressão e à tração. Segundo Freitas (2010), o tipo de agregado miúdo influencia nas respostas obtidas nos ensaios

de resistência mecânica, possivelmente devido à densidade de massa no estado endurecido além da quantidade de material pulverulento e da água adicionados a mistura.

Lanas e Alvarez-Galindo (2003) analisaram os resultados de resistências mecânicas de corpos-de-prova ensaiados após um ano de cura e verificaram que uma adequada distribuição do tamanho das partículas propicia valores de resistências mecânicas mais elevadas.

Para aferição da resistência mecânica do concreto projetado, notadamente à compressão, vários ensaios podem ser realizados, podendo-se subdividi-los em ensaios destrutivos e não destrutivos.

Vários testes não destrutivos são aplicáveis na avaliação de estruturas de concreto (MALHOTRA et al, 2004 e NAWY, 2008), incluindo a medição da maturidade, resistência a penetração, esclerometria, ultrassom e eco-impacto. Silva et al (2012) e Bilgin et al (2002) utilizaram alguns dos métodos citados para aferir a resistência a compressão do concreto projetado.

No presente estudo, conforme será detalhado na próxima seção, foram moldadas placas de concreto com intuito de se obter os corpos de prova necessários para avaliação das propriedades mecânicas do material.

- ABSORÇÃO DE ÁGUA E PERMEABILIDADE

A permeabilidade e a absorção de água situam-se dentre os principais mecanismos de transporte de agentes agressivos para o interior do concreto. A taxa de transporte de agentes agressivos, por meio da absorção e permeabilidade é governada pela taxa de penetração de água, pois através da umidade, os agentes agressivos são transportados para o interior do concreto (BARDELLA et al, 2005).

Kirchheim et al (2004) registram que a movimentação de fluidos no concreto está diretamente ligada à sua porosidade, que pode ser modificada por diversos fatores, tais como o tipo de cimento, a presença de aditivos ou adições, a forma de produção do concreto, as características do agregado e a quantidade de água.

A penetração de água, íons agressivos e a porosidade da camada superficial de concreto são importantes, especialmente em relação à espessura dessa camada. Os movimentos desses agentes agressivos dependem da porosidade, isto

é, do diâmetro e distribuição do tamanho dos poros, e da continuidade entre eles. A eliminação dos poros capilares contínuos deve ser considerada uma condição necessária para a obtenção de concretos duráveis (CAMARINI, 1999).

Silva (1995) salienta que, ao se pensar na qualidade de um concreto, muitas vezes se concentra a preocupação apenas com relação à sua resistência, esquecendo-se do fator fundamental, que é sua durabilidade.

A facilidade ou dificuldade do transporte de fluidos para o interior do concreto são fatores preponderantes na determinação da durabilidade de uma estrutura de concreto. Os principais agentes de transporte de fluido no concreto são a água, que pode estar pura ou pode conter agentes agressivos, o dióxido de carbono e o oxigênio. O deslocamento desses elementos no concreto vai depender da estrutura da pasta de cimento hidratada (Neville, 1997). Entre as diversas formas de medir esta entrada de fluidos, está a verificação da absorção de água por capilaridade.

A sucção capilar é um dos mecanismos de transporte mais importantes de entrada de agentes nocivos na estrutura de poros do concreto. É comum a utilização do ensaio de absorção de água por capilaridade como forma de estimar a maior ou menor susceptibilidade de novos materiais frente à degradação. Diversos trabalhos nacionais e internacionais utilizaram ensaios que medem a absorção capilar como meio de comparar indiretamente a durabilidade entre diferentes tipos de concretos.

KOCHAL e TURKER (2007) observaram que a absorção por capilaridade de concretos armazenados em ambiente natural é superior a encontrada em misturas mantidas em laboratório (não sujeitas a intempéries naturais). No intuito de reduzir a absorção por capilaridade das misturas, recomendou-se a redução do fator água cimento. Doutra parte, registrou-se que o uso de material pozolânico muito fino, como a sílica, levou a uma diminuição de curto prazo da absorção capilar, mas não houve queda significativa no desempenho a longo prazo.

A sílica ativa contém cerca de 80%-85% de SiO_2 na forma amorfa, concretos produzidos com utilização de sílica ativa apresentam maior resistência à compressão, menor porosidade, maior resistência à abrasão e à corrosão química, maior adesão a outras superfícies de concreto e melhor aderência com o aço, dentre outras vantagens (SIMPLÍCIO, 1999).

3. MATERIAIS E MÉTODO DE PESQUISA

3.1 MATERIAIS

Para confecção das misturas foram utilizados cimento, agregado miúdo, agregado graúdo, sílica ativa e água. Para caracterização dos agregados, foram observados os procedimentos previstos em norma, conforme citado na Tabela 2.

Tabela 2 - Ensaio de caracterização e índices físicos realizados nos agregados.

Ensaio	Valor obtido		Norma/procedimento
	Areia	Brita	
Granulometria	Figura 4		ABNT NBR NM 248:2003
Dimensão máxima característica	2,4mm	9,5mm	ABNT NBR NM 248:2003
Módulo de finura	2,64	4,89	ABNT NBR NM 248:2003
Massa unitária - Estado solto (kg/m ³)	1,42kg/dm ³	1,45kg/dm ³	ABNT NBR NM 45:2006
Teor de material pulverulento (%)	1,0%	2,5%	ABNT NBR NM 46:2003

Fonte: Elaborada pelo autor com dados da Módulo Engenharia/NUTEC.

Tem-se o agregado graúdo com dimensão característica máxima de 9,5mm, enquanto no agregado miúdo se observou dimensão máxima característica de 2,4mm (Tabela 2).

Já o cimento utilizado foi o CP II Z 32 da Votorantim cuja caracterização foi obtida junto ao fabricante e encontra-se na Tabela 3.

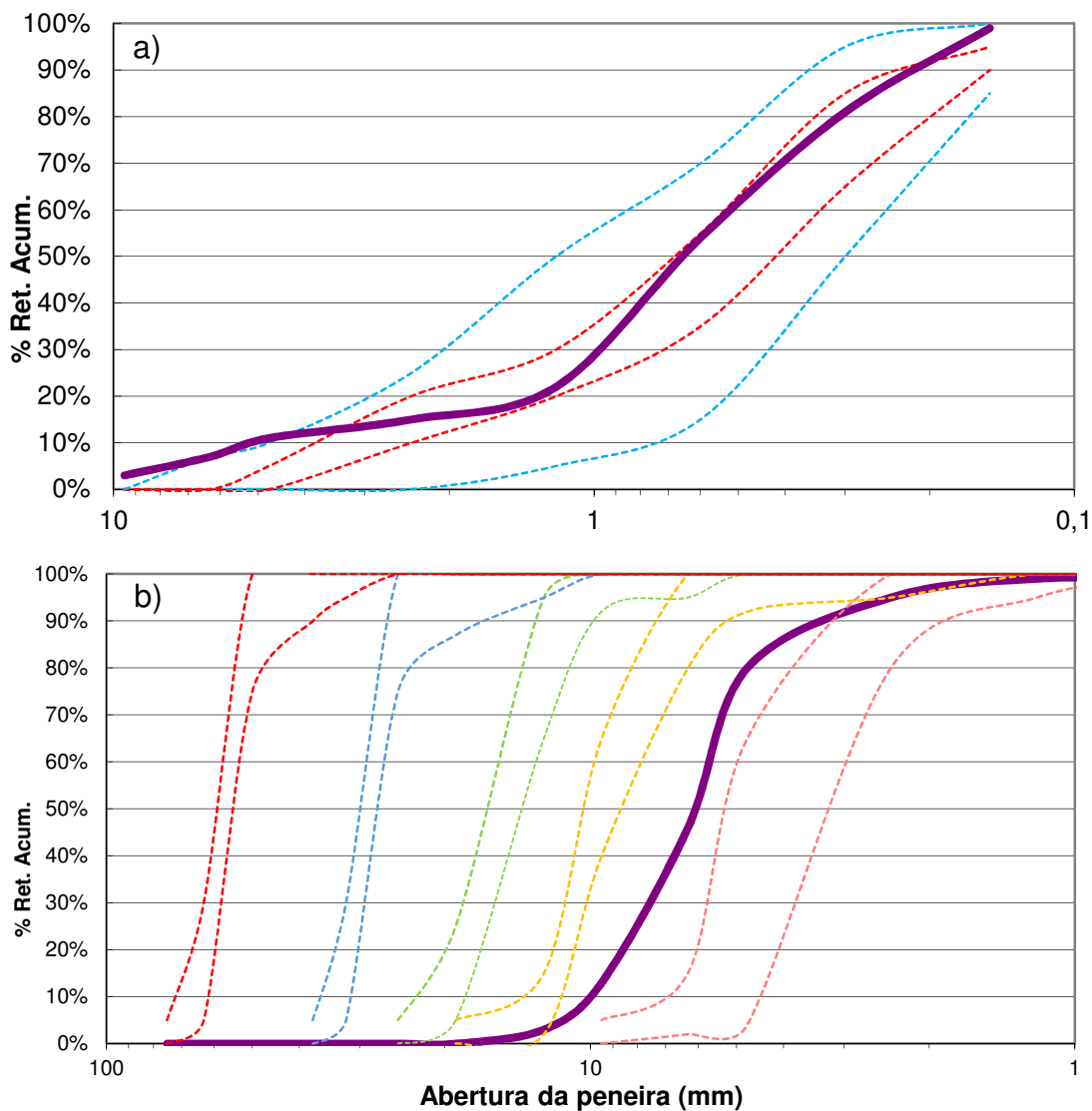
O consumo de materiais por metro cúbico de concreto é apresentado na Tabela 4. O consumo de sílica ativa foi de 0%, 5%, 10% e 15% de adição em relação à massa de cimento, sendo a mistura com 0% de sílica a mistura de referência.

Tabela 3 - Características do cimento utilizado.

Parâmetros químicos				
Ensaio	Teor (%)	Limites máx. da norma	Norma	
Perda ao fogo – PF	5,8	6,5	ABNT NBR NM 18:2004	
Óxido de Magnésio – MgO	2,6	6,5	ABNT NBR NM 11-2:2012	
Anidrido Sulfúrico – SO ₃	3,37	4,0	ABNT NBR NM 16:2004	
Resíduo Insolúvel – RI	12,84	16,0	ABNT NBR NM 15:2004	
Parâmetros físicos e mecânicos				
Ensaio	Resultado	Limites da Norma	Norma	
Finura (%) #200	1,42	≤12,0	ABNT NBR 11579:2012	
Finura (%) #325	7,82	Não aplicável	ABNT NBR 9202:1985	
Blaine (cm ² /g)	4912	≥2600	ABNT NBR 16372:2015	
Água de pasta de consistência (%)	28,98	Não aplicável	-	
Início de pega (min)	166	≥60	ABNT NBR 16607:2017	
Fim de pega (min)	226	≤600	ABNT NBR 16607:2017	
Expansibilidade a quente (mm)	0,23	≤5,0	ABNT NBR 11582:2016	
Resistência a compressão (MPa)	03 dias	27,06	≥10,0	ABNT NBR 7215:1996
	07 dias	31,07	≥20,0	ABNT NBR 7215:1996
	28 dias	37,5	≥32,0; ≤49,0	ABNT NBR 7215:1996

Fonte: Votorantim cimentos (2015).

Figura 4 – Distribuição granulométrica dos agregados miúdo (a) e graúdo (b).



Fonte: Módulo Engenharia/NUTEC

Tabela 4 - Estimativa de consumo de materiais por metro cúbico de concreto projetado por via seca para as misturas de referência.

Material	Consumo/m ³			
	f _{ck} de 30 MPa		f _{ck} de 45 MPa	
Cimento	370,3 kg		422,6 kg	
Sílica Ativa	-		-	
Agregado miúdo	0,891 m ³	1265,7 kg	1,056 m ³	1499,5 kg
Agregado graúdo	0,382 m ³	554,8 kg	0,548 m ³	795 kg
Água	155 kg		177 kg	

Fonte: Módulo Engenharia/NUTEC.

As misturas utilizadas na parte experimental tomaram por base dados pré-existentes que se referiam a obras realizadas pela empresa Módulo Engenharia. Foi realizada nova caracterização dos agregados com adequações nas medidas e/ou quantidades a aplicar.

3.2 MÉTODO DE PESQUISA

3.2.1 PARTE EXPERIMENTAL

O método de pesquisa estrutura-se basicamente conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Estrutura da pesquisa em função das variáveis.

Variáveis independentes		
Teor de sílica ativa	f_{ck}	Posição de projeção
0% 5% 10% 15%	30 MPa 45 MPa	Vertical Inclinação Horizontal
Variáveis dependentes		
Estado fresco	Índice de reflexão	
	Consistência com Agulha de Proctor	
	Umidade da mistura antes da projeção	
	Umidade da mistura após projeção	
Estado endurecido	Resistência a compressão aos 07 dias	
	Resistência a compressão aos 28 dias	
	Resistência a compressão aos 540 dias	
	Módulo de elasticidade	
	Absorção por imersão	
	Absorção por capilaridade	
	Índice de vazios	
	Massa específica seca	
Resistência à tração na compressão diametral		

Fonte: Elaborada pelo autor.

Nas variáveis independentes, tem-se:

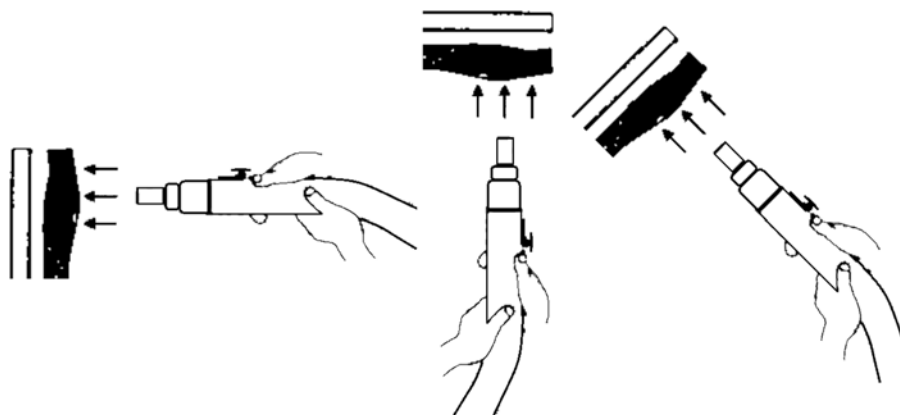
- Adoção do teor de sílica: 0%, 5%, 10% e 15%. Na escolha dos teores de sílica buscou-se um balanceamento entre o custo-benefício da utilização de tal

material e a otimização dos resultados, notadamente da redução do índice de reflexão e melhoria das demais propriedades medidas. Outra abordagem considerada foram os teores comumente utilizados no mercado para serviços de recuperação estrutural.

- Resistência característica do concreto projetado: 30MPa e 45MPa. Escolheu-se a resistências características amplamente utilizadas pelo mercado nacional.

- Posição de projeção da mistura: Horizontal, Vertical e Inclinada. Partiu-se de uma situação considerada mais favorável (projeção horizontal, Proj H) para uma situação mais desfavorável (projeção vertical, Proj V), passando por uma situação intermediária (projeção inclinada, Proj I) (Figura 5). As situações de projeção buscam retratar as condições vivenciadas no momento de aplicação do concreto projetado, o que implica diretamente na variação do índice de reflexão e conseqüentemente nos custos envolvidos no processo.

Figura 5 - Esquema de projeção horizontal, vertical e inclinada.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A nomenclatura das misturas foi baseada nas características já citadas, sendo cada mistura intitulada por um código com 05 (cinco) caracteres. O primeiro dígito é sempre uma letra (V, I ou H), que representa a posição de projeção:

- V - Projeção vertical, placa horizontal;
- I – Projeção inclinada, placa inclinada;
- H – Projeção horizontal, placa vertical.

O segundo e terceiro dígito, números que fazem referência ao traço de concreto utilizado:

- 30 – concreto com resistência característica de 30 MPa;

45 – Mistura com resistência característica de 45 MPa.

Os dois últimos dígitos representam o percentual de sílica ativa sobre a massa de cimento adicionado à mistura:

00 – Sem adição de sílica;

05 – Adição de 5% sílica;

10 – Adição de 10% sílica;

15 – Adição de 15% sílica.

Na tabela 6 têm-se a representação de todas as misturas utilizadas.

Tabela 6 - Nomenclatura das misturas.

Mistura	Descrição
V3000	30MPa, 0% de adição de sílica, placa horizontal, projeção vertical
I3000	30MPa, 0% de adição de sílica, placa inclinada, projeção inclinada
H3000	30MPa, 0% de adição de sílica, placa vertical, projeção horizontal
V3005	30MPa, 5% de adição de sílica, placa horizontal, projeção vertical
I3005	30MPa, 5% de adição de sílica, placa inclinada, projeção inclinada
H3005	30MPa, 5% de adição de sílica, placa vertical, projeção horizontal
V3010	30MPa, 10% de adição de sílica, placa horizontal, projeção vertical
I3010	30MPa, 10% de adição de sílica, placa inclinada, projeção inclinada
H3010	30MPa, 10% de adição de sílica, placa vertical, projeção horizontal
V3015	30MPa, 15% de adição de sílica, placa horizontal, projeção vertical
I3015	30MPa, 15% de adição de sílica, placa inclinada, projeção inclinada
H3015	30MPa, 15% de adição de sílica, placa vertical, projeção horizontal
V4500	45MPa, 0% de adição de sílica, placa horizontal, projeção vertical
I4500	45MPa, 0% de adição de sílica, placa inclinada, projeção inclinada
H4500	45MPa, 0% de adição de sílica, placa vertical, projeção horizontal
V4505	45MPa, 5% de adição de sílica, placa horizontal, projeção vertical
I4505	45MPa, 5% de adição de sílica, placa inclinada, projeção inclinada
H4505	45MPa, 5% de adição de sílica, placa vertical, projeção horizontal
V4510	45MPa, 10% de adição de sílica, placa horizontal, projeção vertical
I4510	45MPa, 10% de adição de sílica, placa inclinada, projeção inclinada
H4510	45MPa, 10% de adição de sílica, placa vertical, projeção horizontal
V4515	45MPa, 15% de adição de sílica, placa horizontal, projeção vertical
I4515	45MPa, 15% de adição de sílica, placa inclinada, projeção inclinada
H4515	45MPa, 15% de adição de sílica, placa vertical, projeção horizontal

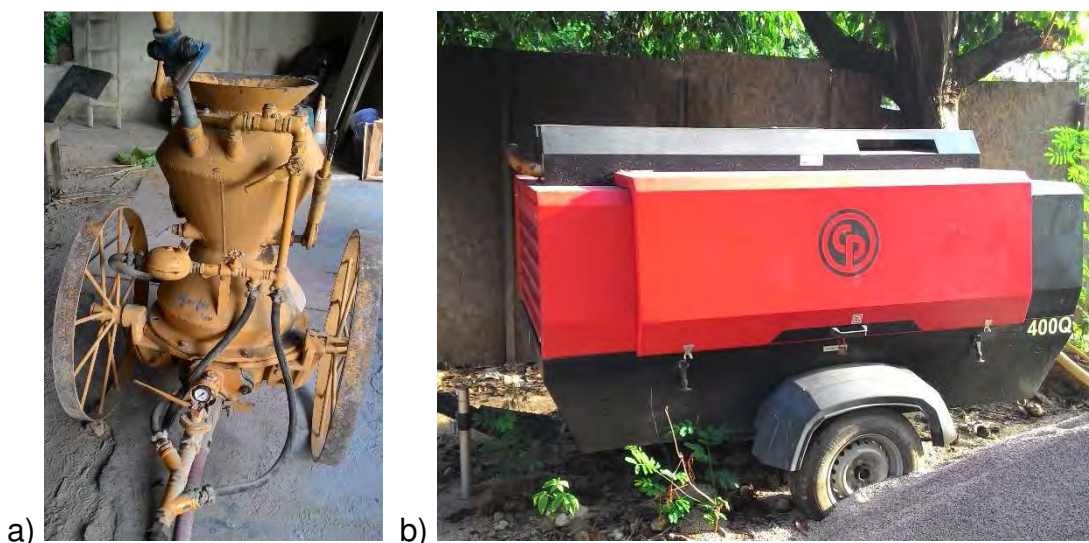
Fonte: Elaborada pelo autor.

Para a produção do concreto projetado foram utilizados alguns equipamentos e materiais específicos conforme passa-se a descrever.

Foi utilizada uma máquina de projeção de concreto por via seca (Figura 6a), acoplada a um compressor que trabalhou na faixa de 400PCM (Figura 6b).

A mistura manual se deu após a pesagem dos materiais adicionados (brita + areia + cimento + sílica), padiola por padiola, ato contínuo os operários misturaram o material. Após mistura manual, a máquina de projeção foi alimentada com o material seco, recebendo ar do compressor que impulsionou a mistura para aplicação. Foi utilizada água da rede pública da cidade de Fortaleza-CE. Apesar da utilização da expressão “material seco”, conforme será descrito a seguir, a mistura que adentra a máquina de projeção já tem certo teor de umidade proveniente de materiais e muitas vezes reforçado com o lançamento aleatório de água por parte dos operários sobre a pilha de material com o intuito de reduzir a poeira que surge quando da ação de abastecer a padiola.

Figura 6 – a) Máquina de projeção utilizada e b) compressor utilizado.

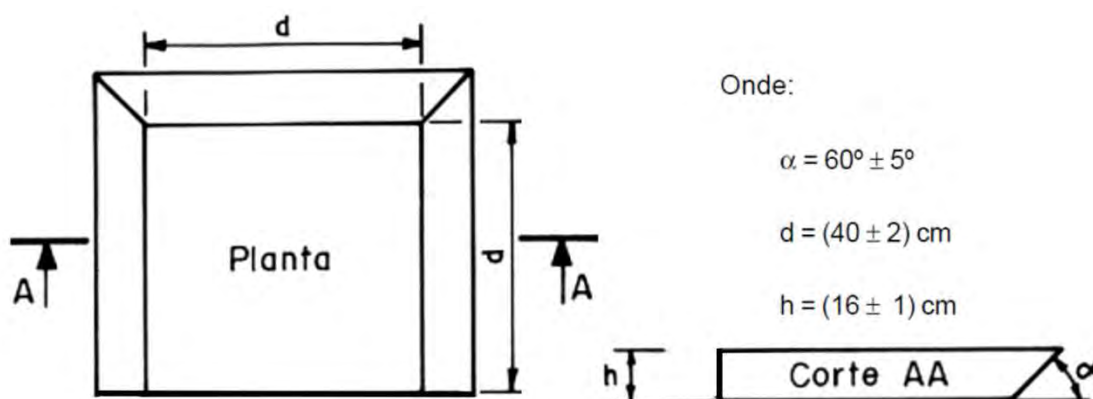


Fonte: Elaborada pelo autor.

Para realização dos ensaios, é necessária a obtenção dos corpos de prova, conforme normas vigentes e, no caso do concreto projetado, é necessária a moldagem de placas para em um segundo momento realizar a extração dos testemunhos, que serão transformados em corpos de prova, que serão utilizados nos ensaios.

Para moldagem das placas foi adotado o prosseguimento descrito a seguir, adaptado da NBR 13070 (ABNT, 2012). Foram confeccionados, em chapas de aço de 3mm, moldes no formato de tronco de pirâmide, para confecção das placas (Figura 7), com profundidade de 20 ± 1 cm, inclinação das paredes laterais de $60^\circ \pm 5^\circ$ e dimensões da base menor da ordem de 40 ± 2 cm, já a base maior terá dimensões aproximadas de $60,5 \pm 2$ cm. Antes do início das projeções, as formas foram jateadas com água e ar. A forma possui quatro lados, sendo que um deles não foi fechado com chapa conforme desenho previsto em norma para facilitar a remoção das placas e manuseio do material.

Figura 7 - Fôrma da placa para obtenção dos corpos de prova.



Fonte: NBR 13070 (ABNT, 2012).

Preceitua ainda a norma citada, que o fundo do molde deverá formar com a horizontal um ângulo de 70° a 80° (β , Figura 8), residindo aqui um ponto de adaptação do procedimento, visando registrar situações mais aproximadas do cotidiano, uma vez que o principal objetivo do trabalho reside em avaliar a variação do índice de reflexão sob determinadas situações. Foram utilizados três ângulos diferentes entre o fundo do molde e o plano horizontal, em um primeiro momento será utilizado o ângulo de 90° (β), representando a situação de projeção horizontal, em um segundo momento o ângulo de 135° (β), representando a situação de projeção inclinada e por fim, o fundo do molde estará a 180° (β) em relação ao plano horizontal, refletindo assim a situação de projeção vertical.

Para manter as formas/placas no posicionamento já citado, foi dimensionada e construída estrutura metálica específica conforme descreve-se (Figura 8).

Buscou-se no mercado local (Fortaleza-CE) a disponibilidade de perfis metálicos e/ou profissionais com interesse para construção do aparato, chegando a conclusão que deveria se basear em perfis metálicos obtidos a partir de “chapa dobrada”. Foram então levantadas as cargas a que a estrutura estaria submetida, lançando as informações no software *Ftool* que forneceu os diagramas de esforços e deformações da estrutura (informações detalhadas nos apêndices).

Figura 8 - Estrutura metálica utilizada para posicionamento das formas.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Foi utilizada chapa de aço com 3,5mm de espessura para fabricação de todas as peças, inclusive formas. Tratando especificamente da forma que simulou a concretagem de uma laje, observou-se nas primeiras moldagens que a baixa rugosidade da chapa metálica não proporcionaria a adesão necessária para suporte da placa de concreto, ocorrendo inclusive vários deslocamentos. Considerando tal situação foi providenciado aumento da rugosidade da superfície das formas que ficaram na posição horizontal (projeção vertical) com utilização de “pingos” de solda. Tal procedimento garantiu a rugosidade necessária para sustentação da placa e, pelas reduzidas dimensões dos referidos “pingos” de solda (<3mm em qualquer direção), não se percebeu qualquer influência sobre a remoção da mesma após a

concretagem, tampouco sobre as propriedades físicas ou mecânicas observadas neste trabalho.

Especificamente sobre a reflexão nas placas horizontais, nenhuma diferença foi percebida entre as projeções sem os “pingos” de solda (em que ocorreu o deslocamento) e as projeções com a referida solução. Registra-se que o procedimento adotado aproximou os ensaios de situações fáticas de recuperação estrutural onde elementos danificados são tratados e recuperados sendo que suas superfícies mantêm, por vezes, rugosidade elevada que contribui para aderência da mistura.

Outro aspecto que merece relato é a garantia da segurança dos operários no processo de moldagem, notadamente do mangoteiro, que quando da aplicação do concreto na vertical fica sob a área concretada e o deslocamento de tal área o atingiria de forma direta, de sorte que a rugosidade da superfície a concretar e a aderência do concreto projetado em tal posição são fatores que merecem elevada atenção.

No processo de moldagem da placa, a projeção só ocorreu a partir do momento em que o fluxo de saída do material do mangote se estabilizou. A aplicação, sempre que possível, se deu de baixo para cima e das bordas para o centro da placa, mantendo uma distância fixa do bico de projeção para o fundo do molde (cerca de 1,0m). O procedimento de projeção foi encerrado assim que a espessura da placa atingiu a borda da fôrma. Registra-se ainda que, quando da ocorrência de algum problema ou interrupção de qualquer natureza nas condições de aplicação e ou projeção da placa, aquela moldagem foi descartada, dando início a uma nova moldagem, sempre buscando a manutenção das condições de similaridade e repetitividade.

Findo o procedimento de aplicação do concreto, a placa foi envolta em material impermeável (lonas plásticas) por 24h, evitando assim a perda de água. Após isto as placas foram retiradas dos moldes e levadas para tanque de cura submersa com água saturada com cal. Após a moldagem das placas nas posições já citadas, foram extraídos os corpos de prova cilíndricos que serviram para avaliação de várias características.

Para extração dos corpos de prova (CP) cilíndricos, foi adotado procedimento descrito na NBR 7680 (ABNT, 2015), conforme passa-se a descrever. Cada exemplar ficou com dimensões da ordem de 10cm x 18cm (\emptyset , h), tendo relação

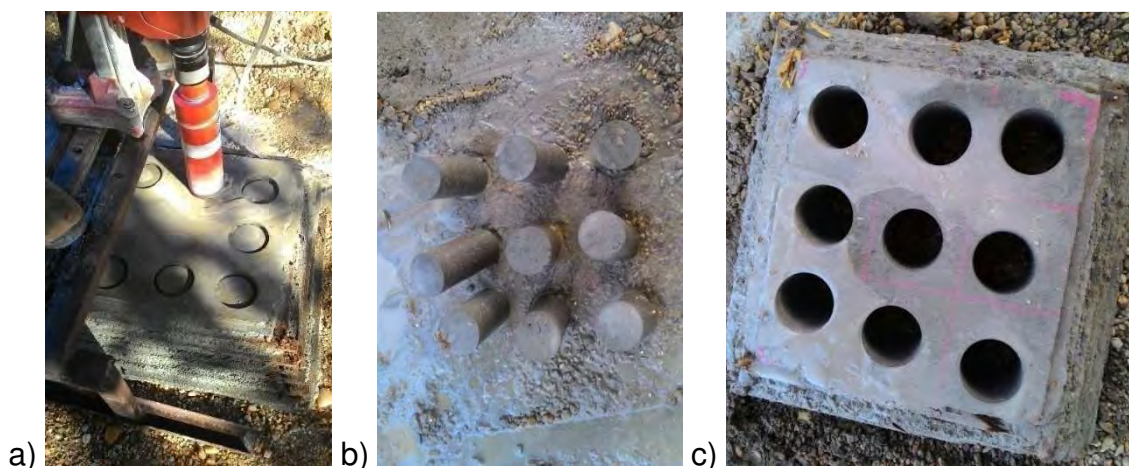
entre altura e diâmetro da ordem de 1,5 após cortes e acabamento. A extração ocorreu cerca de 48h após a moldagem, buscando minimizar a influência de possíveis danos no corpo de prova no momento da extração. Registra-se que em função de questões operacionais/financeiras parte das extrações foi efetivada buscando corpos de prova com dimensões da ordem de 10cm x 20cm (\emptyset , h), outra parte, com dimensões da ordem de 7,5cm x 15cm (\emptyset , h).

A retirada do testemunho ocorreu paralela a projeção. Após a perfuração (Figura 9) das placas, tem-se o destacamento do testemunho que foi envolvido em sacos plásticos e transportado para o local de cura, evitando impactos ou ações deletérias. A cura das placas/testemunho ocorreu sob saturação de água com cal. Findo o processo de extração, os testemunhos tiveram seus topos aparados com disco de corte diamantado, formando planos paralelos entre si e perpendiculares ao eixo, transformando-se em corpos de prova. Foram moldadas três placas para cada posição de projeção, contabilizando as vinte e quatro variações, chega-se ao número de setenta e duas placas moldadas. Cada placa deu origem a cerca de nove testemunhos, totalizando seiscentos e quarenta e oito amostras.

Todos os ensaios foram acompanhados pelo mestrando, quando possível foram realizados pelo aluno, buscando minimizar as falhas e maximizar a observação e compreensão do procedimento e resultados.

Registra-se que tais estudos foram realizados no Laboratório de Materiais do Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC) e no Laboratório de Materiais de Construção Civil do DEECC, da Universidade Federal do Ceará.

Figura 9 – Extração dos testemunhos.



Fonte: Elaborada pelo autor.

3.2.2 ENSAIOS NO ESTADO FRESCO

Os ensaios realizados no estado fresco foram para obtenção do índice de reflexão, aferição da consistência com agulha de Proctor e umidade da mistura antes e após a projeção.

-MEDIÇÃO DO ÍNDICE DE REFLEXÃO (IR)

No presente estudo adotou-se a metodologia da medição direta na confecção de placas de concreto NBR 13354 (ABNT, 2012). Para a medição direta, utilizou-se lonas (Figura 10), cuja especificação obedeceu a NBR 9616 (ABNT, 1986), também foram necessárias uma padiola de cerca de 40L e uma balança com capacidade mínima de 100kg e resolução de 100g.

Figura 10 – Aparato com lonas para coleta do material refletido.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O volume considerado na execução do ensaio depende do tipo de obra em execução, podendo-se se adotar como quantidade razoável, valores da ordem de 1,5m³. Para coleta do material refletido, posicionou-se as lonas de forma a cobrir a possível área de queda do material, possibilitando a completa coleta das partes refletidas. Na utilização de mais de uma lona, a sobreposição mínima entre duas lonas

adjacentes foi de 30cm. Antes do início do ensaio foi calculada a quantidade de material necessário para projeção, bem como a massa total de material projetado. Após a projeção, mediu-se a massa de material refletido, encontrando posteriormente a razão entre a massa do material refletido e a massa do material projetado.

-CONSISTÊNCIA COM A AGULHA DE PROCTOR

Com objetivo de aferir a consistência do concreto no estado fresco foi utilizada a agulha de Proctor (Figura 11) observando o procedimento descrito na NBR 14278 (ABNT, 2012). Foram colhidas 06 (seis) leituras da consistência para cada placa projetada, totalizando 18 (dezoito) medidas para cada posição de projeção. No conjunto de medidas de cada placa foram desprezadas a medida de maior valor e a medida de menor valor, restando um grupo de 12 (doze) medidas para cada posição de projeção. Todas as medidas foram realizadas pelo mesmo operador com intuito de minimizar possíveis inconsistências.

Figura 11 – Utilização da agulha de Proctor: a) aplicação da força necessária para penetração da ponteira. b) realização da leitura.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A coleta de dados ocorreu após conclusão da moldagem, antecedendo inclusive a coleta de material para umidade vez que o procedimento de aferição da

consistência acaba por interferir na superfície das placas, notadamente pela sua coleta em vários pontos e diferentes profundidades.

-UMIDADE DA MISTURA ANTES E APÓS A PROJEÇÃO

Os materiais utilizados para mistura foram armazenados ao ar livre o que já confere certa umidade. Além de tal condição, quando da utilização do material, os operários utilizavam jatos de água para aumentar a umidade dos insumos e assim reduzir a emissão de poeira quando do manuseio para abastecimento da padiola. Tal procedimento é comum nas obras/construções e para os operários se traduz em uma forma de prevenção para as doenças das vias respiratórias.

Observando tal situação na primeira moldagem, foram então coletadas amostras da mistura (cimento + areia + brita + sílica) antes do abastecimento da máquina de projeção com intuito de conhecer/registrar a umidade da mistura que alimenta a máquina e assim compará-la com a umidade da mistura que fica aderida a superfície. O procedimento para obtenção da umidade foi o mesmo, tanto para a mistura antes da projeção quanto para a mistura pós projeção (Figura 12), seguindo o que fora descrito anteriormente.

Figura 12 – Coleta do material projetado.



Fonte: Elaborada pelo autor.

3.2.3 ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO

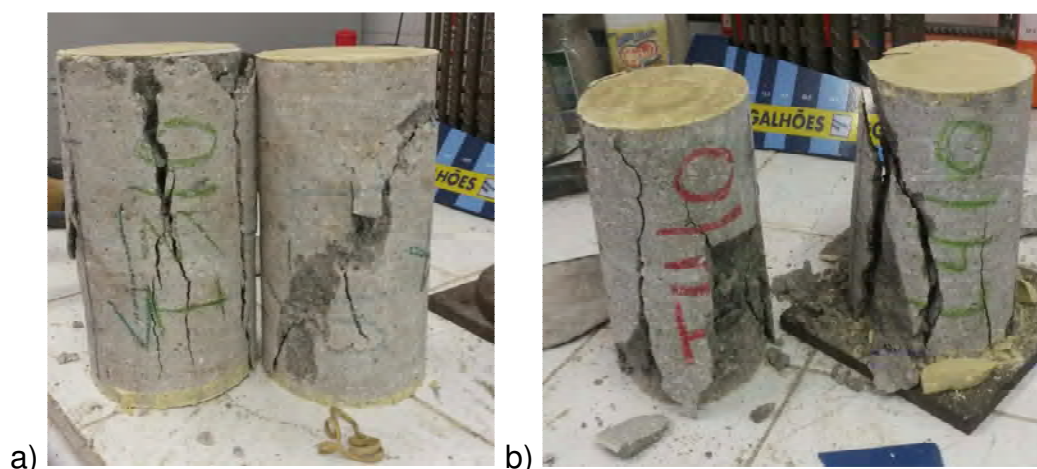
Os ensaios realizados no estado endurecido foram a resistência à compressão aos sete, vinte e oito e quinhentos e quarenta dias, módulo de elasticidade, resistência à tração por compressão diametral, absorção por imersão, índice de vazios, massa específica e absorção por capilaridade.

-RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E MÓDULO DE ELASTICIDADE

No ensaio de resistência a compressão foi utilizada máquina universal de ensaios, com capacidade máxima de carregamento de 100tF, tendo como menor divisão o valor de 0,1kN. O carregamento ocorreu com velocidades em 0,3MPa/s e 0,8MPa/s. Os corpos de prova foram ensaiados logo após a retirada do tanque de cura. Nas superfícies de topo dos corpos de prova, foi aplicada camada de regularização à base de enxofre, com o objetivo de regularizar o contato corpo/prensa. Todos os corpos foram ensaiados (Figura 13) conforme datas de confecção nas idades estabelecidas, quais sejam 07, 28 e 540 dias, pelo mesmo experimentador, na mesma máquina. Foram adotados procedimentos da NBR 5739 (ABNT, 2007)

Para obtenção do módulo de elasticidade, os corpos foram instrumentados na máquina que faz a aquisição dos dados e o cálculo do módulo de elasticidade em tempo real. Foi tomado por base os valores obtidos no ensaio de resistência à compressão. Adotou-se os procedimentos descritos na NBR 8522 (ABNT, 2008), metodologia "A".

Figura 13 – Corpos de prova após rompimento.



Fonte: Elaborada pelo autor.

-RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

-ABSORÇÃO POR IMERSÃO, ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA

Na realização do ensaio para determinação da absorção foram observados os parâmetros e recomendações da NBR 9778 (ABNT, 2009). Os corpos foram submersos em água à temperatura ambiente e retirados para nova pesagem após 5, 15, 30, 60, 120, 1440 (24h), 2880 (48h) e 4320 (72h) minutos de submersão. Além da absorção, obtendo-se a massa do corpo de prova saturado e imerso (M_i), será calculado o índice de vazios, a massa específica da amostra seca (M_{es}) e a massa específica da amostra saturada (M_{esat}).

-ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE

Para determinação da absorção por capilaridade conforme prescrições da NBR 9779 (ABNT, 2012), foram utilizados dois corpos de prova. Durante o ensaio, foi determinada a massa dos corpos de prova com 3h, 6h, 24h, 48h e 72h, contadas a partir da colocação destes em contato com a água.

- ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os métodos estatísticos são aplicados nos resultados de um experimento para descrever o comportamento das variáveis independentes, a relação entre elas e estimar os efeitos produzidos nas variáveis de resposta (REY,1998). Montgomery (2001) ressalta que os métodos estatísticos são usados para fornecerem resultados e conclusões objetivas a partir dos resultados obtidos no experimento.

Para a análise estatística dos dados obtidos por meio dos ensaios realizados no estado fresco e endurecido foi utilizado o software Statistica 7.0. Utilizou-se a análise de variância (ANOVA) com um nível de confiança de 95% para a verificação da influência dos fatores controláveis. Para a interpretação dos resultados da ANOVA verificam-se os valores do teste estatístico “F” e o valor “p”. O teste “F” refere-se à variância dos resultados para o fator em questão e o valor “p” refere-se à probabilidade de os resultados ocorrerem ao acaso. Quando o valor do teste “F” é maior do que F crítico e o valor “p” é menor do que 0,05 têm-se que significativa é a influência do fator independente na resposta da variável dependente analisada.

Agrupados os dados, obtidas as médias para cada situação e aplicada a ANOVA, foram expurgados os dados cujo resíduo padronizado ficou acima de 1,96, recalculando os valores da ANOVA, que serão apresentados na próxima seção. Por seguirem aproximadamente a distribuição t os resíduos padronizados que excederam o valor de referência de 1,96 (valor crítico de t para o nível de confiança de 5%) foram considerados significantes estatisticamente (valor predito difere significativamente do valor real/observado). Essas amostras foram consideradas atípicas e expurgadas do estudo, conforme preconiza Ribeiro e Caten (2012).

Quando a variável testada era significativa, aplicou-se o teste de Tukey para comparação das médias, ou seja, buscou-se comparar as médias par a par no sentido de descobrir se existe ou não diferença estatística entre elas ao nível de 5% significância.

4. APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados dos experimentos realizados, a análise por meio da ANOVA (análise da variância) e a discussão envolvendo estudos anteriores e hipóteses para os comportamentos observados.

4.1 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Nas tabelas 7 e 8 constam os dados médios obtidos durante os ensaios descritos na seção anterior. Os valores brutos e outros detalhes da realização dos resultados constam dos apêndices.

Tabela 7 – Valores médios dos resultados obtidos nos ensaios: índice de reflexão, consistência com agulha de Proctor, umidade antes e após a projeção, resistência à compressão aos 07, 28 e 540 dias, módulo de elasticidade e resistência à tração na compressão diametral.

Mistura	Índice de Reflexão (%)	Consistência com agulha de Proctor	Umidade (%)		Resistência a compressão (MPa)			Módulo de elasticidade (GPa)	Tração na compressão diametral (Mpa)
			Antes da projeção	Após a projeção	07d	28d	540d		
V3000	35,3	96	4,1	12,4	22,1	32,9	51,0	26,6	3,5
I3000	35,4	167	4,6	10,2	21,1	32,4	53,1	25,0	3,6
H3000	27,6	128	3,5	10,2	24,6	36,9	53,0	28,1	3,8
V3005	32,4	103	4,1	11,5	22,0	31,4	56,4	33,7	4,4
I3005	28,6	102	5,3	11,0	22,9	31,5	59,5	30,9	4,3
H3005	22,3	173	4,1	13,4	24,7	34,9	65,2	37,6	3,0
V3010	33,5	98	4,2	10,2	20,4	32,5	35,9	19,3	4,7
I3010	28,9	90	4,0	11,4	23,4	32,4	36,0	30,7	4,6
H3010	17,9	113	4,2	10,2	23,8	33,5	42,8	29,3	4,7
V3015	28,8	144	4,1	11,1	23,6	35,1	42,6	17,8	5,2
I3015	21,7	147	5,4	10,5	25,7	34,4	40,8	26,6	5,0
H3015	23,2	164	4,9	10,4	28,0	36,9	45,8	27,7	5,4
V4500	33,5	113	4,8	11,3	30,3	42,5	41,6	25,1	4,6
I4500	33,5	151	4,6	10,6	31,3	41,2	47,5	29,4	3,7
H4500	22,5	123	5,1	10,7	32,3	46,2	47,5	29,5	4,5

Continua na próxima página...

...Continuação da Tabela 7

V4505	21,1	148	5,0	10,2	26,9	40,7	37,4	16,8	3,8
I4505	21,8	146	5,6	11,0	29,8	41,2	46,7	36,8	3,9
H4505	19,9	144	3,7	9,7	32,7	48,1	45,8	26,3	3,8
V4510	23,8	148	3,9	11,7	28,8	37,0	43,0	27,9	3,8
I4510	22,1	149	2,8	9,8	33,0	41,1	39,2	23,8	4,5
H4510	20,3	148	3,7	10,4	36,8	47,0	50,2	27,3	4,2
V4515	30,3	123	2,7	11,3	28,4	44,0	45,7	20,7	4,0
I4515	24,3	135	4,8	12,2	38,8	46,6	44,3	19,8	3,8
H4515	23,5	183	5,3	11,4	41,0	50,4	42,9	19,8	5,1

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 8 – Valores médios dos resultados obtidos nos ensaios: absorção por imersão, absorção por capilaridade e índice de vazios.

Mistura	Absorção por capilaridade (%)					Índice de vazios (%)	Absorção por imersão (%)								
	180	360	1440	2880	4320		5	15	30	60	120	1440	2880	4320	
	min	min	min	min	min		min	min	min	min	min	min	min	min	
V3000	0,97	1,18	1,68	1,89	2,27	14,5	1,32	1,97	2,65	3,34	3,97	4,91	5,73	6,60	
I3000	0,75	0,93	1,36	1,68	2,03	12,0	1,33	2,00	2,72	3,36	3,92	4,72	5,19	5,55	
H3000	0,71	0,87	1,28	1,46	1,93	11,0	1,33	2,13	2,71	3,36	3,80	4,53	4,94	5,20	
V3005	0,91	1,10	1,52	1,69	2,01	12,3	1,41	2,37	2,99	3,65	4,07	4,94	5,46	5,90	
I3005	0,78	0,90	1,17	1,43	1,59	11,5	0,94	1,40	1,89	2,57	3,16	5,07	5,16	5,27	
H3005	0,45	0,56	0,71	0,88	1,05	10,8	1,23	1,75	2,28	2,88	3,49	4,86	4,93	5,03	
V3010	0,79	0,99	1,45	1,75	2,22	10,4	0,61	1,13	2,07	2,60	3,24	4,05	4,84	4,89	
I3010	0,95	1,02	1,35	1,58	1,87	9,5	1,27	1,96	2,52	3,13	3,62	4,20	4,34	4,43	
H3010	0,84	1,00	1,45	1,68	1,99	9,3	1,18	1,83	2,38	3,01	3,58	4,12	4,26	4,34	
V3015	0,67	0,78	0,89	1,08	1,37	9,3	1,31	1,98	2,54	3,19	3,65	4,07	4,30	4,31	
I3015	0,54	0,68	0,93	1,40	1,85	8,6	1,55	1,88	2,38	2,88	3,15	3,73	3,84	3,93	
H3015	0,68	0,83	1,18	1,38	1,88	8,1	1,14	1,62	2,06	2,56	2,85	3,43	3,59	3,65	
V4500	0,82	0,97	1,34	1,54	1,87	12,6	1,06	1,56	2,18	2,92	3,57	5,78	5,81	5,87	
I4500	0,73	0,87	1,20	1,47	1,76	11,9	1,20	1,81	2,36	3,00	3,68	5,35	5,52	5,59	
H4500	0,76	0,89	1,16	1,43	1,64	11,0	1,14	1,77	2,29	2,95	3,53	4,92	5,06	5,13	
V4505	0,77	0,92	1,24	1,49	1,74	11,0	1,27	1,68	2,27	2,91	3,48	4,98	5,05	5,11	
I4505	0,64	0,76	1,04	1,19	1,47	10,3	1,19	1,77	2,36	2,98	3,53	4,64	4,74	4,80	
H4505	0,76	0,88	1,09	1,27	1,40	10,2	1,22	1,88	2,34	2,98	3,53	4,49	4,75	4,78	
V4510	0,92	1,06	1,47	1,69	2,01	9,9	1,31	1,83	2,44	3,07	3,67	4,41	4,50	4,60	
I4510	0,82	0,94	1,29	1,55	1,88	9,1	1,38	1,92	2,47	3,07	3,50	4,03	4,18	4,23	

Continua na próxima página...

...Continuação da Tabela 8														
H4510	0,57	0,73	0,98	1,33	1,71	8,7	1,52	1,90	2,40	2,86	3,21	3,77	3,91	4,00
V4515	0,51	0,62	0,77	0,93	1,10	9,2	1,14	1,73	2,28	2,86	3,35	4,02	4,19	4,26
I4515	0,77	0,86	1,05	1,24	1,57	8,8	1,28	1,78	2,22	2,77	3,16	3,79	3,99	4,03
H4515	0,65	0,76	0,96	1,17	1,48	8,2	1,21	1,66	2,13	2,60	2,91	3,47	3,63	3,69

Fonte: Elaborada pelo autor.

4.2 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

- ÍNDICE DE REFLEXÃO

Na tabela 9 é apresentada a análise de variância dos valores do índice de reflexão.

Tabela 9 – Análise de variância do índice de reflexão.

Fator	GL	SQ	MQ	Teste F	Valor P	F crítico	Significância
Traço do concreto	1	63,84	63,84	6,063	0,024788	45,440	NS
Teor de sílica	2	198,76	66,25	6,292	0,004556	3,095	S
Posição de Projeção	3	241,82	120,91	11,482	0,000699	6,027	S
Erro	17	179,02	10,53				
Total	23	683,44					

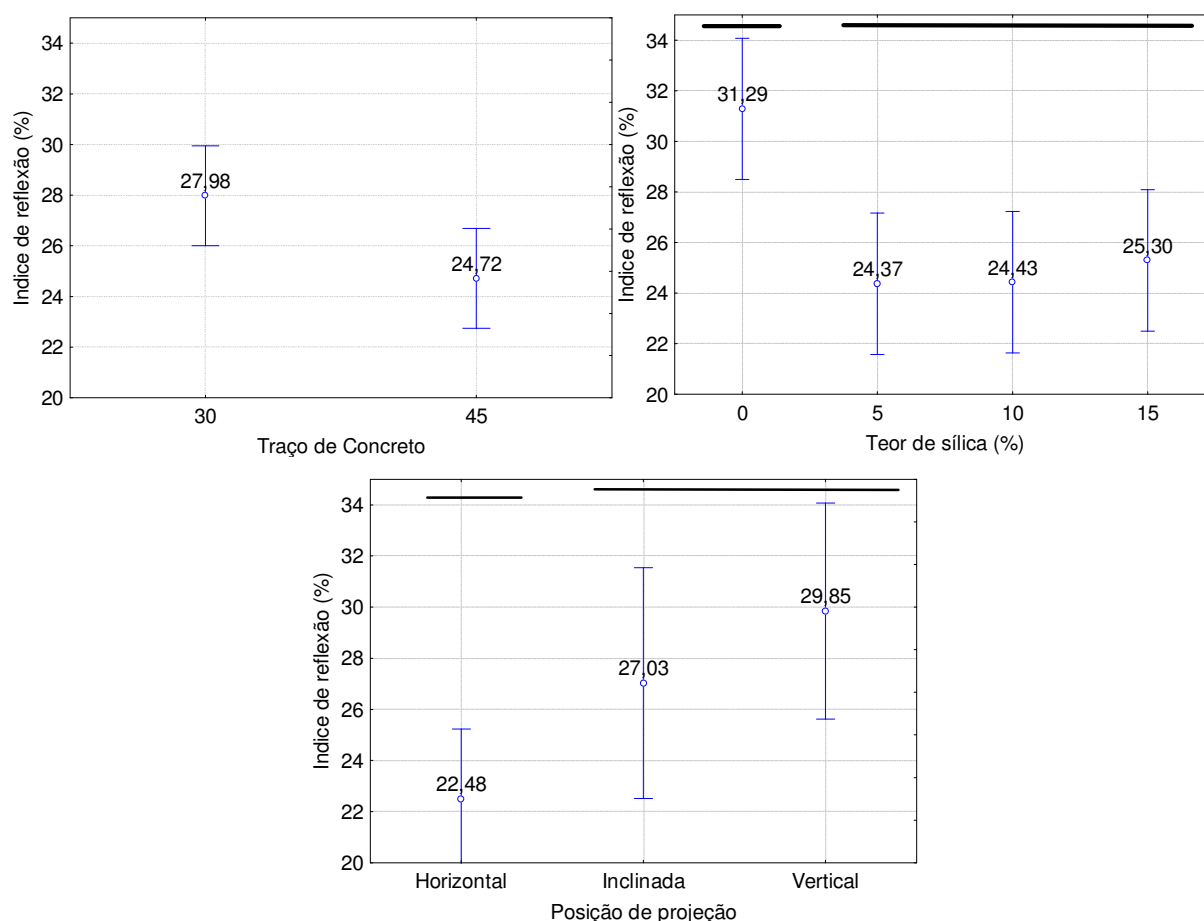
Fonte: Elaborada pelo autor. Legenda: GL – Grau de liberdade; SQ – Soma quadrada; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

Na Figura 14 consta o comportamento do índice de reflexão em função das variáveis independentes. Para os casos em que a ANOVA evidenciou influência significativa da variável independente sobre a variável dependente foi aplicado teste de Tukey, representado nos gráficos através de traçados horizontais contínuos sobre as médias que não diferem estatisticamente ao nível de 5%. Para médias que diferem, o traçado é descontinuado. A ausência do traçado horizontal na parte superior do gráfico ratifica a informação que consta da tabela da ANOVA quanto à não significância.

A massa de material coletado oscilou entre 47,1kg e 182,5kg. O maior valor foi observado nas primeiras projeções, não representando necessariamente um

elevado índice de reflexão vez que é necessária a observação da quantidade de material que alimentou a máquina de projeção. A menor massa foi observada na última projeção, provavelmente em função da redução da quantidade de material que alimentou a máquina de projeção, redução esta, fruto da observação da real quantidade de material necessária para preenchimento das formas utilizadas. Calculando um quociente simples entre as massas de material recolhido, percebe-se que o maior valor é cerca de 3,9 vezes superior ao menor valor observado.

Figura 14 - Comportamento do índice de reflexão em função das variáveis independentes.



Fonte: Elaborada pelo autor. Médias sob o mesmo traçado horizontal não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%. Médias sem traçado se referem a situações em que a variável independente não exerce influência significativa sobre a variável dependente.

Tratando da quantidade de material que alimentou a máquina de mistura, tal valor oscilou entre 233,2 kg e 675,8 kg, novamente se observou que a quantidade

de concreto projetado foi reduzida à medida que as moldagens se repetiam e proporcionavam um melhor conhecimento sobre a quantidade necessária para se obter o material de pesquisa. A proporção simples entre as massas de material que abasteceram a máquina de projeção nos leva a observação que o maior valor é cerca de 2,9 vezes superior ao menor valor.

Calculando apenas para fim de discussão e registro o índice de reflexão considerando os valores acima descritos, teríamos tal medida oscilando entre 20,2% e 27%, valores que estão aquém dos observados, mas que indicam de forma clara e acertada qual o direcionamento dos valores.

No relato do observado talvez se leve à incorreta suposição de que todo o material aglomerante fique incorporado a superfície de projeção, o que infelizmente não corresponde à realidade. O aglomerante (sílica + cimento) sofre influência de aspectos particulares, cabendo destacar a sua pulverização e o seu desperdício em face da adesão às partículas de brita e areia.

Durante o processo de projeção é formada uma densa névoa, constituída basicamente de água, cimento, sílica e do material pulverulento presente na areia e na brita. Tal névoa é de tal sorte densa e tida como prejudicial pelos operários que trabalham com concreto projetado, que tais trabalhadores durante a projeção procedem com um isolamento total do seu corpo ou decidem por ausentar-se do ambiente da projeção. Essa é uma das formas de redução dos aglomerantes na mistura que fica aderida a superfície.

Outra forma de redução da quantidade de aglomerantes na mistura que fica aderida é que o aglomerante tende a se acumular, aderir às paredes dos agregados e quando estes não permanecem na superfície de projeção, levam consigo parte dos aglomerantes e também contribuem para a formação da névoa já citada.

O material que não fica aderido a superfície tende ao desperdício face que uma das principais aplicações do concreto projetado é a recuperação de estruturas e assim sendo, o controle tecnológico dos materiais empregados é item fundamental para garantir o restabelecimento da estrutura trabalhada e sua durabilidade. A utilização do termo “tende” se justifica vez que o material que não fica aderido a superfície é constituído de brita, areia e aglomerante, podendo ser reaproveitado em outras aplicações. Na obra onde fora realizada a moldagem de placas que gerou os resultados aqui discutidos, o material que não ficou aderido a superfície foi reaproveitado como material para camada de chapisco de novas alvenarias.

Tal parcela de material ao não ficar aderida a superfície de projeção aumenta o volume a ser coletado quando da limpeza da área trabalhada ao fim dos serviços, o que impacta negativamente no tempo e quantidade de mão obra utilizadas para tal fim.

Após análise de variância onde restou constatada influência significativa do teor de sílica e da posição de projeção, foi aplicado o Teste de Tukey para comparação das médias, constatando-se que as médias do índice de reflexão em função da posição de projeção diferem estatisticamente e apontam para diferença da projeção horizontal em relação às outras posições.

Já em relação à análise do teor de sílica e índice de reflexão, a comparação de médias evidenciou que estatisticamente existe diferença entre a mistura sem sílica e as misturas com sílica. O teor de sílica tem uma equivalência financeira direta e pelos valores observados, não há diferença entre adotar o teor de 5%, 10% ou 15%. Noutras palavras, existe diferença estatística entre utilizar ou não utilizar sílica, porém ao se decidir pela utilização os valores observados não evidenciaram vantagem em um maior teor. Ratificando outros resultados da literatura, a adição de sílica contribui de forma positiva para redução do índice de reflexão.

Buscando em outros estudos já realizados sobre o tema, foi construída a Tabela 10 onde são apresentados vários estudos do índice de reflexão de concreto projetado por via seca. Os valores apresentados na Tabela 10 evidenciam a variabilidade dos dados presentes na literatura, cuja confirmação ocorre neste trabalho. O maior valor constante na tabela é praticamente 10 (dez) vezes superior ao menor dos valores.

O registro de Armengaud et al (2017) apresenta certa similaridade numérica com os dados apresentados neste trabalho e em uma análise aprofundada nos leva a consideração que além da similaridade numérica, existe certa relação entre as grandezas estudadas, vez que aquele trabalho, de maneira sucinta, busca relacionar características do concreto fresco, projetado por via seca, com o índice de reflexão. Na presente pesquisa, além de algumas características do concreto fresco, também são evidenciadas características do concreto endurecido, enfatizando-se o diferencial concernente a posição de projeção.

Figueiredo (1992) dedicou atenção considerável ao ângulo de projeção, utilizando naquela oportunidade aditivos a base de aluminatos e carbonatos e o concreto projetado por via semiúmida, vez que a adição de água ocorria cerca de 5m

antes do bico de projeção. Focando no índice de reflexão, tal autor registrou valores oriundos da literatura cuja oscilação ocorreu entre 10 e 50% para concreto projetado por via seca. Já os experimentos desenvolvidos por Figueiredo (1992) conduziram a valores de perda de agregados que oscilaram entre 18,67% e 43%. Atenção deve ser dedicada a separação das grandezas citadas, quais sejam a reflexão e a perda de agregados, cujas formas de obtenção são distintas apesar de os valores numéricos serem semelhantes. Outro ponto de destaque do trabalho citado é a conclusão de que a placa horizontal obteve características superiores a placa vertical, o que se configura em um contraponto ao observado neste trabalho. Argumenta o autor que se mantidas as mesmas condições de projeção para as três situações (placa horizontal, placa inclinada e placa vertical) o concreto projetado na vertical é no mínimo equivalente ao projetado na horizontal, utilizando-se aditivo a base de aluminato e é superior quando se utiliza aditivo a base de carbonatos.

Tabela 10 – Índice de reflexão de outros estudos de concreto projetado por via seca.

Referência	Índice de reflexão (%)	Situação de projeção
BINDIGANAVILE et al, 2009	10 a 24	Não evidenciada
PFEUFFER et al, 2001	12 a 55	Não evidenciada
KAUFMANN et al, 2013	7,8 a 11,6	Não evidenciada
ARMENGAUD et al, 2017	17 a 40	Não evidenciada
FIGUEIREDO, 2011	8,3 a 22,5	Não evidenciada
ARMELIN, 1997	36 a 74	Não evidenciada
MENESES, 2011	10 a 15	Não evidenciada
HIGA et al, 2002	28,5	Não evidenciada
SILVA, 1993	19 a 51	Não evidenciada
GASPARIM, 2007	15	Não evidenciada
Esta pesquisa	21,1 a 35,3	Projeç. vertical
Esta pesquisa	21,7 a 35,3	Projeç. inclinada
Esta pesquisa	17,9 a 27,6	Projeç. horizontal
Esta pesquisa	17,9 a 35,3	Não evidenciada

Fonte: Elaborada pelo autor.

No presente trabalho, nem é empregado aditivo a base de aluminato, tampouco aditivo a base de carbonato, sendo utilizada a sílica ativa. Também não se trabalhou com concreto projetado por via semiúmida, mas sim com concreto por via seca. Tal divergência de conclusões pode ser atribuída a inúmeros fatores (vários deles se não a sua totalidade) citados no trabalho de Figueiredo (1992). Destaca-se que o aditivo aplicado foi distinto, os traços utilizados são diferentes dos empregados neste trabalho, além dos equipamentos e mão de obra. Os agregados constituintes da mistura também são diferentes. Por fim, porém não menos importante, deve-se considerar que tanto aquele estudo quanto este, não devem ser considerados como conclusivos ou inquestionáveis dada a elevada variabilidade do material objeto do estudo (concreto projetado) e todas as divergências já apontadas, restando o entendimento que a depender do volume de projetado a se trabalhar, deve-se buscar a sua completa caracterização, retratando da maneira mais fiel possível as condições em que será utilizado, apenas assim se terá um conhecimento mais acertado sobre o material em uso.

Silva (1993) estudando a aplicação de microssilica ao concreto projetado evidenciou que utilização de tal material melhorou várias características, dentre elas o índice de reflexão que foi reduzido até pela metade. Na presente pesquisa também se ratifica a melhoria de características com a utilização da sílica, inclusive redução do índice de reflexão.

Ratificando os dados observados por Morgan (1986) pode-se afirmar que a adição de sílica ativa melhora influência positivamente nas características do concreto projetado na medida em que aumenta a coesão e a aderência. É importante salientar que essa característica se reverte em aumento da produtividade, com consequências positivas da ordem econômica (SILVA, 1993).

Os benefícios advindos do acréscimo da sílica são oriundos principalmente da sua capacidade de aumentar o consumo de água mantendo a consistência da mistura praticamente estável (ARMENGAUD et al, 2017). Para o concreto projetado, isso significa que mais água pode ser adicionada antes de atingir a consistência desejável. Os estudos de PFEUFFER et al (2001) evidenciaram que este maior teor de água incrementou a camada plástica formada pelo aglutinante no início da projeção, favorecendo a adesão do material e diminuindo assim a reflexão.

- CONSISTÊNCIA COM AGULHA DE PROCTOR

Na Tabela 11 é apresentada análise de variância da consistência com agulha de Proctor sendo evidenciado que estatisticamente nenhuma variável independente influenciou de forma significativa o comportamento da consistência. Dada a não significância, não foi aplicada comparação das médias.

Tabela 11 - Análise de variância da consistência com agulha de Proctor.

Fator	GL	SQ	MQ	Teste F	Valor P	F Critico	Significância
Traço do concreto	1	2604,200	2604,200	3,420	0,082	45,440	NS
Teor de sílica	2	412,500	137,500	0,181	0,908	3,095	NS
Posição de Projeção	3	900,000	450,000	0,591	0,565	6,027	NS
Erro	17	12945,800	761,500				
Total	23	16862,500					

Fonte: Elaborada pelo autor. Legenda: GL – Grau de liberdade; SQ – Soma quadrada; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

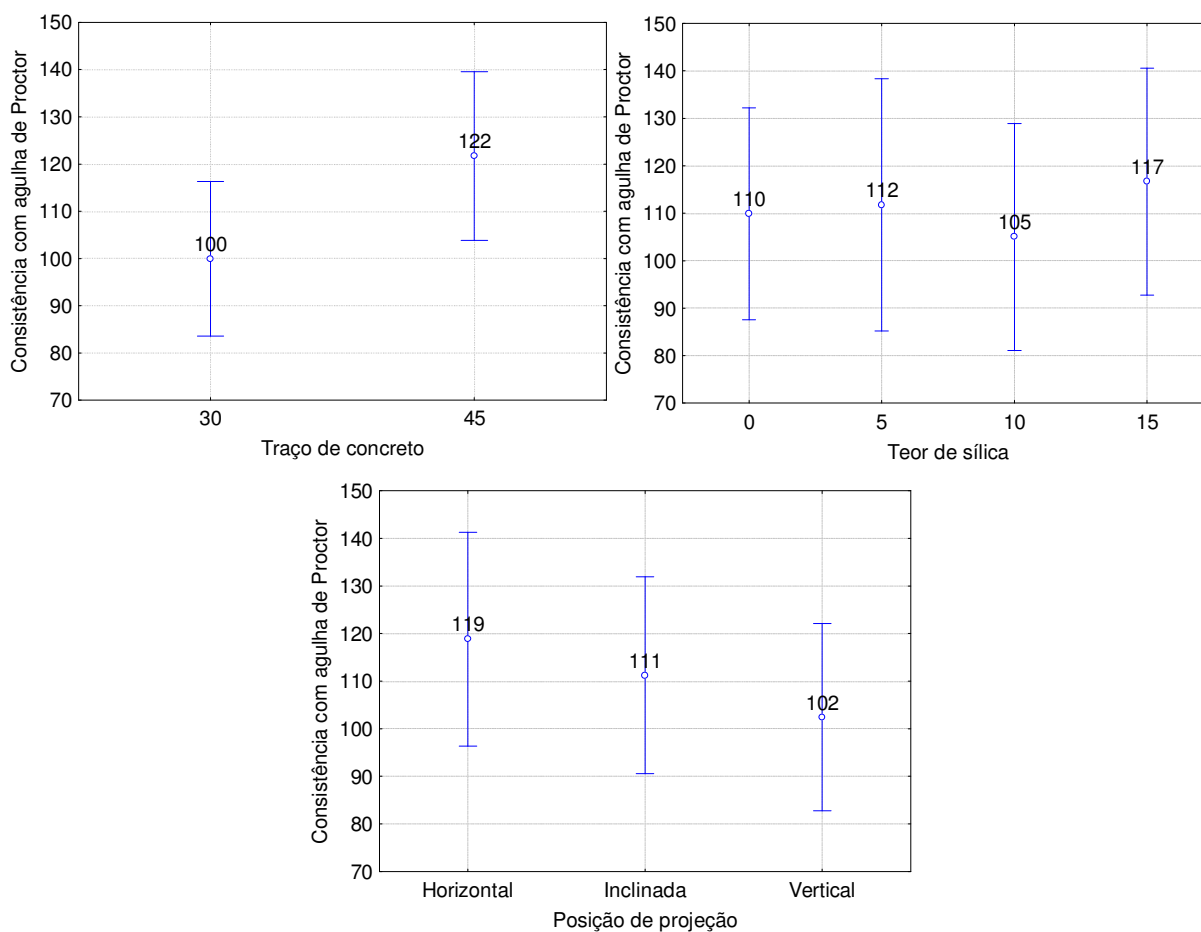
Na figura 15 é apresentado comportamento da consistência com agulha de Proctor em função das variáveis independentes.

A medição do índice de consistência com a Agulha de Proctor foi um dos experimentos com maior aproveitamento dentre os realizados pois, além de contribuir para o enriquecimento de dados da literatura, servir para caracterização das misturas estudadas e sua consequente discussão, ainda foi de grande valia para a empresa que proporcionou a realização dos ensaios, assim como para os operários envolvidos em tal atividade.

Tal percepção por parte dos atores advém do fato que a medição da consistência com a Agulha de Proctor se configura em um ensaio de fácil execução e que traz informações valiosas sobre o estado fresco do concreto projetado, cuja interpretação leva a predição de características importantes do concreto endurecido.

Os resultados da consistência apurados com a agulha de Proctor nada mais são que a medida da deformação de uma mola quando pressionada contra a superfície de contato, ou seja, trata-se de uma medida de resistência.

Figura 15 - Comportamento da consistência com agulha de Proctor em função das variáveis independentes.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A consistência pode ser afetada de forma direta pelo teor de água da mistura, podendo-se afirmar que quão menor o teor de água, tende-se a ter maior consistência e quão maior o teor de água tende-se a ter menor consistência.

FIGUEIREDO (1992) encontrou valores que oscilaram de 89 a 110 para os mesmos ensaios nas diferentes posições de projeção. Novamente os resultados ali registrados divergem da amostra ora apresentada, sendo que naquele estudo a placa horizontal teve o maior valor, seguida pela placa vertical e em seguida a placa inclinada, ou seja, a placa inclinada apresentou a menor das consistências.

Em relação ao teor de sílica, as médias apresentam comportamento tão semelhante sendo possível arriscar que neste quesito a maior quantidade de sílica não afetou o comportamento das misturas. Sob este aspecto não seria economicamente viável a adição de sílica vez que se trata de material oneroso e que não proporcionou melhoria nas características.

Não é possível evidenciar em função dos resultados colhidos que a adição da sílica contribui para uma maior consistência.

- UMIDADES DA MISTURA ANTES E APÓS A PROJEÇÃO

A relação água aglomerante é importantíssima para qualidade final da mistura, influenciando diretamente a sua resistência mecânica, além de outras características. Nesse contexto, foram efetuadas leituras da umidade do material que alimentou a máquina de projeção e do material projetado, sendo apresentada análise de variância dos dados na Tabela 12.

Tabela 12 – Análise de variância da umidade do material que alimentou a máquina de projeção e do material projetado.

Material que alimentou a máquina de projeção							
Fator	GL	SQ	MQ	Teste F	Valor P	F Critico	Significância
Traço do concreto	1	0,156	0,156	0,127	0,726	45,440	NS
Teor de sílica	2	2,979	0,993	0,807	0,507	3,095	NS
Posição de Projeção	3	0,801	0,400	0,325	0,727	6,027	NS
Erro	17	20,922	1,231				
Total	23	24,857					
Material projetado							
Fator	GL	SQ	MQ	Teste F	Valor P	F critico	Significância
Traço do concreto	1	0,436	0,436	0,258	0,618	45,440	NS
Teor de sílica	2	3,008	1,003	0,593	0,628	3,095	NS
Posição de Projeção	3	1,802	0,901	0,533	0,596	6,027	NS
Erro	17	28,737	1,690				
Total	23	33,983					

Fonte: Elaborada pelo autor. Legenda: GL – Grau de liberdade; SQ – Soma quadrada; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

Nas Figura 16 e 17 são apresentadas as tendências de comportamento da umidade da mistura antes e após projeção em função das variáveis independentes

Percebe-se pela Tabela 12 que estatisticamente a umidade antes e após a projeção não são influenciadas de forma significativa pelas variáveis independentes o

que guarda consonância com o fenômeno físico na medida que a proporção da mistura, o teor de sílica ou a posição de projeção não se relacionam ou interferem na quantidade de água presente na mistura antes da projeção ou mesmo na quantidade de água adicionado pelo mangoteiro.

Atenção especial deve ser dada a evidência estatística de que a quantidade de aglomerante (traço de concreto e teor de sílica) não foi fator significativo para determinar a quantidade de água utilizada na mistura. Tal situação pode ser explicada em parte pelo não manuseio manual do material pelos operários o que, conforme já registrado, relega a segundo plano a discussão sobre trabalhabilidade da mistura e se o operário não demanda certo nível de trabalhabilidade, realmente não há que se falar em ajuste da quantidade de água em função da quantidade de aglomerante.

Silva (1993) trabalhando com projetado via seca e testando a dição de diferentes teores de sílica e aditivos, observou valores de relação entre água e materiais secos que oscilou de 8,9 a 12.6%. Tais valores são ratificados pelos índices assistidos no presente estudo.

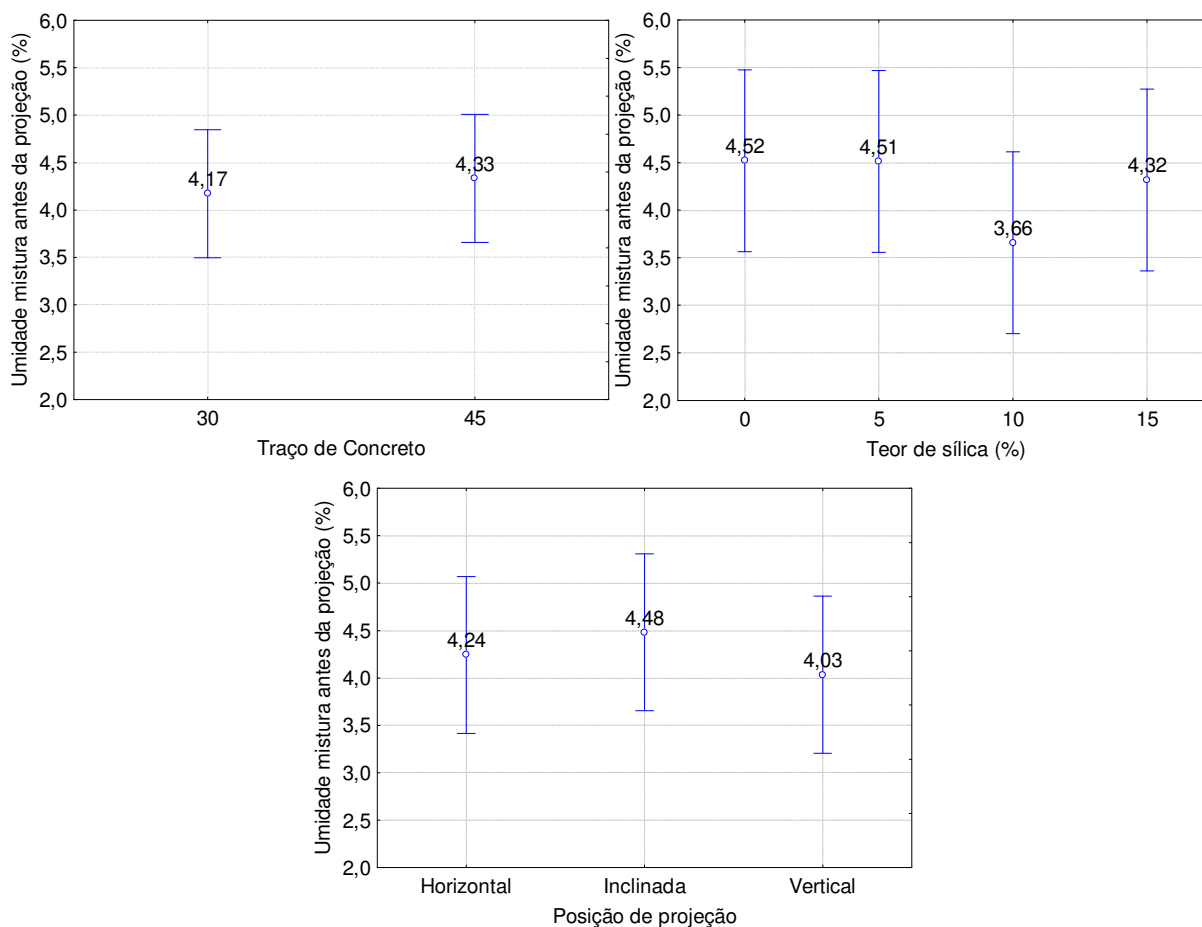
A coleta de valores da umidade antes da projeção ocorre no momento de alimentação da máquina, não havendo que se falar em oscilação em função das variáveis independentes. Pondera-se, no entanto, que caso existisse uma elevada oscilação dos valores, poder-se-ia ter uma situação de interferência de tal fator no comportamento da mistura, notadamente uma hidratação inicial do cimento que levasse a, por exemplo, problemas de entupimento do mangote ou similar. Tais questões não foram observadas em nenhum momento das 24 (vinte e quatro) projeções realizadas, não sendo possível observar nenhum efeito evidente da presença de tal umidade nas misturas.

A comparação dos valores apresentados por todas as misturas não conduz a evidência numérica que tenha suporte em explicação física do fenômeno ou em evidência estatística, em outras palavras, os números não conduzem a muitas constatações além do fato de a umidade do material que alimenta a máquina ser praticamente constante e oscilar próximo aos 4,5%.

Os resultados apurados para a umidade das misturas após a projeção, diferentemente da umidade pré-projeção, teoricamente podem ser influenciados pela composição da mistura, pelo índice de reflexão e até pela posição de projeção. Outrossim, os resultados do ensaio da consistência com agulha de Proctor podem ser considerados indicativos da umidade presente na amostra vez que se pode afirmar

com certa consistência que quão maior a umidade da mistura, menor a sua resistência, em outras palavras, quanto maior for o fator água/cimento, maior será o índice de vazios da mistura e, por conseguinte, menor a sua resistência mecânica.

Figura 16 - Comportamento da umidade da mistura antes da projeção em função das variáveis independentes.



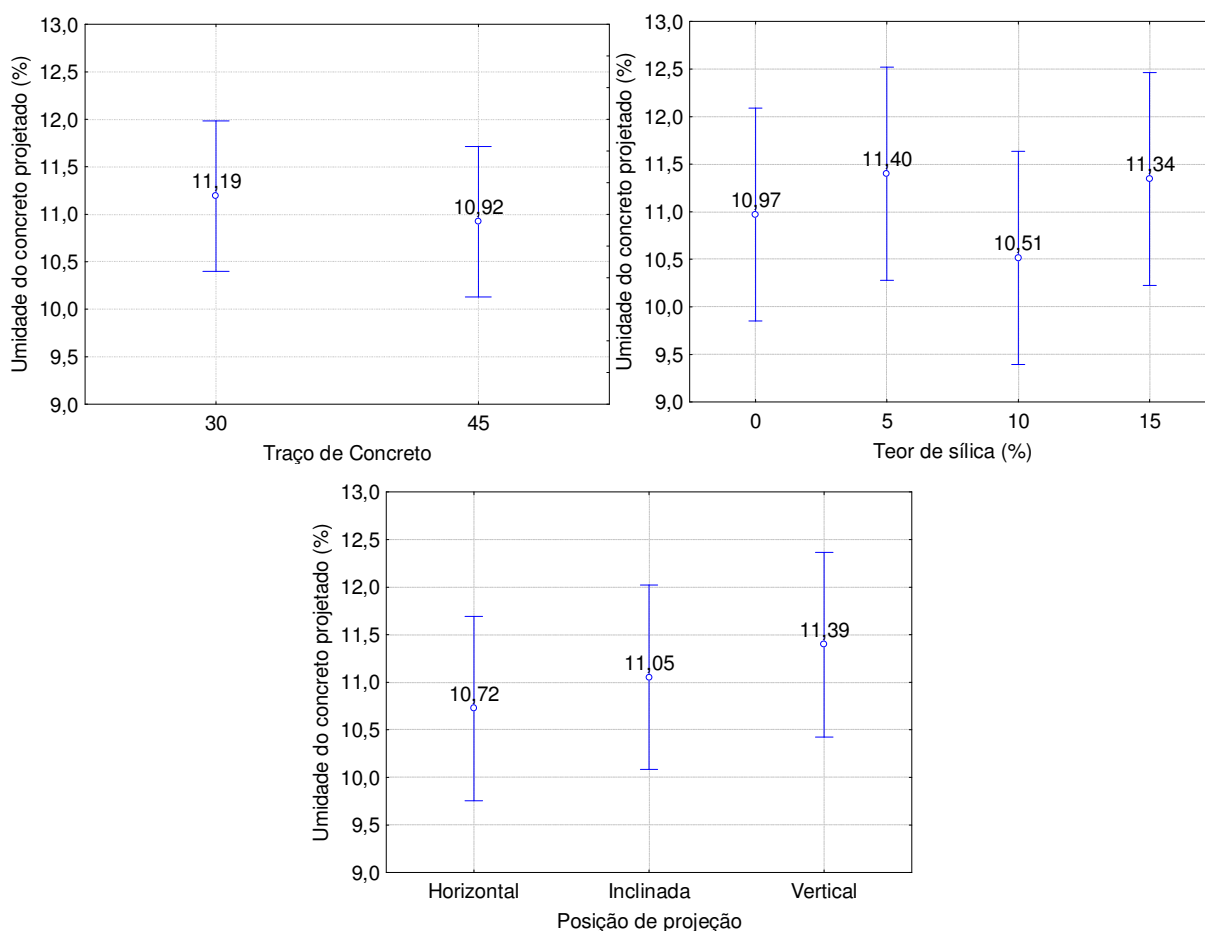
Fonte: Elaborada pelo autor.

Considerando que a umidade do material que alimenta a máquina de projeção oscilou pouco, pode-se afirmar que o mangoteiro realiza um controle da quantidade de água no concreto projetado de tal sorte que a umidade das misturas é bem similar. Tal controle ocorre basicamente através da inspeção visual contínua realizada pelo operário. Quando se acrescenta uma grande quantidade de água na mistura, ocorre um escoamento do material na superfície de projeção, lubrificado em face da elevada quantidade de água. Já quando se tem uma baixa quantidade de

água, se observou uma elevação sensível da reflexão do material, ou seja, se a quantidade de água não estiver em torno de um valor tido como ótimo, o material não ficará aderido à superfície. Tal comportamento também é registrado por Figueiredo (1992) ao afirmar que a quantidade de água não pode exceder valores que fluidifiquem a mistura.

Outro aspecto norteador para a umidade após projeção foi a coleta de dados da consistência realizada com a Agulha de Proctor. Tal coleta ocorreu na presença e com a cooperação dos operários que realizaram a projeção. Logo na primeira medição percebeu-se que caso a mistura fosse rica em água, tal fato seria percebido no momento de medição da consistência, vez que um comportamento possível para a mistura é apresentar baixa consistência com elevada umidade. Tal situação provavelmente contribuiu para que o mangoteiro passasse a ter maior atenção no processo de regulação da água adicionada ao concreto.

Figura 17 - Comportamento da umidade da mistura projetada em função das variáveis independentes.



Fonte: Elaborada pelo autor.

- RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Após tratativa dos ensaios no estado fresco, passa-se a discorrer sobre os ensaios do estado endurecido, começando pela resistência a compressão, que foi aferida em três idades distintas, quais sejam 7, 28 e 540 dias. Os ensaios de resistência a compressão em três idades distintas poderão enfatizar a alteração de tal característica em função do tempo.

Nas tabelas 13, 14 e 15 são apresentadas as análises de variância da resistência a compressão nas três idades objeto de estudo. Nas figuras 18, 19 e 20 são apresentados gráficos que evidenciam o comportamento das misturas em função das variáveis independentes.

Da ANOVA constante das tabelas 13, 14 e 15, percebe-se que para a observação aos sete dias todas as variáveis independentes influenciaram de forma significativa a resistência, já para o conjunto de dados aos vinte e oito dias, o teor de sílica não influenciou de forma significativa o resultado. Tratando da resistência aos 540 dias, nenhuma variável independente interferiu significativamente no comportamento.

Aplicado o teste de comparação das médias, tem-se que a resistência aos sete dias em função do traço é distinta para os dois conjuntos de misturas, já em relação ao teor de sílica, tem-se que as misturas 0, 5 e 10% não diferem entre si ao nível de 5%, noutro conjunto, têm-se que as misturas 5, 10 e 15% não diferem, ou seja, pode-se cravar que a mistura 0% é diferente da mistura 15%.

Tabela 13 - Análise de variância da resistência a compressão aos sete dias.

Fator	GL	SQ	MQ	Teste F	Valor P	F Critico	Significância
Traço do concreto	1	633,38	633,38	63,807	0,000000	45,440	S
Teor de sílica	2	120,33	40,11	4,041	0,024403	3,095	S
Posição de Projeção	3	323,74	161,87	16,307	0,000111	6,027	S
Erro	17	168,75	9,93				
Total	23	1246,19					

Fonte: Elaborada pelo autor. Legenda: GL – Grau de liberdade; SQ – Soma quadrada; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

Tabela 14 – Análise de variância da resistência a compressão aos vinte e oito dias.

Fator	GL	SQ	MQ	Teste F	Valor P	F Critico	Significância
Traço do concreto	1	673,00	673,00	85,735	0,000000	45,440	S
Teor de sílica	2	47,33	15,78	2,010	0,150775	3,095	NS
Posição de Projeção	3	150,55	75,28	9,589	0,001629	6,027	S
Erro	17	133,45	7,85				
Total	23	1004,33					

Fonte: Elaborada pelo autor. Legenda: GL – Grau de liberdade; SQ – Soma quadrada; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

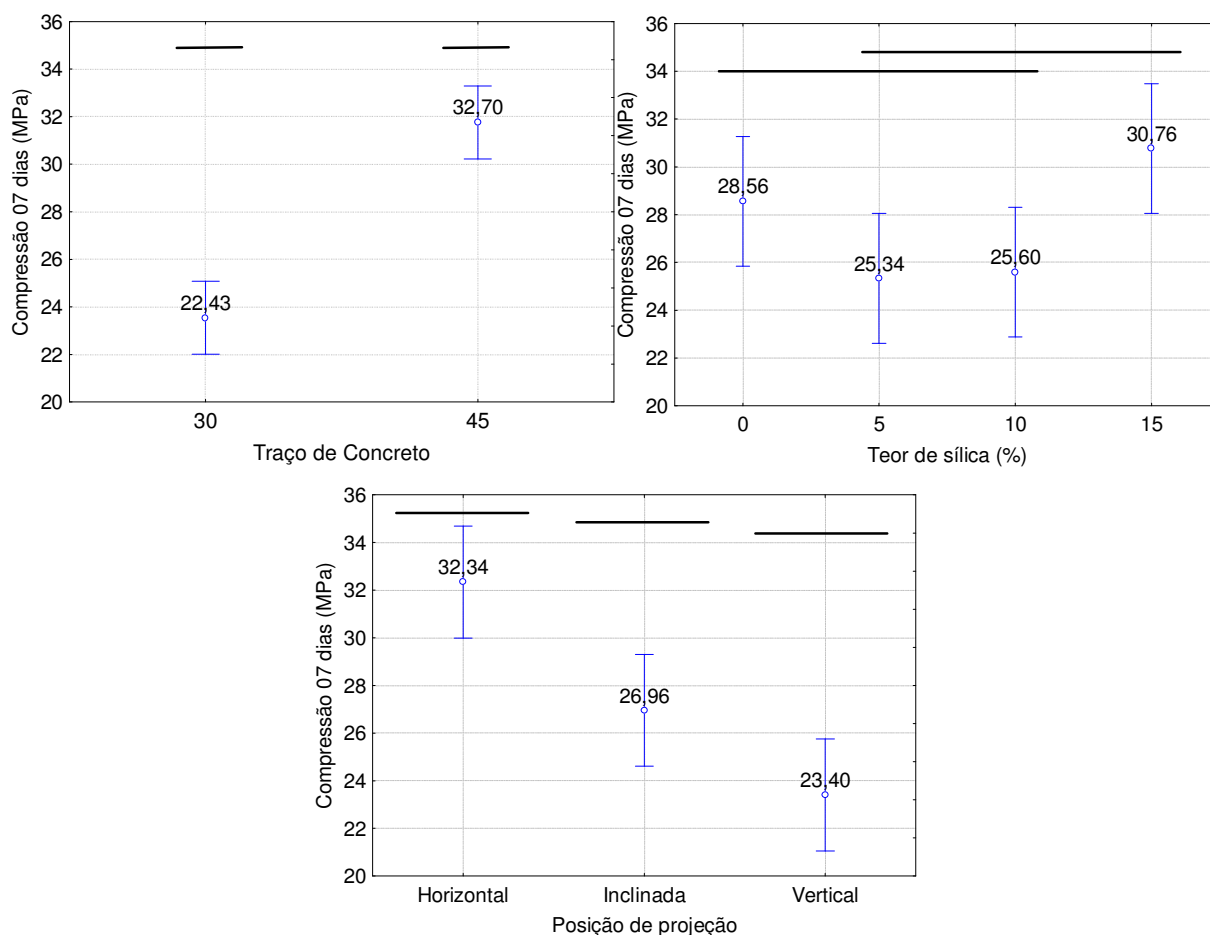
Tabela 15 - Análise de variância da resistência a compressão aos quinhentos e quarenta dias.

Fator	GL	SQ	MQ	Teste F	Valor P	F Critico	Significância
Traço do concreto	1	68,50	68,50	0,8426	0,371504	45,440	NS
Teor de sílica	2	315,12	105,04	1,2921	0,309245	3,095	NS
Posição de Projeção	3	146,98	73,49	0,9040	0,423552	6,027	NS
Erro	17	1382,05	81,30				
Total	23	1912,65					

Fonte: Elaborada pelo autor. Legenda: GL – Grau de liberdade; SQ – Soma quadrada; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

Figueiredo (1992) observou valores entre 16 e 17MPa aos 9 (nove) dias, sendo que a mistura na posição de projeção vertical apresentou o melhor comportamento, seguida pela projeção na horizontal e por fim a projeção inclinada. Novamente tal observação difere dos valores apurados neste estudo, podendo-se atribuir aos materiais empregados na presente pesquisa a diferença numericamente observada na resistência, notadamente tipo e teor do aditivo.

Figura 18 - Comportamento da resistência a compressão aos 07 (sete) dias em função das variáveis independentes.

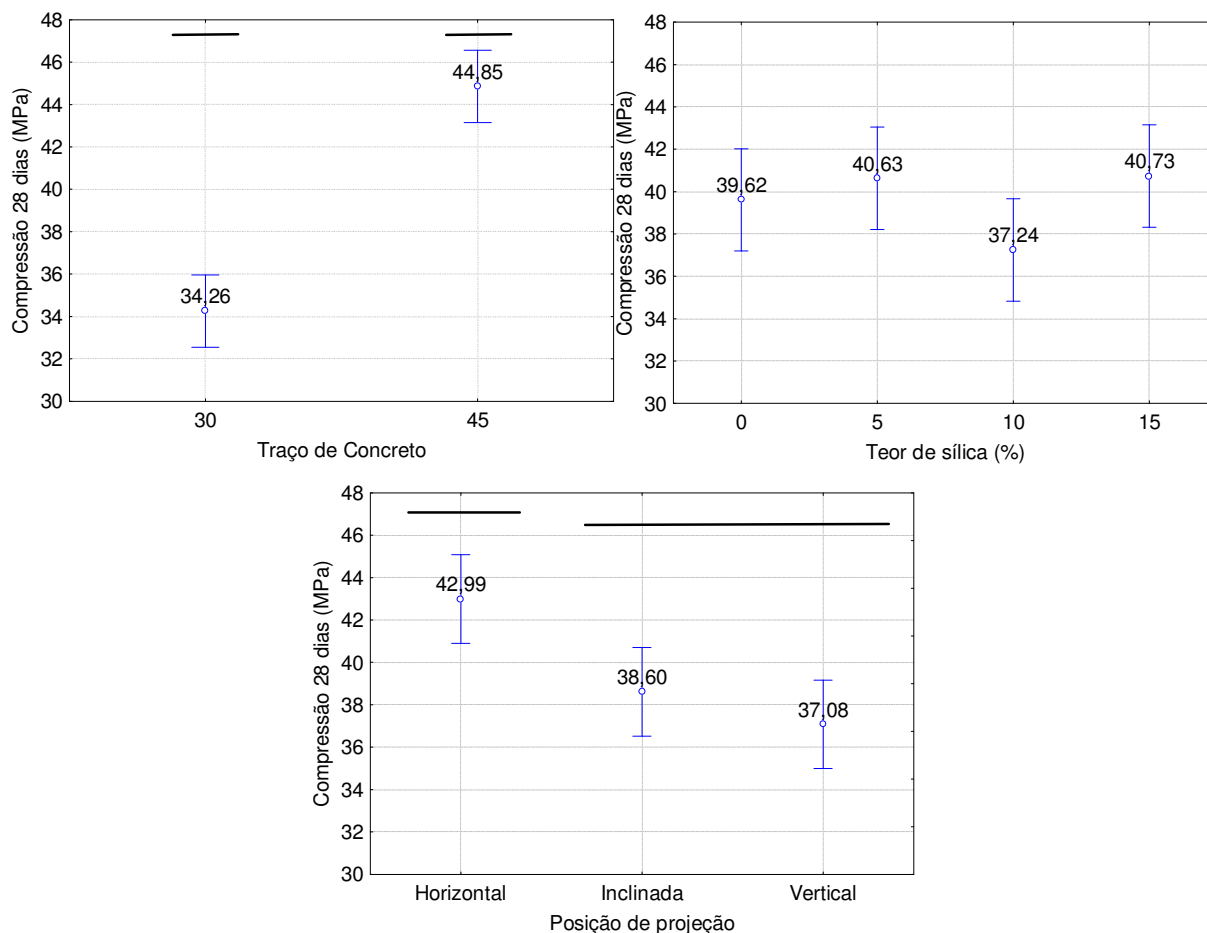


Fonte: Elaborada pelo autor. Médias sob o mesmo traçado horizontal não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%. Médias sem traçado se referem a situações em que a variável independente não exerce influência significativa sobre a variável dependente.

Em relação à posição de projeção, cada posição se refere a um conjunto distinto, ou seja, pelo teste de Tukey a média da posição inclinada difere da posição vertical e também da horizontal e entre si todas são distintas.

Pode-se enfatizar que a resistência declinou em função da posição de projeção, partindo de uma situação mais favorável, qual seja a projeção na horizontal, até uma posição menos favorável, qual seja a projeção na vertical. Pelo teste de Tukey, a média dos valores da projeção horizontal difere das médias para vertical e inclinada.

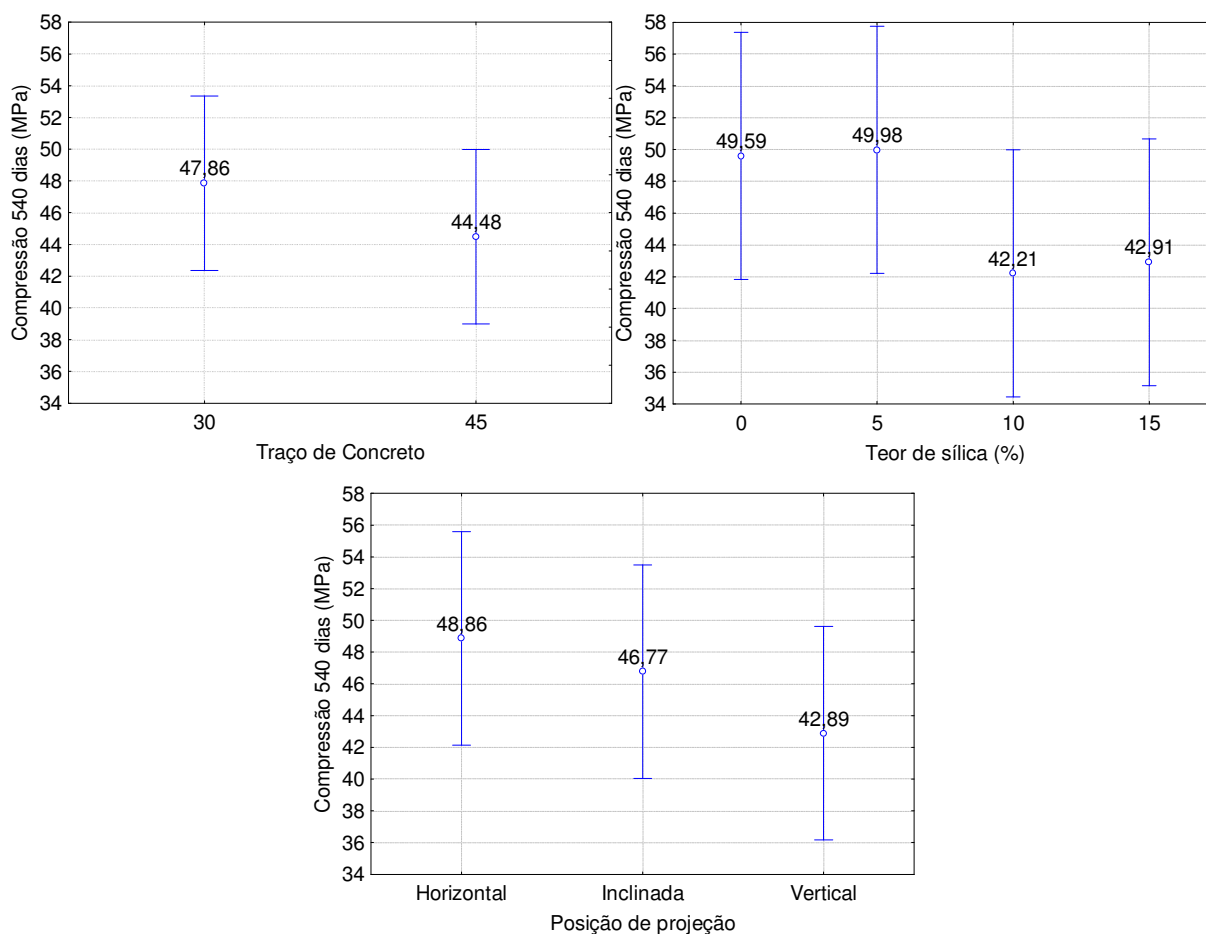
Figura 19 - Comportamento da resistência a compressão aos 28 (vinte e oito) dias em função das variáveis independentes.



Fonte: Elaborada pelo autor. Médias sob o mesmo traço horizontal não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%. Médias sem traço se referem a situações em que a variável independente não exerce influência significativa sobre a variável dependente.

Aos vinte e oito dias apenas o traço de concreto apresentou influência significativa e com o teste de Tukey é possível concluir que o comportamento das misturas com resistência prevista para 30MPa difere significativamente das misturas previstas para 45MPa.

Figura 20 - Comportamento da resistência a compressão aos 540 (quinhentos e quarenta) dias em função das variáveis independentes.



Fonte: Elaborada pelo autor.

- MÓDULO DE ELASTICIDADE

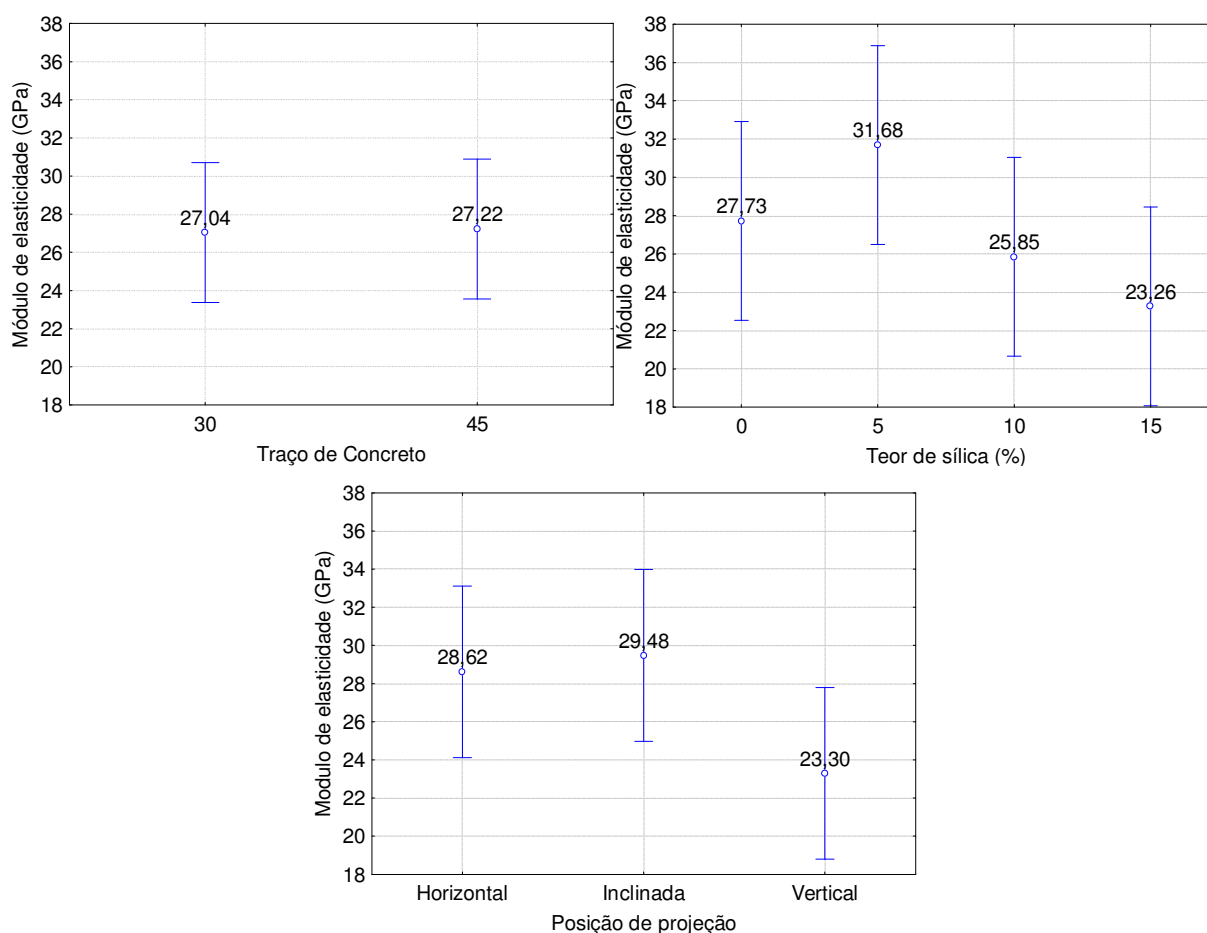
A análise de variância dos resultados do ensaio para determinação do módulo de elasticidade consta da Tabela 16, sendo evidenciada a não significância da influência das variáveis independentes sobre os resultados do módulo de elasticidade. Na figura 21 são apresentadas representações gráficas dos resultados obtidos. O módulo de elasticidades pode ser influenciado por vários fatores como o tipo, a forma, a textura e a proporção/quantidade dos agregados utilizados. Em relação a pasta de cimento, podem influenciar a resistência, a relação água cimento, a quantidade e a idade da mistura. Têm-se ainda a zona de transição podendo exercer interferência em face da porosidade, composição, idade e resistência.

Tabela 16 - Análise de variância do módulo de elasticidade.

Fator	GL	SQ	MQ	Teste F	Valor P	F Critico	Significância
Traço do concreto	1	0,19	0,19	0,0053	0,943044	45,440	NS
Teor de sílica	2	226,01	75,34	2,0726	0,141834	3,095	NS
Posição de Projeção	3	179,28	89,64	2,4661	0,114716	6,027	NS
Erro	17	617,93	36,35				
Total	23	1023,41					

Fonte: Elaborada pelo autor. Legenda: GL – Grau de liberdade; SQ – Soma quadrada; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

Figura 21 - Comportamento do módulo de elasticidade em função das variáveis independentes.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Dado que a ANOVA não evidenciou significativa influência das variáveis independentes sobre a variável resposta, não foi aplicada comparação das médias.

- RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA COMPRESSÃO DIAMETRAL

A ANOVA dos resultados de resistência a tração na compressão diametral (Tabela 17) evidenciou que o teor de sílica influenciou de forma significativa o comportamento da variável dependente.

Da análise gráfica (Figura 22) pode-se inferir que o acréscimo no teor de sílica eleva a resistência a compressão na tração diametral. Já a posição de projeção pode reduzir ligeiramente o valor, novamente tendo-se a pior situação na projeção vertical.

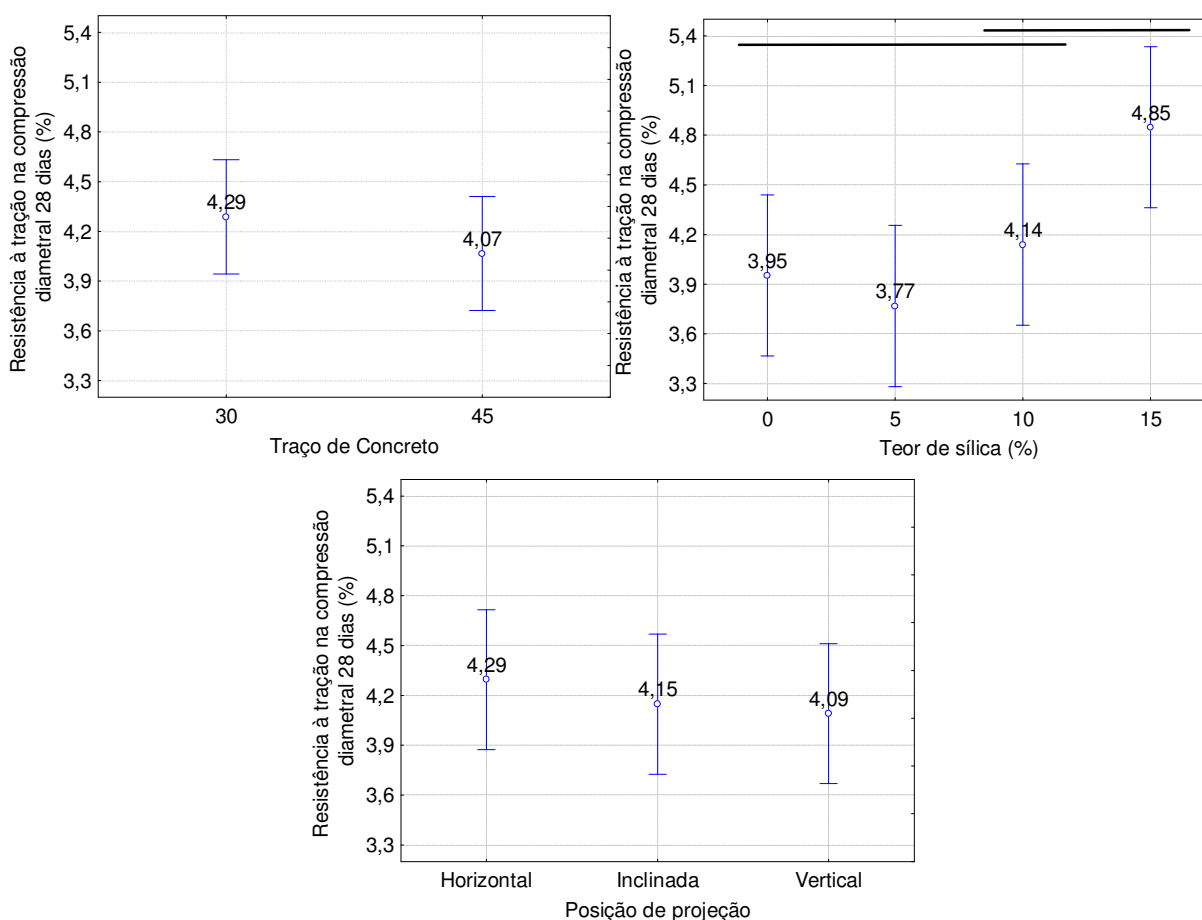
Tabela 17 - Análise de variância da resistência a tração na compressão diametral

Fator	GL	SQ	MQ	Teste F	Valor P	F Critico	Significância
Traço do concreto	1	0,2912	0,2912	0,912	0,353044	45,440	NS
Teor de sílica	2	4,0165	1,3388	4,192	0,021571	3,095	S
Posição de Projeção	3	0,1779	0,0890	0,279	0,760258	6,027	NS
Erro	17	5,4290	0,3194				
Total	23	9,91					

Fonte: Elaborada pelo autor. Legenda: GL – Grau de liberdade; SQ – Soma quadrada; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

O teste de Tukey evidenciou ainda que a absorção para teores de sílica de 0 a 10% estatisticamente é a mesma, já os valores obtidos para 10 e 15% também não diferem, repetindo comportamento já observado nos resultados anteriormente expostos, qual seja o fato que adicionar sílica (15%) conduz a redução da absorção por capilaridade quando se compara com mistura sem a adição de sílica.

Figura 22 - Comportamento da resistência a tração na compressão diametral em função das variáveis independentes.



Fonte: Elaborada pelo autor.

- ABSORÇÃO POR IMERSÃO

Na Tabela 18 é apresentada a ANOVA para os resultados obtidos na absorção por imersão no tempo de 24h. Apenas o teor de sílica apresentou influência significativa sobre a absorção por imersão.

Na Figura 23 são apresentadas representações gráficas dos resultados evidenciando que quão maior o teor de sílica, menor a absorção das misturas. O teste de Tukey evidenciou ainda não haver diferença entre utilizar 0 ou 5%. Noutro grupo tem-se os valores de 5 e 10%, em um terceiro grupo tem-se 10 e 15%, ou seja, adicionar sílica (15%) faz com que a absorção seja reduzida quando se compara com uma mistura sem sílica (0%).

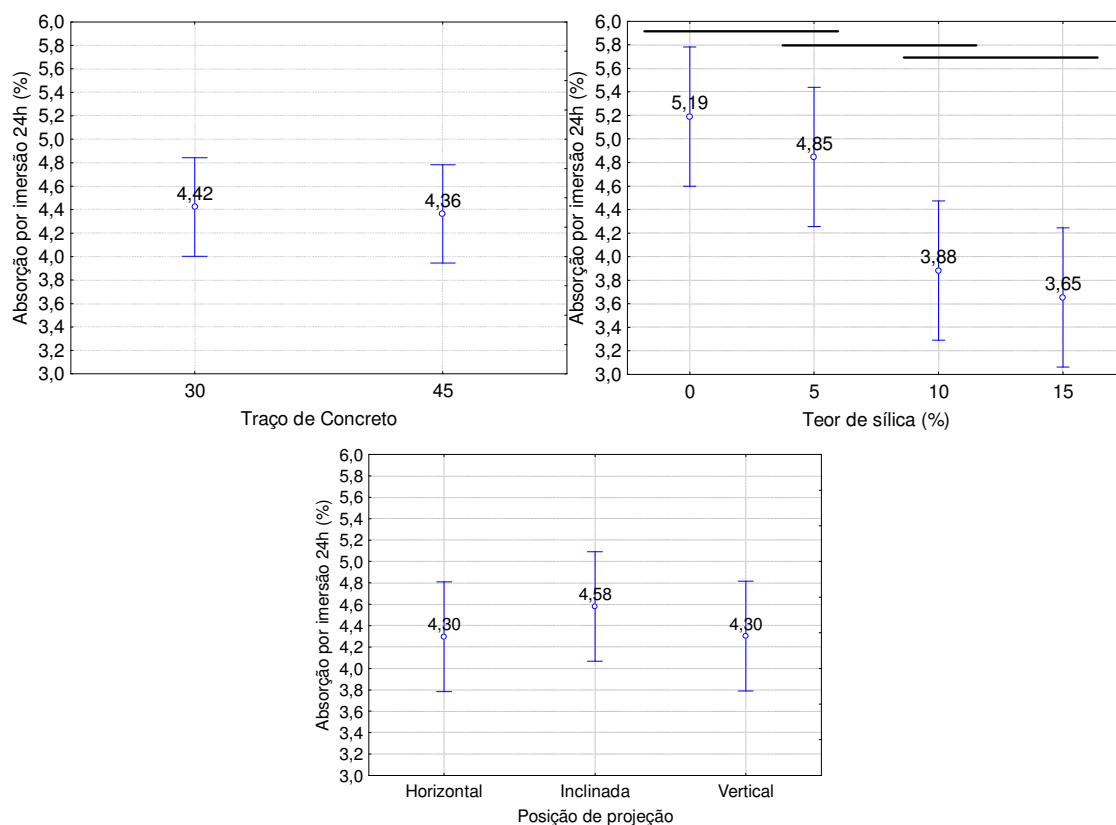
Os gráficos que representam a evolução das absorções por imersão em função do tempo são apresentados na Figura 24.

Tabela 18 -Análise de variância da absorção por imersão aos 1440 minutos.

Fator	GL	SQ	MQ	Teste F	Valor P	F Critico	Significância
Traço do concreto	1	0,0204	0,0204	0,0431	0,838052	45,440	NS
Teor de sílica	2	9,9025	3,3008	6,9816	0,002885	3,095	S
Posição de Projeção	3	0,4175	0,2088	0,4415	0,650213	6,027	NS
Erro	17	8,0374	0,4728				
Total	23	18,3777					

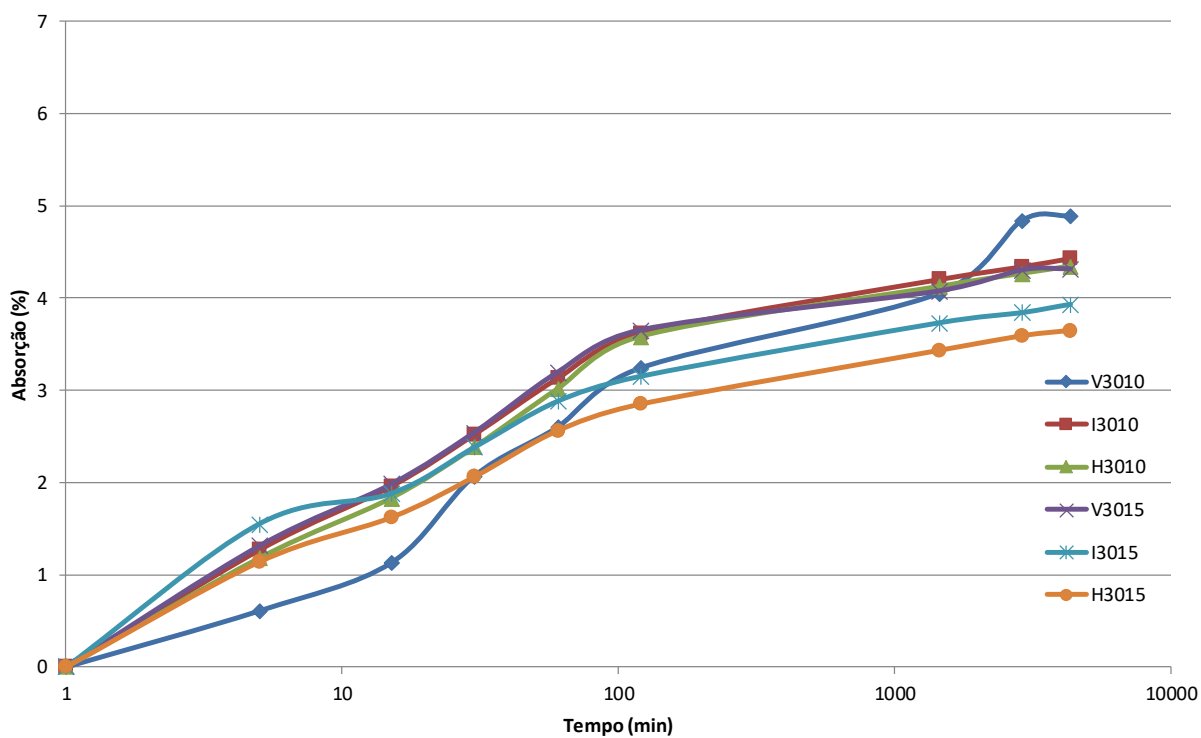
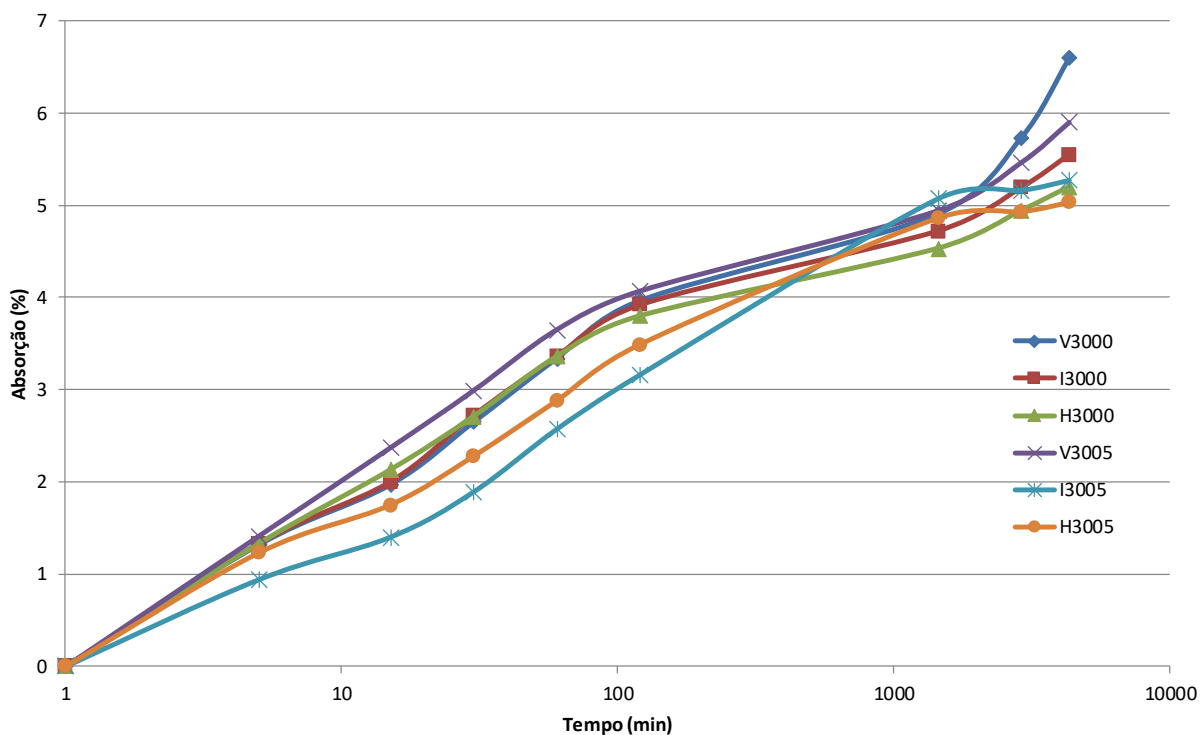
Fonte: Elaborada pelo autor. Legenda: GL – Grau de liberdade; SQ – Soma quadrada; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

Figura 23 – Comportamento da absorção por imersão após 24h em função das variáveis independentes.



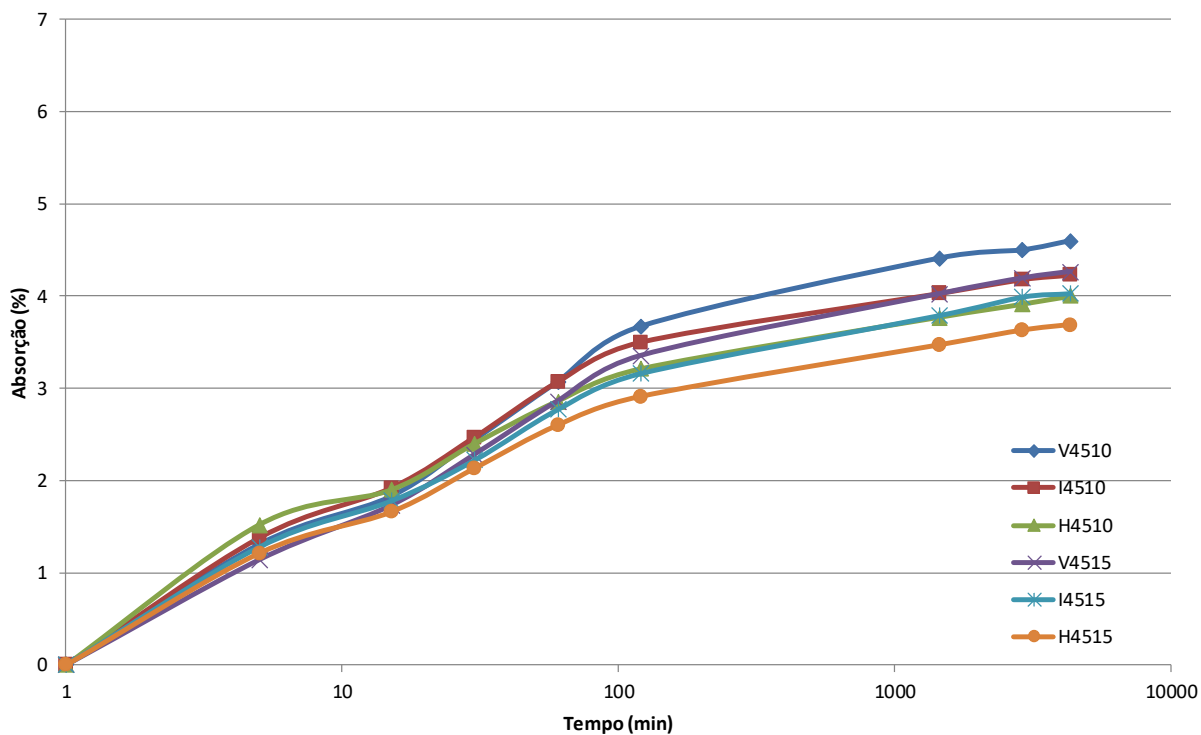
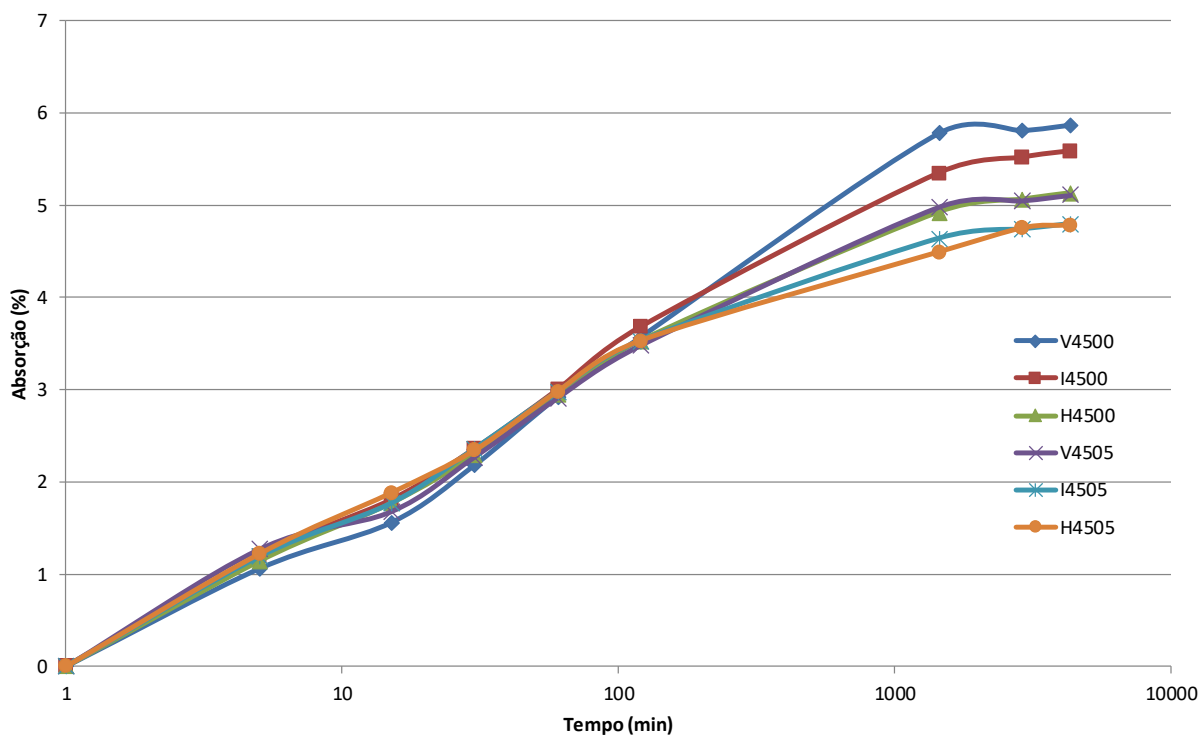
Fonte: Elaborada pelo autor. Médias sob o mesmo traçado horizontal não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%. Médias sem traçado se referem a situações em que a variável independente não exerce influência significativa sobre a variável dependente.

Figura 24 - Evolução da absorção por imersão em função do tempo.



Continua na próxima página...

...continuação da Figura 24.



Fonte: Elaborada pelo autor.

- *ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA*

Os valores de massa específica das misturas praticamente não oscilaram e nenhuma das variáveis independentes exerceu influência significativa sobre o seu comportamento (Tabela 19). Em face do relatado não foi construída representação gráfica para os resultados de massa específica, registrando-se que seus valores oscilaram entre 2,1 e 2,2 t/m³ para todas as misturas.

Na Tabela 20 têm-se a análise de variância do índice de vazios onde se verifica que apenas o teor de sílica apresentou influência. Registra-se que fatores vinculados a execução/aplicação do material possivelmente exercem maior influência sobre a variável ora comentada, observação que pode ratificar a constatação estatística citada.

Tabela 19 - Análise de variância da massa específica.

Fator	GL	SQ	MQ	Teste F	Valor P	F Critico	Significância
Traço do concreto	1	0,0000	0,0000	0,02	0,903661	45,440	NS
Teor de sílica	2	0,0060	0,0020	1,07	0,387224	3,095	NS
Posição de Projeção	3	0,0004	0,0002	0,12	0,890630	6,027	NS
Erro	17	0,0316	0,0019				
Total	23	0,0380					

Fonte: Elaborada pelo autor. Legenda: GL – Grau de liberdade; SQ – Soma quadrada; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

Tabela 20 - Análise de variância do índice de vazios.

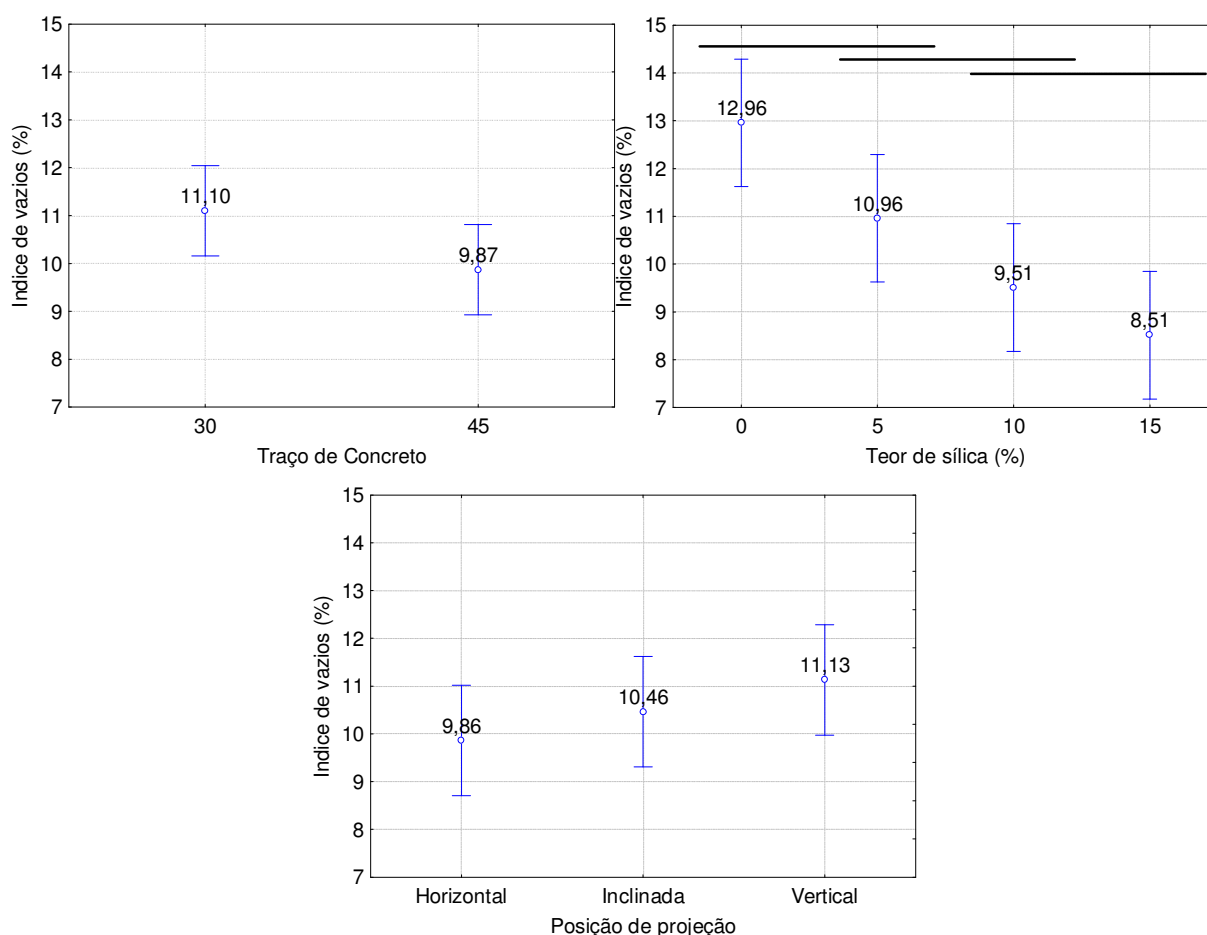
Fator	GL	SQ	MQ	Teste F	Valor P	F Critico	Significância
Traço do concreto	1	9,089	9,089	3,783	0,068500	45,440	NS
Teor de sílica	2	66,945	22,315	9,288	0,000730	3,095	S
Posição de Projeção	3	6,432	3,216	1,339	0,288468	6,027	NS
Erro	17	40,842	2,402				
Total	23	123,308					

Fonte: Elaborada pelo autor. Legenda: GL – Grau de liberdade; SQ – Soma quadrada; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

Da representação gráfica construída para a massa específica (Figura 25), têm-se que o traço de concreto apesar de não influenciar de forma significativa, aparentemente induziu uma redução dos vazios, doutra parte, as posições de projeção apresentaram comportamento semelhante ao constatado em outros ensaios, qual seja a projeção horizontal com melhor resultado, a projeção inclinada com valor intermediário e a projeção vertical com maior valor.

O teor de sílica, que estatisticamente influenciou de forma significativa os resultados apontou que quão maior o teor de adição, menor o índice de vazios, confirmando observações da literatura no sentido de que influencia de forma positiva várias características do concreto projetado, dentre elas o índice de vazios.

Figura 25 - Comportamento do índice de vazios em função das variáveis independentes.



Fonte: Elaborada pelo autor. Médias sob o mesmo traçado horizontal não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%. Médias sem traçado se referem a situações em que a variável independente não exerce influência significativa sobre a variável dependente.

- ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE

Os resultados da absorção por capilaridade têm a ANOVA apresentada na Tabela 21. Na figura 26 tem-se a representação gráfica dos valores médios observados.

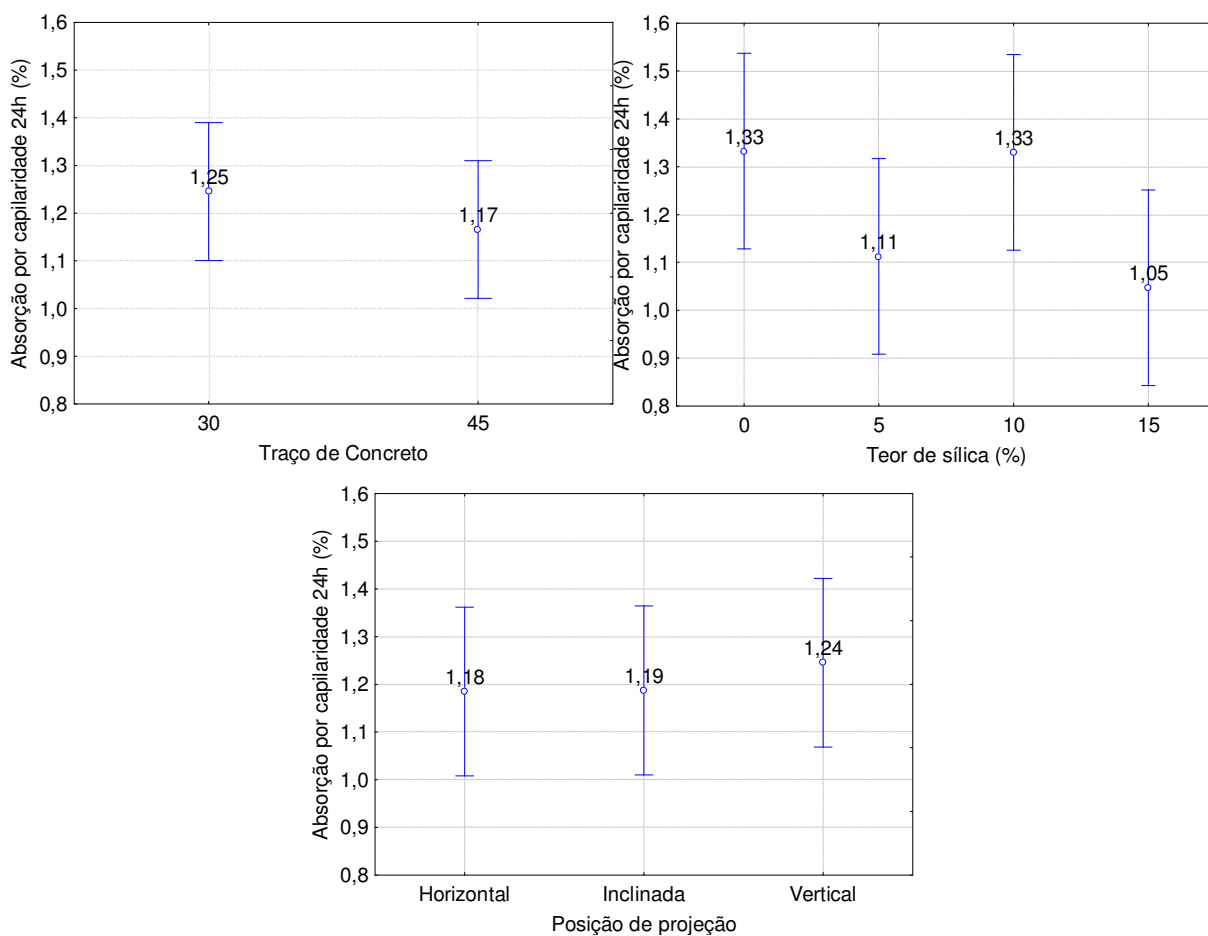
Tabela 21 – Análise de variância da absorção por capilaridade aos 1440 minutos

Fator	GL	SQ	MQ	Teste F	Valor P	F Critico	Significância
Traço do concreto	1	0,03815	0,03815	0,6781	0,421655	45,440	NS
Teor de sílica	2	0,39252	0,13084	2,3255	0,111192	3,095	NS
Posição de Projeção	3	0,01862	0,00931	0,1655	0,848843	6,027	NS
Erro	17	0,95647	0,05626				
Total	23	1,40576					

Fonte: Elaborada pelo autor. Legenda: GL – Grau de liberdade; SQ – Soma quadrada; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

A ANOVA demonstrou que nenhuma variável independente exerceu influência significativa sobre a absorção por capilaridade após 24 horas de exposição. Tratando da representação gráfica, têm-se que o traço de concreto pode ter contribuído para uma leve redução da absorção, enquanto que a posição de projeção apenas na situação vertical pode ter sido responsável por pequeno incremento. Em relação ao teor de sílica, o menor valor foi observado para as misturas com 15% de adição, cabendo as misturas sem sílica e com 10% de adição o maior valor médio, qual seja 1,33% de absorção por capilaridade. As misturas com 5% de adição apresentaram valor médio intermediário da ordem de 1,11%.

Figura 26 - Comportamento da absorção por capilaridade em função das variáveis independentes.



Fonte: Elaborada pelo autor.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÕES

Os resultados apresentados no item anterior foram explorados no intuito de se encaminhar para conclusões robustamente embasadas. Em tal contexto, a utilização da ANOVA se mostrou ferramenta eficaz e de elevada importância.

Pode-se registrar pelo discutido no presente trabalho que:

- A obtenção do índice de reflexão incorpora incertezas oriundas da mão de obra, materiais usados na coleta do *rebound*, tais como as lonas, e das ferramentas utilizadas na coleta e pesagem, de sorte que este índice apresenta-se com grande variabilidade;

- A utilização de sílica ativa como adição ao concreto projetado e a posição de projeção influenciam de forma significativa o índice de reflexão;

- A umidade da mistura que alimenta a máquina de projeção bem como a umidade da mistura que fica aderida à superfície de projeção não são influenciadas pelas variáveis independentes tratadas no presente estudo (traço, teor de sílica e posição de projeção);

- A resistência à compressão aos sete dias é influenciada de forma significativa por todas as variáveis independentes tratadas no presente estudo;

- As variáveis independentes não exerceram influência significativa sobre o comportamento do módulo de elasticidade das misturas;

- A adição da sílica melhora as propriedades do concreto projetado, notadamente reduzindo o índice de reflexão, a absorção por imersão e o índice de vazios. Proporciona ainda incremento na resistência à compressão e na tração por compressão diametral;

- A posição de projeção pode influenciar as propriedades do concreto projetado.

Por fim, conclui-se que a posição de projeção horizontal proporciona maior qualidade ao concreto projetado por via seca vez que suas características físicas e mecânicas apresentaram melhores resultados. A adição de sílica ativa além de melhorar as propriedades do concreto, reduz o índice de reflexão gerando menor

desperdício de materiais. De maneira geral, o traço de concreto não influenciou de forma significativas as variáveis estudadas.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O presente estudo experimental permitiu aprofundar o conhecimento sobre as propriedades do concreto projetado por via seca, utilizado sob diferentes condições de aplicação. Ao longo da realização deste estudo bem como após análise dos resultados dos ensaios, surgiram alguns pontos que podem ser explorados em trabalhos futuros:

- Avaliar a contribuição para o isolamento térmico e acústico do concreto projetado com adição de sílica ativa;
- Estudar parâmetros de durabilidade do concreto projetado por via seca, notadamente quanto a penetração de cloretos e carbonatação;
- Fazer avaliação e comparação dos custos relacionados ao índice de reflexão;
- Investigar a possibilidade de incorporação do material refletido como agregado em novas misturas de concreto projetado por via seca;
- Averiguar a interferência da granulometria, forma e textura dos agregados no comportamento do concreto projetado;
- Avaliar a possibilidade de utilização de agregado miúdo proveniente de britagem de rocha para fabricação do projetado por via seca.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 11579: Cimento Portland - Determinação da finura por meio da peneira 75 µm (nº200). Rio de Janeiro, RJ. 2012.

ABNT _____. NBR 11582: Cimento Portland - Determinação da expansibilidade Le Chatelier. Rio de Janeiro, RJ. 2016.

ABNT _____. NBR 13070: Moldagem de placas para ensaio de argamassa e concretos projetados. Rio de Janeiro, RJ, 2012.

ABNT _____. NBR 13317: Concreto projetado – Determinação do índice de reflexão por medição direta. Rio de Janeiro, RJ, 2012.

ABNT _____. NBR 13354: Concreto projetado: determinação do índice de reflexão em placas. Rio de Janeiro, RJ, 2012.

ABNT _____. NBR 13956: Sílica ativa para uso em cimento Portland, concreto, argamassa e pasta de cimento Portland - Especificação, Rio de Janeiro, 2012.

ABNT _____. NBR 14026: Concreto projetado - Especificação. Rio de Janeiro, RJ. 2012.

ABNT _____. NBR 14278: Concreto projetado — Determinação da consistência através da agulha de Proctor. Rio de Janeiro, RJ, 2012.

ABNT _____. NBR 16372: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (método de Blaine). Rio de Janeiro, RJ. 2015.

ABNT _____. NBR 16607: Cimento Portland — Determinação dos tempos de pega. Rio de Janeiro, RJ. 2017.

ABNT _____. NBR 5736: Cimento Portland pozolânico. Especificação. Rio de Janeiro, 1991.

ABNT _____. NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, RJ. 2007.

ABNT _____. NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, RJ. 1996.

ABNT _____. NBR 7222: Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, RJ. 2011.

ABNT _____. NBR 7680: Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, RJ, 2015.

ABNT _____. NBR 8522: Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, RJ. 2008.

ABNT _____. NBR 9616: Lonas de polietileno de baixa densidade para impermeabilização de reservatórios de água, de uso agrícola - Especificação. Rio de Janeiro, RJ. 1986.

ABNT _____. NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índices de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, RJ, 2009.

ABNT _____. NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, RJ, 2012.

ABNT _____. NBR NM 11-2: Análise química - Método optativo para determinação de óxidos principais por complexometria - Parte 2. Rio de Janeiro, RJ. 2012.

ABNT _____. NBR NM 15: Cimento Portland - Análise química - Determinação de resíduo insolúvel. Rio de Janeiro, RJ. 2004.

ABNT _____. NBR NM 16: Cimento Portland - Análise química - Determinação de anidrido sulfúrico. Rio de Janeiro, RJ. 2004.

ABNT _____. NBR NM 18: Cimento Portland - Análise química - Determinação de perda ao fogo. Rio de Janeiro, RJ. 2004.

ABNT _____. NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, RJ. 2003.

ABNT _____. NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, RJ. 2006.

ABNT _____. NBR NM 46: Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem. Rio de Janeiro, RJ. 2003.

AİTCIN, P. C. The durability characteristics of high performance concrete: a review, Cement and Concrete Composites. V. 25, p. 409–420, 2003.

ALHADAS, M. F. S.; CALIXTO, J. M.; FERREIRA, M. C. F., Estudo Comparativo das Propriedades Mecânicas de Concretos fabricados com Agregados Graúdos de diferentes origens mineralógicas. In: Congresso Brasileiro de Concreto, 51, 2009. Anais... IBRACON, 2009.

AMORIM, A. A. Durabilidade das estruturas de concreto armado aparentes. 2010. 74 p. Monografia (Especialização em construção civil) – Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte, 2010.

ARMELIN, H. & BANTHIA, N. Mechanics of aggregate rebound in shotcrete. *Materials and Structures*, 31, p. 91-98, 1998.

ARMELIN, H. S. Rebound and toughening mechanisms in steel fiber reinforced dry-mix shotcrete. Vancouver, Canada, 1997. 262p. Thesis (Doctor of Philosophy). Department of Civil Engineering. University of British Columbia, 1997.

ARMELIN, H. Steel fibre reinforced dry-mix shotcrete: fibre orientation and its effect on mechanical properties. In: *Proceedings 4th International Symposium on Fibre Reinforced Cement and Concrete*, Sheffield UK, p. 266–276, 1992.

ARMENGAUD, J., CASAUX-GINESTET, G., CYR, M., HUSSON, B., JOLIN, M. Characterization of fresh dry-mix shotcrete and correlation to rebound, *Construction and Building Materials*, Volume 135, p. 225-232, 2017.

AUSTIN, S.; PEASTON, C.; ROBINS, P. Material and fiber losses with fiber reinforced sprayed concrete. *Construction and Building Materials*, v. 11, p. 291-298, 1997.

AZEVEDO, M. T. Concreto: Ciência e Tecnologia, IBRACON, Cap. 31, p.1095 – 1128, V. 2, ed. Geraldo C. Isaia, São Paulo. 2011.

BANTHIA, N.; TROTTIER, J. F.; BEAUPRE, D. Steel fiber reinforced shotcrete: comparisons with cast concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, v. 6, n. 3, p. 430-437, 1994.

BANTHIA, N.; TROTTIER, J. F.; BEAUPRE, D.; WOOD, D. Influence of fiber geometry in steel fiber reinforced wet-mix shotcrete. *Concrete International*, v. 16, n.6, p. 27-32, 1994.

BARBOSA, M. A. L. Avaliação de Desempenho do Concreto Projetado via seca frente à ação de sulfatos. 2001, 141f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

BARDELLA, P. S.; BARBOSA, D. C. e CAMARINI, G. Sistemas de Cura em Concretos Produzidos com Cimento Portland de Alto-Forno com Utilização de Sílica Ativa. in: 1º Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto pré-moldado. 2005, São Carlos, Anais... Universidade de São Paulo. Disponível em:

<http://www.set.eesc.usp.br/1enpppcpm/cd/conteudo/trab_pdf/115.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2017.

BEAUPRE, D. Rheology of High Performance Shotcrete (Ph.D. Dissertation), University of British Columbia, Vancouver, Canada, 1994.

BEER, F. P.; JOHNSTON, E. R. Resistência dos materiais. São Paulo: Makron Books, 1996.

BILGIN, N., DINCER, T., COPUR, H. The performance prediction of impact hammers from Schmidt hammer rebound values in Istanbul metro tunnel drivages. *Tunnelling and Underground Space Technology*, v. 17, p. 237-247, 2002.

BINDIGANAVILE, V. BANTHIA. N. Effect of Particle Density on Its Rebound in Dry-Mix Shotcrete, *Journal of Materials in Civil Engineering*, Volume 21, No. 2, p. 58-64, 2009.

BINDIGANAVILE, V. BANTHIA. N. Fiber reinforced dry-mix shotcrete with metakaolin, *Cement and Concrete Composites*, Volume 23, Issue 6, p. 503-514, December 2001

BOSCOV, P., Shotcrete Development in Brazil, *Shotcrete for Underground Support VIII*, ASCE, p.1-15, 1999.

BURNS, D. Characterization of wet-mix shotcrete for small line pumping (M.Sc. Thesis), Laval University, Quebec, Canada, 2008.

CAMARINI, G. Caracterização da durabilidade do concreto pela absorção de água. In: 41^º Congresso Brasileiro do Concreto. 1999, Salvador, Anais... IBRACON, Salvador, 1999.

CAMPOS, A. M. da R. Estudo da agressividade do ar atmosférico de Fortaleza/Ce. 2016. 136f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

CÁNOVAS, M. F. Patologia e terapia de concreto armado. São Paulo: PINI, 1998.

CASTRO, A. L. de; LIBORIO, J. B. L.; PANDOLFELLI, V. C. A influência do tipo de cimento no desempenho de concretos avançados formulados a partir do método de dosagem computacional. *Cerâmica*, São Paulo, v. 57, n. 341, p. 10-21, Mar. 2011.

CHEN, J.; ZHAO, X.; LUO, Y.; DENG, X.; LIU, Q. Investigating freeze-proof durability of C25 shotcrete, *Construction and Building Materials*, v.61, p. 33–40, 2014.

CHEN, L., Liu, G. G.; CHENG, W.; PAN, G. Pipe flow of pumping wet shotcrete based on lubrication layer, *Springerplus*, v. 5, 945, 2016.

CHOI, P.; YEON, J. H.; YUN, K.-K. Air-void structure, strength, and permeability of wet-mix shotcrete before and after shotcreting operation: The influences of silica fume and air-entraining agent, *Cement and Concrete Composites*, Volume 70, p. 69-77, 2016.

CHOI, P.; YUN, K.-K.; YEON, J. H. Effects of mineral admixtures and steel fiber on rheology, strength, and chloride ion penetration resistance characteristics of wet-mix shotcrete mixtures containing crushed aggregates, *Construction and Building Materials*, volume 142, n. 1 July, p.376-384, 2017.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, H. C. Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio. *Boletim Técnico*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, n. 68, 1995.

DAL MOLIN, D. C. C..Adições minerais para concreto estrutural. In: Geraldo Isaia. (Org.). *CONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações*. 1ed. São Paulo: IBRACON, v. 1, p. 1-31, 2005.

DANIELSSEN, T. Dry shotcrete method with microsilica. Elkem a/s chemical reports. Noruega,7p, 1986.

DODDS, Wayne; GOODIER, Chris; CHRISTODOULOU, Christian; AUSTIN, Simon; DUNNE, David. Durability performance of sustainable structural concrete: Effect of coarse crushed concrete aggregate on microstructure and water ingress, *Construction and Building Materials*, Volume 145, issue 1, p. 183-195, August 2017.

DUFOUR, J.; TROTTIER, J. F.; FORGERON, D. Behaviour and performance of monofilament macro-synthetic fibres in dry-mix shotcrete. *Conference on Shotcrete Underground Support X*, 215, p. 194-205, 2006.

FALLAH, Saber; NEMATZADEH, Mahdi. Mechanical properties and durability of high-strength concrete containing macro-polymeric and polypropylene fibers with nano-silica and silica fume, *Construction and Building Materials*, Volume 132, issue 1, p.170-187, February 2017.

FIGUEIREDO, A. D. Concreto Projetado: fatores intervenientes no controle da qualidade do processo. 1992. 284f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

FIGUEIREDO, A. D. O controle indireto da energia de compactação do concreto projetado. In: *Anais do 53 Congresso Brasileiro do Concreto*, 2011, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: CBC, 2011.

FITESA. Uso de Fibras de polipropileno para reduzir a reflexão de concretos projetados. *Boletim Técnico da FITESA*, Gravataí, n 5, p. 1-2, 2003.

FRANÇA, Esdras Poty de. Tecnologia Básica do Concreto. In: Apostila Curso Engenharia de Produção Civil. Disciplina materiais de construção. CEFET. Belo Horizonte.p. 7-13, 2004.

FRANZÉN, Tomas. Shotcrete for rock support: a summary report on the state of the art in 15 countries, Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 8, Issue 4, p. 441-470, 1993.

FREITAS, C. Argamassas de revestimento com agregados miúdos de britagem da região metropolitana de Curitiba: propriedades no estado fresco e endurecido. 2010. 135 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Centro Politécnico, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

GARCIA, E.; CABRAL JUNIOR, M.; QUARCIONI, V. A.; CHOTOLI, F. F. Resíduo de Cerâmica Vermelha (RCV): Uma Alternativa como Material Pozolânico. *Creâmica Industrial*. v. 19, p. 31 – 38, 2014.

HELENE, P. Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto. São Paulo. Editora PINI. 1992.

HEMPHILL, Gary B. Practical tunnel construction. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA. 2013.

HIGA, A., GOULART, A de A. Comparativo entre aditivos aceleradores de pega para concreto projetado. Furnas CentraisElétricas, 2002.

ISHIDA, A., Shotcrete with high strength at early age, in: 10th International Conference on Shotcrete for Underground Support, Whistler, Canada, 2006.

ITA - International Tunnelling and Underground Space Association. Shotcrete for Rock support - a summary report on state of the art. ITA Report n°005, Longrine. Avignon, France. May 2010.

JOLIN, M.; BEAUPRE, D. Understanding wet-mix shotcrete: mix design, specifications, and placement, Shotcrete Summer, 6 - 12, 2003.

JOLIN, M.; BEAUPRÉ, D.; MINDESS, S. Tests to characterize properties of fresh dry-mix shotcrete, *Cement and Concrete Research* 29, 753-760, 1999.

KAUFMANN, J., FRECH, K., SCHUETZ, P. and MÜNCH, B. Rebound and orientation of fibers in wet sprayed concrete applications, *Construction and Building Materials*, Volume 49, p.15-22, 2013.

KIRCHHEIM, A. P.; SOMMER, L.; PASSUELO, A.; DAL MOLIN, D. C. C.; SILVA FILHO, L. C. P. Estudo da absorção capilar em argamassas de cimento portland branco estrutural com diferentes teores de adições pozolânicas in: X Encontro

Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC, 2004, São Paulo, Anais... ANTAC, São Paulo, 2004.

KOCHAL, N. U., TURKER, F. Effect of environmental conditions on the properties of concretes with different cement types, *Construction and Building Materials*, Volume 21, Issue 3, p. 634-645, 2007.

LANAS, J.; ALVAREZ-GALINDO, J. Masonry repair lime-based mortars: factors affecting the mechanical behavior, *Cement and Concrete Research*, volume 33, Issue 11, p. 1867-1876, 2003.

LEE, S.; KIM, D.; RYU, J.; LEE, S.; KIM, J.; KIM, H.; CHOI, M., An experimental study on the durability of high performance shotcrete for permanent tunnel support, *Tunnelling Underground Space Technol.* V. 21, p. 431–437, 2006.

LEUNG, C. K. Y.; LAI, R.; LEE, A. Y. F. Properties of wet-mixed fiber reinforced shotcrete and fiber reinforced concrete with similar composition, *Cement and Concrete Research* v. 35, n. 4, p. 788–795, 2005.

LIU, G.; CHENG, W.; CHEN, L. Investigating and optimizing the mix proportion of pumping wet-mix shotcrete with polypropylene fiber, *Construction and Building Materials*, Volume 150, n. 30, p. 14-23. September 2017.

MACIEL, L. L.; BARROS, M. M. S. B; SABBATINI, F. H. Recomendações para a execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação internas e exteriores e tetos. São Paulo, 1998.

MALHOTRA, V. M., CARINO, N. J. PenetrationResistanceMethods. In: *Handbook of non-destructive testing of concrete*. 2nd Ed. CRC Press, p.33-50, 2004

MARGALHA, G.; VEIGA, M. R.; BRITO, J. Influência das areias na qualidade de argamassas de cal aérea. *Actas do 2º Congresso Nacional de Argamassas da Construção*, Lisboa, APFA, 2007.

MARTIN, Juan Fernando Matias. Aditivos para Concreto. In: ISAIA, Geraldo Cechella. *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações*. São Paulo: Editora Ibracon, v. 1. Cap. 13, p. 381-406, 2005.

MARTINS, J. G.; ASSUNÇÃO, J. *Argamassas e Rebocos*. 3º ed. UFP, 2010

MEHTA, P.; MONTEIRO, Paulo J. *Concrete: microstructure, properties and materials*. 4th. ed. McGraw-Hill Education, 684p, 2014.

MENESES, A. D. B. e CASCUDO, O. Concreto projetado como revestimento de túneis na Ferrovia Norte-Sul: análise segundo parâmetros de durabilidade. In: *Anais do 53 Congresso Brasileiro do Concreto*, 2011, Florianópolis. Anais... Florianópolis: CBC, 2011.

APÊNDICE A – RESULTADOS
BRUTOS DO ÍNDICE DE REFLEXÃO

Mistura:	H3015	
Areia (com padiola)	Desconto Padiola	Areia
69,4	10,4	59
67,4	10,4	57
73,7	10,4	63,3
68	10,4	57,6
67,6	10,4	57,2
67,6	10,4	57,2
		351,3
Brita (com padiola)	Desconto Padiola	Brita
51,2	13	38,2
50,7	13	37,7
51,1	13	38,1
51,3	13	38,3
		152,3
Cimento	100	
Silica	15	
Massa total:	618,6	
Rebalde (com padiola)	Desconto Padiola	Rebalde
67,8	10,4	57,4
64,4	10,4	54
42,7	10,4	32,3
		143,7
Percentual de desperdício:		23,23%

Mistura:	I3015	
Areia (com padiola)	Desconto Padiola	Areia
65,4	10,4	55
68,1	10,4	57,7
68,9	10,4	58,5
		171,2
Brita (com padiola)	Desconto Padiola	Brita
50,4	13	37,4
51,5	13	38,5
		75,9
Sobra de outra projeção	Desconto Padiola	Sobra
83	10,4	72,6
78,4	10,4	68
78,2	10,4	67,8
77,4	10,4	67
78,4	10,4	68
38,2	10,4	27,8
		371,2
Cimento	50	
Silica	7,5	
Massa total:	675,8	
Rebalde (com padiola)	Desconto Padiola	Rebalde
79,6	10,4	69,2
65,7	10,4	55,3
32,6	10,4	22,2
		146,7
Percentual de desperdício:		21,71%

Mistura:	V3015	
Areia (com padiola)	Desconto Padiola	Areia
68,5	10,4	58,1
68	10,4	57,6
67,7	10,4	57,3
68,1	10,4	57,7
68,4	10,4	58
68,2	10,4	57,8
		346,5
Brita (com padiola)	Desconto Padiola	Brita
50,8	13	37,8
50,3	13	37,3
50,5	13	37,5
50,3	13	37,3
		149,9
Cimento	100	
Silica	15	
Massa total:	611,4	
Sobra para outra projeção	Desconto Padiola	Sobra
83	10,4	72,6
78,4	10,4	68
78,2	10,4	67,8
77,4	10,4	67
78,4	10,4	68
38,2	10,4	27,8
		371,2
Rebalde (com padiola)	Desconto Padiola	Rebalde
70,5	10,4	60,1
19,4	10,4	9
		69,1
Percentual de desperdício:		28,77%

Mistura:	V3010	
Areia (com padiola)	Desconto Padiola	Areia
65,9	10,4	55,5
65,9	10,4	55,5
67,8	10,4	57,4
66,9	10,4	56,5
67,5	10,4	57,1
68	10,4	57,6
		339,6
Brita (com padiola)	Desconto Padiola	Brita
49,6	13	36,6
50,8	13	37,8
50,6	13	37,6
50,6	13	37,6
		149,6
Cimento	100	
Silica	5	
Massa total:	594,2	
Rebalde (com padiola)	Desconto Padiola	Rebalde
76,1	10,4	65,7
75,5	10,4	65,1
78,9	10,4	68,5
		199,3
Percentual de desperdício:		33,54%

Mistura:	H3010	
Areia (com padiola)	Desconto Padiola	Areia
67,2	10,4	56,8
67	10,4	56,6
67	10,4	56,6
		170
Brita (com padiola)	Desconto Padiola	Brita
51	13	38
51,3	13	38,3
		76,3
Cimento	50	
Silica	10	
Massa total:	306,3	
Rebalde (com padiola)	Desconto Padiola	Rebalde
65,3	10,4	54,9
		54,9
Percentual de desperdício:		17,92%

Mistura:	I3010	
Areia (com padiola)	Desconto Padiola	Areia
65,9	10,4	55,5
67,3	10,4	56,9
66,7	10,4	56,3
		168,7
Brita (com padiola)	Desconto Padiola	Brita
51,4	13	38,4
50,2	13	37,2
		75,6
Cimento	50	
Silica	5	
Massa total:	299,3	
Rebalde (com padiola)	Desconto Padiola	Rebalde
81	10,4	70,6
26,4	10,4	16
		86,6
Percentual de desperdício:		28,93%

Mistura:	I3005	
Areia (com padiola)	Desconto Padiola	Areia
66,7	10,4	56,3
67,1	10,4	56,7
67,6	10,4	57,2
		170,2
Brita (com padiola)	Desconto Padiola	Brita
50,2	13	37,2
51	13	38
		75,2
Cimento	50	
Silica	2,5	
Massa total:	297,9	
Rebalde (com padiola)	Desconto Padiola	Rebalde
73,2	10,4	62,8
32,8	10,4	22,4
		85,2
Percentual de desperdício:		28,60%

Mistura:	H3005	
Areia (com padiola)	Desconto Padiola	Areia
66,6	10,4	56,2
65,8	10,4	55,4
67,3	10,4	56,9
		168,5
Brita (com padiola)	Desconto Padiola	Brita
50,6	13	37,6
50,1	13	37,1
		74,7
Cimento	50	
Silica	5	
Massa total:	298,2	
Rebalde (com padiola)	Desconto Padiola	Rebalde
62	10,4	51,6
25,3	10,4	14,9
		66,5
Percentual de desperdício:		22,30%

Mistura:	V3005	
Areia (com padiola)	Desconto Padiola	Areia
65,9	10,4	55,5
67,3	10,4	56,9
67,7	10,4	57,3
66,9	10,4	56,5
67	10,4	56,6
68,6	10,4	58,2
		341
Brita (com padiola)	Desconto Padiola	Brita
50,6	13	37,6
50,5	13	37,5
49,6	13	36,6
49,4	13	36,4
		148,1
Cimento	100	
Silica	2,5	
Massa total:	591,6	
Rebalde (com padiola)	Desconto Padiola	Rebalde
73,3	10,4	62,9
73,6	10,4	63,2
76,1	10,4	65,7
		191,8
Percentual de desperdício:		32,42%

Mistura:	V3000	
Areia (com padiola)	Desconto Padiola	Areia
66,4	10,4	56
66,9	10,4	56,5
67,3	10,4	56,9
		169,4
Brita (com padiola)	Desconto Padiola	Brita
49,9	13	36,9
49,9	13	36,9
		73,8
Cimento	50	
Silica	0	
Massa total:	293,2	
Rebalde (com padiola)	Desconto Padiola	Rebalde
77,1	10,4	66,7
47,3	10,4	36,9
		103,6

Mistura:	H3000	
Areia (com padiola)	Desconto Padiola	Areia
68,5	10,4	58,1
67,6	10,4	57,2
67,7	10,4	57,3
		172,6
Brita (com padiola)	Desconto Padiola	Brita
51,5	13	38,5
49,5	13	36,5
		75
Cimento	50	
Silica	0	
Massa total:	297,6	
Rebalde (com padiola)	Desconto Padiola	Rebalde
73,9	10,4	63,5
29	10,4	18,6
		82,1

Mistura:	I3000	
Areia (com padiola)	Desconto Padiola	Areia
67,5	10,4	57,1
67,7	10,4	57,3
67	10,4	56,6
		171
Brita (com padiola)	Desconto Padiola	Brita
49,3	13	36,3
49,2	13	36,2
		72,5
Cimento	50	
Silica	0	
Massa total:	293,5	
Rebalde (com padiola)	Desconto Padiola	Rebalde
72,8	10,4	62,4
51,8	10,4	41,4
		103,8

Percentual de desperdício:			35,33%
Mistura:			V4515
Areia (com padiola)	Desconto Padiola	Areia	
72,2	11	61,2	
70,5	11	59,5	
71,9	11	60,9	
72,3	11	61,3	
			242,9
Brita (com padiola)	Desconto Padiola	Brita	
71,4	11	60,4	
70,8	11	59,8	
			120,2
Cimento	100		
Silica	15		
Massa total:	478,1		
Sobra para outra projeção	71,4		
Rebalde (com padiola)	Desconto Padiola	Rebalde	
76,8	11	65,8	
68,6	11	57,6	
			123,4
Percentual de desperdício:			30,34%

Percentual de desperdício: 30,34%

Mistura:			H4500
Areia (com padiola)	Desconto Padiola	Areia	
72,8	11	61,8	
72,9	11	61,9	
			123,7
Brita (com padiola)	Desconto Padiola	Brita	
71	11	60	
			60
Cimento	50		
Silica	0		
Massa total:	233,7		
Rebalde (com padiola)	Desconto Padiola	Rebalde	
63,558	11	52,558	
			52,558
Percentual de desperdício:			22,49%

Percentual de desperdício: 22,49%

Mistura:			V4510
Areia (com padiola)	Desconto Padiola	Areia	
72,4	11	61,4	
72,9	11	61,9	
			123,3
Brita (com padiola)	Desconto Padiola	Brita	
70	11	59	
			59
Cimento	50		
Silica	5		
Massa total:	237,3		
Rebalde (com padiola)	Desconto Padiola	Rebalde	
67,4	11	56,4	
			56,4
Percentual de desperdício:			23,77%

Percentual de desperdício: 23,77%

Mistura:			V4505
Areia (com padiola)	Desconto Padiola	Areia	
72,6	11	61,6	
72,4	11	61,4	
			123
Brita (com padiola)	Desconto Padiola	Brita	
71,1	11	60,1	
			60,1
Cimento	50		
Silica	2,5		
Massa total:	235,6		
Rebalde (com padiola)	Desconto Padiola	Rebalde	
60,7	11	49,7	
			49,7
Percentual de desperdício:			21,10%

Percentual de desperdício: 21,10%

Percentual de desperdício:			27,59%
Mistura:			I4515
Areia (com padiola)	Desconto Padiola	Areia	
70,9	11	59,9	
72	11	61	
			120,9
Brita (com padiola)	Desconto Padiola	Brita	
70,2	11	59,2	
			59,2
Cimento	50		
Silica	7,5		
Massa total:	237,6		
Rebalde (com padiola)	Desconto Padiola	Rebalde	
68	10,4	57,6	
			57,6

Percentual de desperdício: 24,24%

Mistura:			V4500
Areia (com padiola)	Desconto Padiola	Areia	
72,7	11	61,7	
73,6	11	62,6	
			124,3
Brita (com padiola)	Desconto Padiola	Brita	
70,3	11	59,3	
			59,3
Cimento	50		
Silica	0		
Massa total:	233,6		
Rebalde (com padiola)	Desconto Padiola	Rebalde	
88,7	10,4	78,3	
			78,3
Percentual de desperdício:			33,52%

Percentual de desperdício: 33,52%

Mistura:			H4510
Areia (com padiola)	Desconto Padiola	Areia	
71,7	11	60,7	
73,4	11	62,4	
			123,1
Brita (com padiola)	Desconto Padiola	Brita	
70,9	11	59,9	
			59,9
Cimento	50		
Silica	5		
Massa total:	238		
Rebalde (com padiola)	Desconto Padiola	Rebalde	
58,8	10,4	48,4	
			48,4
Percentual de desperdício:			20,34%

Percentual de desperdício: 20,34%

Mistura:			H4505
Areia (com padiola)	Desconto Padiola	Areia	
73,3	11	62,3	
72,6	11	61,6	
			123,9
Brita (com padiola)	Desconto Padiola	Brita	
71	11	60	
			60
Cimento	50		
Silica	2,5		
Massa total:	236,4		
Rebalde (com padiola)	Desconto Padiola	Rebalde	
57,5	10,4	47,1	
			47,1
Percentual de desperdício:			19,92%

Percentual de desperdício: 19,92%

Percentual de desperdício:			35,37%
Mistura:			H4515
Areia (com padiola)	Desconto Padiola	Areia	
74,4	11	63,4	
73,4	11	62,4	
72,8	11	61,8	
72	11	61	
			248,6
Brita (com padiola)	Desconto Padiola	Brita	
70,2	11	59,2	
68,6	11	57,6	
			116,8
Cimento	100		
Silica	15		
Massa total:	480,4		
Sobra para outra projeção	Desconto Padiola	Sobra	
72,9	11	61,9	

Percentual de desperdício: 23,49%

Mistura:			I4500
Areia (com padiola)	Desconto Padiola	Areia	
72,6	11	61,6	
73,3	11	62,3	
			123,9
Brita (com padiola)	Desconto Padiola	Brita	
70,3	11	59,3	
			59,3
Cimento	50		
Silica	0		
Massa total:	233,2		
Rebalde (com padiola)	Desconto Padiola	Rebalde	
89	11	78	
			78
Percentual de desperdício:			33,45%

Percentual de desperdício: 33,45%

Mistura:			I4510
Areia (com padiola)	Desconto Padiola	Areia	
71,9	11	60,9	
72	11	61	
			121,9
Brita (com padiola)	Desconto Padiola	Brita	
70,4	11	59,4	
			59,4
Cimento	50		
Silica	5		
Massa total:	236,3		
Rebalde (com padiola)	Desconto Padiola	Rebalde	
63,2	11	52,2	
			52,2
Percentual de desperdício:			22,09%

Percentual de desperdício: 22,09%

Mistura:			I4505
Areia (com padiola)	Desconto Padiola	Areia	
73,2	11	62,2	
73	11	62	
			124,2
Brita (com padiola)	Desconto Padiola	Brita	
71	11	60	
			60
Cimento	50		
Silica	2,5		
Massa total:	236,7		
Rebalde (com padiola)	Desconto Padiola	Rebalde	
62,7	11	51,7	
			51,7
Percentual de desperdício:			21,84%

Percentual de desperdício: 21,84%

APÊNDICE Ó – RESULTADOS
BRUTOS DA CONSISTÊNCIA COM
A AGULHA DE PROCTOR

Consistência agulha de Proctor

Mistura	Medidas				Mistura	Medidas				Mistura	Medidas		
V3000	60	100	80		I3000	150	170	150		H3000	50	110	150
	130	100	120			210	190	160			130	130	100
	100	100	100			200	180	170			150	120	140
	80	110	90			150	150	170			100	170	120
	80	120	100			180	170	140			100	150	120
	80	100	90			140	170	180			130	150	130
Média	95,83				Média	166,67				Média	127,50		

Mistura	Medidas				Mistura	Medidas				Mistura	Medidas		
V3005	70	100	140		I3005	40	60	160		H3005	140	220	160
	80	120	160			50	50	100			140	160	150
	90	90	100			140	150	110			150	190	200
	50	100	100			110	80	140			210	170	170
	80	90	130			90	80	140			170	160	180
	90	140	140			120	140	40			210	220	120
Média	102,50				Média	101,67				Média	172,50		

Mistura	Medidas				Mistura	Medidas				Mistura	Medidas		
V3010	170	70	100		I3010	50	150	150		H3010	70	140	60
	110	80	160			80	130	150			80	140	90
	80	50	90			130	50	70			130	90	70
	90	100	110			90	80	90			140	140	120
	90	80	120			70	70	90			110	130	140
	60	120	150			110	70	60			120	80	130
Média	97,50				Média	90,00				Média	113,33		

Mistura	Medidas				Mistura	Medidas				Mistura	Medidas		
V3015	100	200	190		I3015	200	170	120		H3015	100	200	190
	120	110	180			180	140	100			120	210	180
	150	150	120			140	150	140			150	180	140
	150	170	130			120	190	140			190	190	130
	180	140	140			130	180	120			180	170	140
	100	160	120			160	170	100			100	160	160
Média	144,17				Média	146,67				Média	164,17		

Mistura	Medidas				Mistura	Medidas				Mistura	Medidas		
V4500	80	100	120		I4500	130	150	150		H4500	100	110	110
	120	120	120			150	140	200			100	100	120
	80	100	110			160	160	140			130	100	150
	120	110	120			180	130	160			140	100	120
	80	140	120			150	110	150			150	150	130
	100	120	120			180	140	160			130	140	140
Média	113,33				Média	150,83				Média	122,50		

Mistura	Medidas				Mistura	Medidas				Mistura	Medidas		
V4505	110	120	130		I4505	190	120	150		H4505	100	140	110
	150	200	170			150	140	150			120	190	140
	130	150	110			160	130	150			150	150	140
	160	180	130			150	130	160			140	160	130
	150	180	130			110	140	150			160	160	150
	160	170	150			160	140	140			150	140	140
Média	148,33				Média	145,83				Média	144,17		

Mistura	Medidas				Mistura	Medidas				Mistura	Medidas		
V4510	150	150	130		I4510	160	150	150		H4510	150	140	180
	140	170	120			160	160	130			170	180	150
	140	150	140			150	160	110			160	140	130
	160	150	130			150	160	140			140	170	140
	170	130	120			150	150	100			150	120	140
	200	170	160			140	160	120			150	150	140
Média	147,50				Média	149,17				Média	148,33		

Mistura	Medidas				Mistura	Medidas				Mistura	Medidas		
V4515	120	110	110		I4515	110	80	180		H4515	200	90	240
	80	120	140			120	90	180			180	120	290
	100	140	150			160	100	160			80	190	300
	120	120	120			170	90	120			120	160	200
	150	110	170			120	160	180			190	180	240
	80	150	120			120	130	150			140	150	240
Média	123,33				Média	135,00				Média	182,50		

APÊNDICE Ô – RESULTADOS
BRUTOS DA UMIDADE DA
MISTURA ANTES E APÓS A
PROJEÇÃO

Umidade antes da projecao (entrando)

PROJETADO

Amostra	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)
V3000.1	125	120	4,00%	265	230	13,21%
V3000.2	168	161	4,17%	302	267	11,59%
Média	146,50	140,50	4,08%	283,50	248,50	12,40%
Amostra	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)
I3000.1	89	84	5,62%	209	186	11,00%
I3000.2	114	110	3,51%	246	223	9,35%
Média	101,50	97,00	4,56%	227,50	204,50	10,18%
Amostra	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)
H3000.1	129	125	3,10%	294	266	9,52%
H3000.2	155	149	3,87%	257	229	10,89%
Média	142,00	137,00	3,49%	275,50	247,50	10,21%
Amostra	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)
V3005.1	147	141	4,08%	332	292	12,05%
V3005.2	123	118	4,07%	285	254	10,88%
Média	135,00	129,50	4,07%	308,50	273,00	11,46%
Amostra	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)
I3005.1	93	89	4,30%	232	207	10,78%
I3005.2	142	133	6,34%	294	261	11,22%
Média	117,50	111,00	5,32%	263,00	234,00	11,00%
Amostra	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)
H3005.1	74	71	4,05%	228	196	14,04%
H3005.2	167	160	4,19%	197	172	12,69%
Média	120,50	115,50	4,12%	212,50	184,00	13,36%
Amostra	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)
V3010.1	225	215	4,44%	454	412	9,25%
V3010.2	247	240	2,83%	354	308	12,99%
Média	236,00	227,50	3,64%	404,00	360,00	11,12%
Amostra	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)
I3010.1	270	259	4,07%	172	152	11,63%
I3010.2	175	168	4,00%	580	515	11,21%
Média	222,50	213,50	4,04%	376,00	333,50	11,42%
Amostra	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)
H3010.1	251	240	4,38%	222	198	10,81%
H3010.2	174	167	4,02%	284	257	9,51%
Média	212,50	203,50	4,20%	253,00	227,50	10,16%
Amostra	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)
V3015.1	284	273	3,87%	285	254	10,88%
V3015.2	184	176	4,35%	294	261	11,22%
Média	234,00	224,50	4,11%	289,50	257,50	11,05%
Amostra	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)

I3015.1	128	122	4,69%	191	169	11,52%
I3015.2	182	171	6,04%	189	171	9,52%
Média	155,00	146,50	5,37%	190,00	170,00	10,52%
Amostra	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)
H3015.1	174	168	3,45%	187	169	9,63%
H3015.2	125	117	6,40%	196	174	11,22%
Média	149,50	142,50	4,92%	191,50	171,50	10,43%

Amostra	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)
V4500.1	114	108	5,26%	154	136	11,69%
V4500.2	187	179	4,28%	192	171	10,94%
Média	150,50	143,50	4,77%	173,00	153,50	11,31%

Amostra	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)
I4500.1	200	193	3,50%	176	159	9,66%
I4500.2	174	164	5,75%	225	199	11,56%
Média	187,00	178,50	4,62%	200,50	179,00	10,61%

Amostra	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)
H4500.1	124	117	5,65%	214	191	10,75%
H4500.2	134	128	4,48%	255	228	10,59%
Média	129,00	122,50	5,06%	234,50	209,50	10,67%

Amostra	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)
V4505.1	147	139	5,44%	231	207	10,39%
V4505.2	152	145	4,61%	268	241	10,07%
Média	149,50	142,00	5,02%	249,50	224,00	10,23%

Amostra	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)
I4505.1	179	169	5,59%	295	262	11,19%
I4505.2	142	134	5,63%	230	205	10,87%
Média	160,50	151,50	5,61%	262,50	233,50	11,03%

Amostra	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)
H4505.1	249	240	3,61%	261	235	9,96%
H4505.2	108	104	3,70%	299	271	9,36%
Média	178,50	172,00	3,66%	280,00	253,00	9,66%

Amostra	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)
V4510.1	287	279	2,79%	259	230	11,20%
V4510.2	264	251	4,92%	289	254	12,11%
Média	275,50	265,00	3,86%	274,00	242,00	11,65%

Amostra	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)
I4510.1	258	251	2,71%	182	164	9,89%
I4510.2	214	208	2,80%	247	223	9,72%
Média	236,00	229,50	2,76%	214,50	193,50	9,80%

Amostra	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)
H4510.1	197	190	3,55%	194	174	10,31%
H4510.2	154	148	3,90%	258	231	10,47%
Média	175,50	169,00	3,72%	226,00	202,50	10,39%

Amostra	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)
V4515.1	126	123	2,38%	208	182	12,50%
V4515.2	137	133	2,92%	256	230	10,16%
Média	131,50	128,00	2,65%	232,00	206,00	11,33%
Amostra	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)
I4515.1	149	141	5,37%	235	205	12,77%
I4515.2	167	160	4,19%	341	301	11,73%
Média	158,00	150,50	4,78%	288,00	253,00	12,25%
Amostra	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)	Massa umida	Massa pós secagem	Umidade (%)
H4515.1	179	168	6,15%	232	207	10,78%
H4515.2	156	149	4,49%	290	255	12,07%
Média	167,50	158,50	5,32%	261,00	231,00	11,42%

APÊNDICE Ö – RESULTADOS
BRUTOS DA RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO (07, 28 E 540 DIAS)

COMPRESSÃO 7 dias nova 7680

CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (cm2)	H/D	Tensão - Mpa	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
V3000.1	15,7	14,95	9,44	69,99	1,5837	22,4	-0,0336	0,0667	0,0000	-0,040	22,3
V3000.2	15,1	17,25	9,44	69,99	1,8273	21,6	-0,0141	0,0667	0,0000	-0,040	21,8
V3000.3											
V3000.4											
Média	15,40	16,10	9,44	69,99	1,7055	22,00	-0,0237	0,0667	0,0000	-0,0400	22,1
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
I3000.1	14,8	18,6	9,44	69,99	1,9703	21,1	-0,0025	0,0667	0,0000	-0,040	21,7
I3000.2	13,9	18,4	9,44	69,99	1,9492	19,9	-0,0042	0,0667	0,0000	-0,040	20,3
I3000.3	15	16	9,44	69,99	1,6949	21,4	-0,0246	0,0667	0,0000	-0,040	21,5
I3000.4											
Média	14,57	17,67	9,44	69,99	1,8715	20,81	-0,0107	0,0667	0,0000	-0,0400	21,1
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
H3000.1	17	15,8	9,44	69,99	1,6737	24,3	-0,0264	0,0667	0,0000	-0,040	24,3
H3000.2	17,2	18	9,44	69,99	1,9068	24,6	-0,0078	0,0667	0,0000	-0,040	25,0
H3000.3	16,9	17,9	9,44	69,99	1,8962	24,1	-0,0087	0,0667	0,0000	-0,040	24,6
H3000.4											
Média	17,03	17,23	9,44	69,99	1,8256	24,34	-0,0142	0,0667	0,0000	-0,0400	24,6
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
V3005.1	7,2	14,9	7,51	44,30	1,9840	16,3	-0,0013	0,0899	0,0000	-0,040	17,0
V3005.2	9,5	14,9	7,51	44,30	1,9840	21,4	-0,0013	0,0899	0,0000	-0,040	22,5
V3005.3	10,5	15	7,51	44,30	1,9973	23,7	-0,0002	0,0899	0,0000	-0,040	24,9
V3005.4	9,9	14,9	7,51	44,30	1,9840	22,3	-0,0013	0,0899	0,0000	-0,040	23,4
Média	9,28	14,93	7,51	44,30	1,9874	20,94	-0,0011	0,0899	0,0000	-0,0400	22,0
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
I3005.1	7,9	15	7,51	44,30	1,9973	17,8	-0,0002	0,0899	0,0000	-0,040	18,7
I3005.2	8,9	15	7,51	44,30	1,9973	20,1	-0,0002	0,0899	0,0000	-0,040	21,1
I3005.3	10,4	15	7,51	44,30	1,9973	23,5	-0,0002	0,0899	0,0000	-0,040	24,6
I3005.4	11,5	15	7,51	44,30	1,9973	26,0	-0,0002	0,0899	0,0000	-0,040	27,3
Média	9,68	15,00	7,51	44,30	1,9973	21,84	-0,0002	0,0899	0,0000	-0,0400	22,9
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
H3005.1	12,9	15	7,51	44,30	1,9973	29,1	-0,0002	0,0899	0,0000	-0,040	30,6
H3005.2	14,3	15	7,51	44,30	1,9973	32,3	-0,0002	0,0899	0,0000	-0,040	33,9
H3005.3	7	14,9	7,51	44,30	1,9840	15,8	-0,0013	0,0899	0,0000	-0,040	16,6
H3005.4	7,5	14,9	7,51	44,30	1,9840	16,9	-0,0013	0,0899	0,0000	-0,040	17,8
Média	10,43	14,95	7,51	44,30	1,9907	23,53	-0,0008	0,0899	0,0000	-0,0400	24,7
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
V3010.1	7,5	15	9,44	69,99	1,5890	10,7	-0,0332	0,0667	0,0000	-0,040	10,6
V3010.2	18,1	10	9,44	69,99	1,0593	25,9	-0,1236	0,0667	0,0000	-0,040	23,4
V3010.3	19,4	10	9,44	69,99	1,0593	27,7	-0,1236	0,0667	0,0000	-0,040	25,0
V3010.4											
Média	15,00	11,67	9,44	69,99	1,2359	21,43	-0,0735	0,0667	0,0000	-0,0400	20,4
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
I3010.1	9,4	15	7,51	44,30	1,9973	21,2	-0,0002	0,0899	0,0000	-0,040	22,3
I3010.2	9,2	15	7,51	44,30	1,9973	20,8	-0,0002	0,0899	0,0000	-0,040	21,8
I3010.3	11	14,9	7,51	44,30	1,9840	24,8	-0,0013	0,0899	0,0000	-0,040	26,0
I3010.4											
Média	9,87	14,97	7,51	44,30	1,9929	22,27	-0,0006	0,0899	0,0000	-0,0400	23,4
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
H3010.1	10,6	15	7,51	44,30	1,9973	23,9	-0,0002	0,0899	0,0000	-0,040	25,1
H3010.2	11,2	10	7,51	44,30	1,3316	25,3	-0,0598	0,0899	0,0000	-0,040	25,0
H3010.3	9,4	10	7,51	44,30	1,3316	21,2	-0,0598	0,0899	0,0000	-0,040	21,0
H3010.4											
Média	10,40	11,67	7,51	44,30	1,5535	23,48	-0,0359	0,0899	0,0000	-0,0400	23,8
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
V3015.1	9,8	15	7,51	44,30	1,9973	22,1	-0,0002	0,0899	0,0000	-0,040	23,2
V3015.2	8	15	7,51	44,30	1,9973	18,1	-0,0002	0,0899	0,0000	-0,040	19,0
V3015.3	11,3	14,9	7,51	44,30	1,9840	25,5	-0,0013	0,0899	0,0000	-0,040	26,7
V3015.4	10,7	14,9	7,51	44,30	1,9840	24,2	-0,0013	0,0899	0,0000	-0,040	25,3
Média	9,95	14,95	7,51	44,30	1,9907	22,46	-0,0008	0,0899	0,0000	-0,0400	23,6

CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
I3015.1	9,4	15	7,51	44,30	1,9973	21,2	-0,0002	0,0899	0,0000	-0,040	22,3
I3015.2	10,9	15	7,51	44,30	1,9973	24,6	-0,0002	0,0899	0,0000	-0,040	25,8
I3015.3	12,2	14,9	7,51	44,30	1,9840	27,5	-0,0013	0,0899	0,0000	-0,040	28,9
I3015.4											
Média	10,83	14,97	7,51	44,30	1,9929	24,46	-0,0006	0,0899	0,0000	-0,0400	25,7

CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
B315.1	13,1	15	7,51	44,30	1,9973	29,6	-0,0002	0,0899	0,0000	-0,040	31,0
H3015.2	10,5	15	7,51	44,30	1,9973	23,7	-0,0002	0,0899	0,0000	-0,040	24,9
H3015.3	11,9	14,9	7,51	44,30	1,9840	26,9	-0,0013	0,0899	0,0000	-0,040	28,2
H3015.4											
Média	11,83	14,97	7,51	44,30	1,9929	26,71	-0,0006	0,0899	0,0000	-0,0400	28,0

CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
V4500.1	23,8	16,6	9,44	69,99	1,7585	34,0	-0,0193	0,0667	0,0000	-0,040	34,3
V4500.2	19,7	16,6	9,44	69,99	1,7585	28,1	-0,0193	0,0667	0,0000	-0,040	28,4
V4500.3	22	14,7	9,44	69,99	1,5572	31,4	-0,0356	0,0667	0,0000	-0,040	31,2
V4500.4	19,1	16,9	9,44	69,99	1,7903	27,3	-0,0169	0,0667	0,0000	-0,040	27,6
Média	21,15	16,20	9,44	69,99	1,7161	30,22	-0,0228	0,0667	0,0000	-0,0400	30,3

CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
I4500.1	23,1	16	9,44	69,99	1,6949	33,0	-0,0246	0,0667	0,0000	-0,040	33,1
I4500.2	21,2	15,8	9,44	69,99	1,6737	30,3	-0,0264	0,0667	0,0000	-0,040	30,3
I4500.3	21,6	17	9,44	69,99	1,8008	30,9	-0,0161	0,0667	0,0000	-0,040	31,2
I4500.4	21,4	16,4	9,44	69,99	1,7373	30,6	-0,0211	0,0667	0,0000	-0,040	30,7
Média	21,83	16,30	9,44	69,99	1,7267	31,18	-0,0219	0,0667	0,0000	-0,0400	31,3

CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
H4500.1	24,8	17	9,44	69,99	1,8008	35,4	-0,0161	0,0667	0,0000	-0,040	35,8
H4500.2	16,1	17,7	9,44	69,99	1,8750	23,0	-0,0104	0,0667	0,0000	-0,040	23,4
H4500.3	23	16,8	9,44	69,99	1,7797	32,9	-0,0177	0,0667	0,0000	-0,040	33,2
H4500.4	25,6	17,1	9,44	69,99	1,8114	36,6	-0,0153	0,0667	0,0000	-0,040	37,0
Média	22,38	17,15	9,44	69,99	1,8167	31,97	-0,0149	0,0667	0,0000	-0,0400	32,3

CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
V4505.1	16	18,1	9,44	69,99	1,9174	22,9	-0,0069	0,0667	0,0000	-0,040	23,3
V4505.2	19,4	17,9	9,44	69,99	1,8962	27,7	-0,0087	0,0667	0,0000	-0,040	28,2
V4505.3	21,1	18	9,44	69,99	1,9068	30,1	-0,0078	0,0667	0,0000	-0,040	30,7
V4505.4	17,5	17,2	9,44	69,99	1,8220	25,0	-0,0145	0,0667	0,0000	-0,040	25,3
Média	18,50	17,80	9,44	69,99	1,8856	26,43	-0,0095	0,0667	0,0000	-0,0400	26,9

CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
I4505.1	20,4	19	9,44	69,99	2,0127	29,1	0,0000	0,0667	0,0000	-0,040	29,9
I4505.2	22	17,3	9,44	69,99	1,8326	31,4	-0,0136	0,0667	0,0000	-0,040	31,8
I4505.3	19,6	16,1	9,44	69,99	1,7055	28,0	-0,0237	0,0667	0,0000	-0,040	28,1
I4505.4	20,3	17,9	9,44	69,99	1,8962	29,0	-0,0087	0,0667	0,0000	-0,040	29,5
Média	20,58	17,58	9,44	69,99	1,8618	29,40	-0,0114	0,0667	0,0000	-0,0400	29,8

CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
H4505.1	22,4	17,4	9,44	69,99	1,8432	32,0	-0,0128	0,0667	0,0000	-0,040	32,4
H4505.2	22,3	18	9,44	69,99	1,9068	31,9	-0,0078	0,0667	0,0000	-0,040	32,5
H4505.3	24	17,9	9,44	69,99	1,8962	34,3	-0,0087	0,0667	0,0000	-0,040	34,9
H4505.4	21,1	18,3	9,44	69,99	1,9386	30,1	-0,0051	0,0667	0,0000	-0,040	30,8
Média	22,45	17,90	9,44	69,99	1,8962	32,08	-0,0087	0,0667	0,0000	-0,0400	32,7

CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
V4510.1	18	15,2	9,44	69,99	1,6102	25,7	-0,0315	0,0667	0,0000	-0,040	25,6
V4510.2	21	15,8	9,44	69,99	1,6737	30,0	-0,0264	0,0667	0,0000	-0,040	30,0
V4510.3	22,5	15,6	9,44	69,99	1,6525	32,1	-0,0281	0,0667	0,0000	-0,040	32,1
V4510.4	19,1	16,1	9,44	69,99	1,7055	27,3	-0,0237	0,0667	0,0000	-0,040	27,4
Média	20,15	15,68	9,44	69,99	1,6605	28,79	-0,0275	0,0667	0,0000	-0,0400	28,8

CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
I4510.1	22	14,9	9,44	69,99	1,5784	31,4	-0,0340	0,0667	0,0000	-0,040	31,2
I4510.2	23,8	15,7	9,44	69,99	1,6631	34,0	-0,0272	0,0667	0,0000	-0,040	34,0
I4510.3	22,8	15,8	9,44	69,99	1,6737	32,6	-0,0264	0,0667	0,0000	-0,040	32,6
I4510.4	24	15,9	9,44	69,99	1,6843	34,3	-0,0255	0,0667	0,0000	-0,040	34,3
Média	23,15	15,58	9,44	69,99	1,6499	33,08	-0,0283	0,0667	0,0000	-0,0400	33,0

CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
H4510.1	27	16,3	9,44	69,99	1,7267	38,6	-0,0219	0,0667	0,0000	-0,040	38,8

H4510.2	25,1	18,3	9,44	69,99	1,9386	35,9	-0,0051	0,0667	0,0000	-0,040	36,6
H4510.3	25,9	16,5	9,44	69,99	1,7479	37,0	-0,0202	0,0667	0,0000	-0,040	37,2
H4510.4	23,7	17,4	9,44	69,99	1,8432	33,9	-0,0128	0,0667	0,0000	-0,040	34,3
Média	25,43	17,13	9,44	69,99	1,8141	36,33	-0,0151	0,0667	0,0000	-0,0400	36,8

CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
V4515.1	21,2	18	9,44	69,99	1,9068	30,3	-0,0078	0,0667	0,0000	-0,040	30,9
V4515.2	20,1	17,7	9,44	69,99	1,8750	28,7	-0,0104	0,0667	0,0000	-0,040	29,2
V4515.3	18,6	17,4	9,44	69,99	1,8432	26,6	-0,0128	0,0667	0,0000	-0,040	26,9
V4515.4	18,7	15,9	9,44	69,99	1,6843	26,7	-0,0255	0,0667	0,0000	-0,040	26,8
Média	19,65	17,25	9,44	69,99	1,8273	28,08	-0,0141	0,0667	0,0000	-0,0400	28,4

CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
I4515.1	25,3	17	9,44	69,99	1,8008	36,1	-0,0161	0,0667	0,0000	-0,040	36,5
I4515.2	29,2	16,4	9,44	69,99	1,7373	41,7	-0,0211	0,0667	0,0000	-0,040	42,0
I4515.3	27,7	16,1	9,44	69,99	1,7055	39,6	-0,0237	0,0667	0,0000	-0,040	39,7
I4515.4	25,6	16,8	9,44	69,99	1,7797	36,6	-0,0177	0,0667	0,0000	-0,040	36,9
Média	26,95	16,58	9,44	69,99	1,7558	38,51	-0,0196	0,0667	0,0000	-0,0400	38,8

CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
H4515.1	27,8	18,5	9,44	69,99	1,9597	39,7	-0,0034	0,0667	0,0000	-0,040	40,6
H4515.2	28,4	19,1	9,44	69,99	2,0233	40,6	0,0000	0,0667	0,0000	-0,040	41,7
H4515.3	31,6	18,4	9,44	69,99	1,9492	45,1	-0,0042	0,0667	0,0000	-0,040	46,2
H4515.4	24,8	16,6	9,44	69,99	1,7585	35,4	-0,0193	0,0667	0,0000	-0,040	35,7
Média	28,15	18,15	9,44	69,99	1,9227	40,22	-0,0064	0,0667	0,0000	-0,0400	41,0

COMPRESSÃO 28 dias nova 7680

CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (cm2)	H/D	Tensão - Mpa	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
V3000.1	23,3	16,35	9,39	69,25	1,7412	33,6	-0,0207	0,0673	0,0000	-0,040	33,9
V3000.2	23,4	16,85	9,39	69,25	1,7945	33,8	-0,0166	0,0673	0,0000	-0,040	34,2
V3000.3	21,1	16,4	9,39	69,25	1,7465	30,5	-0,0203	0,0673	0,0000	-0,040	30,7
V3000.4											0,0
Média	22,60	16,53	9,39	69,25	1,7607	32,64	-0,0192	0,0673	0,0000	-0,0400	32,9
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
I3000.1	23,7	14,56	9,39	69,25	1,5506	34,2	-0,0361	0,0673	0,0000	-0,040	33,9
I3000.2	24,1	14,33	9,39	69,25	1,5261	34,8	-0,0380	0,0673	0,0000	-0,040	34,4
I3000.3	20,5	12,87	9,39	69,25	1,3706	29,6	-0,0555	0,0673	0,0000	-0,040	28,8
I3000.4											0,0
Média	22,77	13,92	9,39	69,25	1,4824	32,88	-0,0422	0,0673	0,0000	-0,0400	32,4
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
H3000.1	27,4	14,08	9,39	69,25	1,4995	39,6	-0,0401	0,0673	0,0000	-0,040	39,1
H3000.2	25,8	17,5	9,39	69,25	1,8637	37,3	-0,0113	0,0673	0,0000	-0,040	37,9
H3000.3	23,6	14,84	9,39	69,25	1,5804	34,1	-0,0338	0,0673	0,0000	-0,040	33,9
H3000.4											0,0
Média	25,60	15,47	9,39	69,25	1,6479	36,97	-0,0285	0,0673	0,0000	-0,0400	36,9
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
V3005.1	14	15	7,51	44,30	1,9973	31,6	-0,0002	0,0899	0,0000	-0,040	33,2
V3005.2	13,1	14,1	7,51	44,30	1,8775	29,6	-0,0102	0,0899	0,0000	-0,040	30,7
V3005.3	12,9	14,3	7,51	44,30	1,9041	29,1	-0,0080	0,0899	0,0000	-0,040	30,3
V3005.4											0,0
Média	13,33	14,47	7,51	44,30	1,9263	30,10	-0,0061	0,0899	0,0000	-0,0400	31,4
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
I3005.1	14,9	14,3	7,51	44,30	1,9041	33,6	-0,0080	0,0899	0,0000	-0,040	35,0
I3005.2	13	14,9	7,51	44,30	1,9840	29,3	-0,0013	0,0899	0,0000	-0,040	30,8
I3005.3	12,1	14,7	7,51	44,30	1,9574	27,3	-0,0036	0,0899	0,0000	-0,040	28,6
I3005.4											0,0
Média	13,33	14,63	7,51	44,30	1,9485	30,10	-0,0043	0,0899	0,0000	-0,0400	31,5
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
H3005.1	23,8	17	9,39	69,25	1,8104	34,4	-0,0154	0,0673	0,0000	-0,040	34,8
H3005.2	23,7	17,36	9,39	69,25	1,8488	34,2	-0,0124	0,0673	0,0000	-0,040	34,7
H3005.3	24	17,1	9,39	69,25	1,8211	34,7	-0,0145	0,0673	0,0000	-0,040	35,1
H3005.4											0,0
Média	23,83	17,15	9,39	69,25	1,8268	34,42	-0,0141	0,0673	0,0000	-0,0400	34,9
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
V3010.1	14	14,5	7,51	44,30	1,9308	31,6	-0,0058	0,0899	0,0000	-0,040	33,0
V3010.2	13,8	14,6	7,51	44,30	1,9441	31,2	-0,0047	0,0899	0,0000	-0,040	32,6
V3010.3	13,5	15	7,51	44,30	1,9973	30,5	-0,0002	0,0899	0,0000	-0,040	32,0
V3010.4											0,0
Média	13,77	14,70	7,51	44,30	1,9574	31,08	-0,0036	0,0899	0,0000	-0,0400	32,5
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
I3010.1	13	14,6	7,51	44,30	1,9441	29,3	-0,0047	0,0899	0,0000	-0,040	30,7
I3010.2	14,5	14,2	7,51	44,30	1,8908	32,7	-0,0091	0,0899	0,0000	-0,040	34,1
I3010.3	13,9	14	7,51	44,30	1,8642	31,4	-0,0112	0,0899	0,0000	-0,040	32,6
I3010.4											0,0
Média	13,80	14,27	7,51	44,30	1,8997	31,15	-0,0084	0,0899	0,0000	-0,0400	32,4
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
H3010.1	14,8	15	7,51	44,30	1,9973	33,4	-0,0002	0,0899	0,0000	-0,040	35,1
H3010.2	14	14,9	7,51	44,30	1,9840	31,6	-0,0013	0,0899	0,0000	-0,040	33,1
H3010.3	13,7	14,1	7,51	44,30	1,8775	30,9	-0,0102	0,0899	0,0000	-0,040	32,2
H3010.4											0,0
Média	14,17	14,67	7,51	44,30	1,9530	31,98	-0,0039	0,0899	0,0000	-0,0400	33,5
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
V3015.1	13,2	15	7,51	44,30	1,9973	29,8	-0,0002	0,0899	0,0000	-0,040	31,3
V3015.2	16,1	14,85	7,51	44,30	1,9774	36,3	-0,0019	0,0899	0,0000	-0,040	38,1
V3015.3	15,3	14,3	7,51	44,30	1,9041	34,5	-0,0080	0,0899	0,0000	-0,040	36,0
V3015.4											0,0
Média	14,87	14,72	7,51	44,30	1,9596	33,56	-0,0034	0,0899	0,0000	-0,0400	35,1
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
I3015.1	14	15,1	7,51	44,30	2,0107	31,6	0,0000	0,0899	0,0000	-0,040	33,2

I3015.2	14,1	14,2	7,51	44,30	1,8908	31,8	-0,0091	0,0899	0,0000	-0,040	33,1
I3015.3	15,7	14	7,51	44,30	1,8642	35,4	-0,0112	0,0899	0,0000	-0,040	36,8
I3015.4											0,0
Média	14,60	14,43	7,51	44,30	1,9219	32,96	-0,0065	0,0899	0,0000	-0,0400	34,4

CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
B315.1	16,4	13	7,51	44,30	1,7310	37,0	-0,0216	0,0899	0,0000	-0,040	38,1
H3015.2	15,8	14,8	7,51	44,30	1,9707	35,7	-0,0024	0,0899	0,0000	-0,040	37,4
H3015.3	14,9	14,7	7,51	44,30	1,9574	33,6	-0,0036	0,0899	0,0000	-0,040	35,2
H3015.4											0,0
Média	15,70	14,17	7,51	44,30	1,8864	35,44	-0,0095	0,0899	0,0000	-0,0400	36,9

CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
V4500.1	29	18	9,42	69,69	1,9108	41,6	-0,0074	0,0670	0,0000	-0,040	42,4
V4500.2	29,9	17,13	9,42	69,69	1,8185	42,9	-0,0147	0,0670	0,0000	-0,040	43,4
V4500.3	30	11,67	9,42	69,69	1,2389	43,0	-0,0728	0,0670	0,0000	-0,040	41,1
V4500.4											0,0
Média	29,63	15,60	9,42	69,69	1,6561	42,52	-0,0278	0,0670	0,0000	-0,0400	42,5

CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
I4500.1	30,1	18,07	9,42	69,69	1,9183	43,2	-0,0068	0,0670	0,0000	-0,040	44,1
I4500.2	28	16,5	9,42	69,69	1,7516	40,2	-0,0199	0,0670	0,0000	-0,040	40,5
I4500.3	27	16,55	9,42	69,69	1,7569	38,7	-0,0195	0,0670	0,0000	-0,040	39,0
I4500.4											0,0
Média	28,37	17,04	9,42	69,69	1,8089	40,70	-0,0155	0,0670	0,0000	-0,0400	41,2

CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
H4500.1	31	15,38	9,42	69,69	1,6327	44,5	-0,0298	0,0670	0,0000	-0,040	44,4
H4500.2	32	16,3	9,42	69,69	1,7304	45,9	-0,0216	0,0670	0,0000	-0,040	46,2
H4500.3	33,5	15,62	9,42	69,69	1,6582	48,1	-0,0277	0,0670	0,0000	-0,040	48,0
H4500.4											0,0
Média	32,17	15,77	9,42	69,69	1,6737	46,15	-0,0264	0,0670	0,0000	-0,0400	46,2

CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
V4505.1	27,8	17,05	9,42	69,69	1,8100	39,9	-0,0154	0,0670	0,0000	-0,040	40,4
V4505.2	27,9	18,07	9,42	69,69	1,9183	40,0	-0,0068	0,0670	0,0000	-0,040	40,8
V4505.3	28	18,05	9,42	69,69	1,9161	40,2	-0,0070	0,0670	0,0000	-0,040	41,0
V4505.4											0,0
Média	27,90	17,72	9,42	69,69	1,8815	40,03	-0,0099	0,0670	0,0000	-0,0400	40,7

CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
I4505.1	30,1	16,83	9,42	69,69	1,7866	43,2	-0,0172	0,0670	0,0000	-0,040	43,6
I4505.2	28	17,33	9,42	69,69	1,8397	40,2	-0,0131	0,0670	0,0000	-0,040	40,7
I4505.3	27,1	16,68	9,42	69,69	1,7707	38,9	-0,0184	0,0670	0,0000	-0,040	39,2
I4505.4											0,0
Média	28,40	16,95	9,42	69,69	1,7990	40,75	-0,0162	0,0670	0,0000	-0,0400	41,2

CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
H4505.1	39,1	17,2	9,42	69,69	1,8259	56,1	-0,0142	0,0670	0,0000	-0,040	56,8
H4505.2	29,4	16,6	9,42	69,69	1,7622	42,2	-0,0191	0,0670	0,0000	-0,040	42,5
H4505.3	31	16,86	9,42	69,69	1,7898	44,5	-0,0169	0,0670	0,0000	-0,040	44,9
H4505.4											0,0
Média	33,17	16,89	9,42	69,69	1,7926	47,59	-0,0167	0,0670	0,0000	-0,0400	48,1

CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
V4510.1	26,5	17,8	9,42	69,69	1,8896	38,0	-0,0092	0,0670	0,0000	-0,040	38,7
V4510.2	25,2	17,68	9,42	69,69	1,8769	36,2	-0,0102	0,0670	0,0000	-0,040	36,8
V4510.3	23,2	17,78	9,42	69,69	1,8875	33,3	-0,0094	0,0670	0,0000	-0,040	33,9
V4510.4	26,4	18	9,42	69,69	1,9108	37,9	-0,0074	0,0670	0,0000	-0,040	38,6
Média	25,33	17,82	9,42	69,69	1,8912	36,34	-0,0091	0,0670	0,0000	-0,0400	37,0

CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
I4510.1	28,7	16,35	9,42	69,69	1,7357	41,2	-0,0212	0,0670	0,0000	-0,040	41,4
I4510.2	29,4	15,95	9,42	69,69	1,6932	42,2	-0,0247	0,0670	0,0000	-0,040	42,3
I4510.3	27,5	16,4	9,42	69,69	1,7410	39,5	-0,0208	0,0670	0,0000	-0,040	39,7
I4510.4											0,0
Média	28,53	16,23	9,42	69,69	1,7233	40,94	-0,0222	0,0670	0,0000	-0,0400	41,1

CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
H4510.1	31	16,02	9,42	69,69	1,7006	44,5	-0,0241	0,0670	0,0000	-0,040	44,6
H4510.2	33	17,38	9,42	69,69	1,8450	47,4	-0,0127	0,0670	0,0000	-0,040	48,0
H4510.3	34,4	17,27	9,42	69,69	1,8333	49,4	-0,0136	0,0670	0,0000	-0,040	50,0
H4510.4	31,4	16,95	9,42	69,69	1,7994	45,1	-0,0162	0,0670	0,0000	-0,040	45,5
Média	32,45	16,91	9,42	69,69	1,7946	46,56	-0,0166	0,0670	0,0000	-0,0400	47,0

CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
V4515.1	30	17,84	9,42	69,69	1,8938	43,0	-0,0088	0,0670	0,0000	-0,040	43,8
V4515.2	31	18,3	9,42	69,69	1,9427	44,5	-0,0048	0,0670	0,0000	-0,040	45,5
V4515.3	29,8	15,81	9,42	69,69	1,6783	42,8	-0,0260	0,0670	0,0000	-0,040	42,8
V4515.4											0,0
Média	30,27	17,32	9,42	69,69	1,8383	43,43	-0,0132	0,0670	0,0000	-0,0400	44,0
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
I4515.1	32	18,27	9,42	69,69	1,9395	45,9	-0,0050	0,0670	0,0000	-0,040	46,9
I4515.2	31,8	18,62	9,42	69,69	1,9766	45,6	-0,0019	0,0670	0,0000	-0,040	46,8
I4515.3	31,5	18,13	9,42	69,69	1,9246	45,2	-0,0063	0,0670	0,0000	-0,040	46,1
I4515.4											0,0
Média	31,77	18,34	9,42	69,69	1,9469	45,58	-0,0044	0,0670	0,0000	-0,0400	46,6
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
H4515.1	35,1	17,49	9,42	69,69	1,8567	50,4	-0,0118	0,0670	0,0000	-0,040	51,1
H4515.2	35,8	12,73	9,42	69,69	1,3514	51,4	-0,0576	0,0670	0,0000	-0,040	49,8
H4515.3	34,5	16,5	9,42	69,69	1,7516	49,5	-0,0199	0,0670	0,0000	-0,040	49,9
H4515.4											0,0
Média	35,13	15,57	9,42	69,69	1,6532	50,41	-0,0281	0,0670	0,0000	-0,0400	50,4

COMPRESSÃO 18 meses

CP	Força (N)	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Área (mm ²)	H/D	Tensão - Mpa	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
V3000.1	338573,4	172,45	92,8	6763,72	1,8583	50,1	-0,0117	0,0686	0,0000	-0,0400	50,9
V3000.2	383126,6	163	95,9	7223,16	1,6997	53,0	-0,0242	0,0649	0,0000	-0,0400	53,1
V3000.3	350475,29	174,15	93,9	6925,02	1,8546	50,61	-0,0120	0,0673	0,0000	-0,0400	51,4
V3000.4	332547,10	170,4	93,95	6932,40	1,8137	47,97	-0,0151	0,0673	0,0000	-0,0400	48,6
Média	351180,60	170,00	94,14	6961,07	1,8066	50,42	-0,0156	0,0670	0,0000	-0,0400	51,0
CP	Força (N)	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Área (mm ²)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
I3000.1	386708,9	169,35	93,95	6932,40	1,8026	55,8	-0,0160	0,0673	0,0000	-0,0400	56,4
I3000.2	381806,9	165,55	93,85	6917,65	1,7640	55,2	-0,0189	0,0674	0,0000	-0,0400	55,7
I3000.3	367765,03	171,8	93,8	6910,28	1,8316	53,22	-0,0137	0,0674	0,0000	-0,0400	53,9
I3000.4	316767,17	169	93,8	6910,28	1,8017	45,84	-0,0160	0,0674	0,0000	-0,0400	46,4
Média	363262,00	168,93	93,85	6917,65	1,8000	52,51	-0,0162	0,0674	0,0000	-0,0400	53,1
CP	Força (N)	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Área (mm ²)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
H3000.1	356048,66	155,7	93,85	6917,65	1,6590	51,5	-0,0276	0,0674	0,0000	-0,0400	51,5
H3000.2	359519,63	177,7	93,7	6895,55	1,8965	52,1	-0,0086	0,0676	0,0000	-0,0400	53,1
H3000.3	331853,86	184,15	93,95	6932,40	1,9601	47,87	-0,0033	0,0673	0,0000	-0,0400	49,0
H3000.4	398041,44	174,85	93,85	6917,65	1,8631	57,54	-0,0113	0,0674	0,0000	-0,0400	58,5
Média	361365,90	173,10	93,84	6915,81	1,8447	52,25	-0,0127	0,0674	0,0000	-0,0400	53,0
CP	Força (N)	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Área (mm ²)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
V3005.1	201590,41	152,75	74,4	4347,46	2,000	46,4	0,0000	0,0907	0,0000	-0,0400	48,7
V3005.2	241658,81	151,45	74,45	4353,31	2,000	55,5	0,0000	0,0907	0,0000	-0,0400	58,3
V3005.3	266822,6	149,4	74,4	4347,46	2,000	61,4	0,0000	0,0907	0,0000	-0,0400	64,5
V3005.4	223977	147,45	74,4	4347,46	1,9819	51,5	-0,0015	0,0907	0,0000	-0,0400	54,1
Média	233512,21	150,26	74,41	4348,92	1,9955	53,69	-0,0004	0,0907	0,0000	-0,0400	56,4
CP	Força (N)	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Área (mm ²)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
I3005.1	273536,9	147	74,4	4347,46	1,9758	59,9	-0,0020	0,0907	0,0000	-0,0400	62,8
I3005.2	263124,03	149,25	74,45	4353,31	2,000	63,4	0,0000	0,0907	0,0000	-0,0400	66,6
I3005.3	213677,74	147,65	74,4	4347,46	1,9845	49,15	-0,0013	0,0907	0,0000	-0,0400	51,6
I3005.4	234893,35	149,75	74,4	4347,46	2,000	54,03	0,0000	0,0907	0,0000	-0,0400	56,8
Média	246308,00	148,41	74,41	4348,92	1,9901	56,63	-0,0008	0,0907	0,0000	-0,0400	59,5
CP	Força (N)	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Área (mm ²)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
H3005.1	260536,03	148,2	74,35	4341,62	1,9933	60,0	-0,0006	0,0908	0,0000	-0,0400	63,0
H3005.2	276064,06	147,9	74,4	4347,46	1,9879	63,5	-0,0010	0,0907	0,0000	-0,0400	66,7
H3005.3	270151,26	146,65	74,4	4347,46	1,9711	62,14	-0,0024	0,0907	0,0000	-0,0400	65,1
H3005.4	272542,37	148,1	74,4	4347,46	1,9906	62,69	-0,0008	0,0907	0,0000	-0,0400	65,8
Média	269823,43	147,71	74,39	4346,00	1,9857	62,08	-0,0012	0,0907	0,0000	-0,0400	65,2
CP	Força (N)	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Área (mm ²)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
V3010.1	157411,63	144,9	74,65	4376,73	1,9411	36,0	-0,0049	0,0904	0,0000	-0,0400	37,6
V3010.2	156528,66	144,6	74,8	4394,33	1,9332	35,6	-0,0056	0,0902	0,0000	-0,0400	37,2
V3010.3	141747,30	145,65	74,75	4388,46	1,9485	32,3	-0,0043	0,0903	0,0000	-0,0400	33,8
V3010.4	147101,22	143,15	74,75	4388,46	1,9151	33,52	-0,0071	0,0903	0,0000	-0,0400	35,0
Média	150697,20	144,58	74,74	4387,00	1,9344	34,35	-0,0055	0,0903	0,0000	-0,0400	35,9
CP	Força (N)	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Área (mm ²)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
I3010.1	270035,53	182,55	93,65	6888,20	1,9493	39,2	-0,0042	0,0676	0,0000	-0,0400	40,1
I3010.2	209476,2	169,25	93,65	6888,20	1,8073	30,4	-0,0156	0,0676	0,0000	-0,0400	30,8
I3010.3	304722,38	181,8	93,85	6917,65	1,9371	44,05	-0,0052	0,0674	0,0000	-0,0400	45,0
I3010.4	189687,15	180,95	93,8	6910,28	1,9291	27,45	-0,0059	0,0674	0,0000	-0,0400	28,0
Média	243480,31	178,64	93,74	6901,08	1,9057	35,28	-0,0079	0,0675	0,0000	-0,0400	36,0
CP	Força (N)	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Área (mm ²)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
H3010.1	136890,27	144,35	75	4417,86	1,9247	31,0	-0,0063	0,0900	0,0000	-0,0400	32,3
H3010.2	202595,16	143,95	74,95	4411,98	1,9206	45,9	-0,0066	0,0901	0,0000	-0,0400	47,9
H3010.3	189172,97	146,1	75	4417,86	1,9480	42,82	-0,0043	0,0900	0,0000	-0,0400	44,8
H3010.4	311564,52	172,75	93,6	6880,84	1,8456	45,28	-0,0126	0,0677	0,0000	-0,0400	46,0
Média	210055,73	151,79	79,64	5032,14	1,9097	41,25	-0,0075	0,0844	0,0000	-0,0400	42,8
CP	Força (N)	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Área (mm ²)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
V3015.1	171021,48	143,65	74,35	4341,62	1,9321	39,4	-0,0057	0,0908	0,0000	-0,0400	41,2
V3015.2	185788,34	140,1	74,4	4347,46	1,8831	42,7	-0,0097	0,0907	0,0000	-0,0400	44,5
V3015.3	180897,88	141,9	74,4	4347,46	1,9073	41,61	-0,0077	0,0907	0,0000	-0,0400	43,4
V3015.4	171811,68	141,55	74,4	4347,46	1,9026	39,52	-0,0081	0,0907	0,0000	-0,0400	41,2

Média	177379,84	141,80	74,39	4346,00	1,9062	40,81	-0,0078	0,0907	0,0000	-0,0400	42,6
CP	Força (N)	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
I3015.1	178359,25	142,9	74,45	4353,31	1,9194	41,0	-0,0067	0,0907	0,0000	-0,0400	42,8
I3015.2	145659,03	143,65	74,4	4347,46	1,9308	33,5	-0,0058	0,0907	0,0000	-0,0400	35,0
I3015.3	198585,71	145,55	74,35	4341,62	1,9576	45,74	-0,0035	0,0908	0,0000	-0,0400	47,9
I3015.4	156204,29	142,2	74,4	4347,46	1,9113	35,93	-0,0074	0,0907	0,0000	-0,0400	37,5
Média	169702,07	143,58	74,40	4347,46	1,9298	39,04	-0,0059	0,0907	0,0000	-0,0400	40,8
CP	Força (N)	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
B315.1	195013,81	142,85	74,3	4335,78	1,9226	45,0	-0,0064	0,0908	0,0000	-0,0400	47,0
H3015.2	191177,48	144,35	74,4	4347,46	1,9402	44,0	-0,0050	0,0907	0,0000	-0,0400	46,0
H3015.3	180550,08	143,25	74,4	4347,46	1,9254	41,53	-0,0062	0,0907	0,0000	-0,0400	43,4
H3015.4	195766,19	143,35	74,4	4347,46	1,9267	45,03	-0,0061	0,0907	0,0000	-0,0400	47,0
Média	190626,89	143,45	74,38	4344,54	1,9287	43,88	-0,0059	0,0908	0,0000	-0,0400	45,8
CP	Força (N)	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
V4500.1	223938,59	129,95	93,9	6925,02	1,3839	32,3	-0,0540	0,0673	0,0000	-0,0400	31,5
V4500.2	333152,41	106,3	93,3	6836,80	1,1393	48,7	-0,1002	0,0680	0,0000	-0,0400	45,2
V4500.3	291163,79	163,3	93,85	6917,65	1,7400	42,09	-0,0208	0,0674	0,0000	-0,0400	42,4
V4500.4	313980,43	163,2	93,9	6925,02	1,7380	45,34	-0,0210	0,0673	0,0000	-0,0400	45,6
Média	290558,80	140,69	93,74	6901,12	1,5003	42,12	-0,0400	0,0675	0,0000	-0,0400	41,6
CP	Força (N)	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
I4500.1	387196,06	129,8	93,9	6925,02	1,3823	55,9	-0,0542	0,0673	0,0000	-0,0400	54,4
I4500.2	237061,3	162,7	93,9	6925,02	1,7327	34,2	-0,0214	0,0673	0,0000	-0,0400	34,4
I4500.3	354428,19	165,65	93,8	6910,28	1,7660	51,29	-0,0188	0,0674	0,0000	-0,0400	51,7
I4500.4	335701,34	164,55	93,8	6910,28	1,7543	48,58	-0,0197	0,0674	0,0000	-0,0400	49,0
Média	328596,72	155,68	93,85	6917,65	1,6588	47,50	-0,0276	0,0674	0,0000	-0,0400	47,5
CP	Força (N)	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
H4500.1	363569,09	151	93,4	6851,47	1,6167	53,1	-0,0310	0,0679	0,0000	-0,0400	52,9
H4500.2	289186,78	155,05	93,85	6917,65	1,6521	41,8	-0,0282	0,0674	0,0000	-0,0400	41,8
H4500.3	295314,38	155,3	93,85	6917,65	1,6548	42,69	-0,0279	0,0674	0,0000	-0,0400	42,7
H4500.4	358919,87	170,05	93,8	6910,28	1,8129	51,94	-0,0152	0,0674	0,0000	-0,0400	52,6
Média	326747,53	157,85	93,73	6899,26	1,6841	47,37	-0,0255	0,0675	0,0000	-0,0400	47,5
CP	Força (N)	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
V4505.1	292840,44	170,6	93,8	6910,28	1,8188	42,4	-0,0147	0,0674	0,0000	-0,0400	42,9
V4505.2	318233,31	171	93,85	6917,65	1,8221	46,0	-0,0145	0,0674	0,0000	-0,0400	46,6
V4505.3	246406,61	160,35	93,85	6917,65	1,7086	35,62	-0,0235	0,0674	0,0000	-0,0400	35,8
V4505.4	165017,45	181,05	93,8	6910,28	1,9302	23,88	-0,0058	0,0674	0,0000	-0,0400	24,4
Média	255624,45	170,75	93,83	6913,96	1,8199	36,97	-0,0146	0,0674	0,0000	-0,0400	37,4
CP	Força (N)	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
I4505.1	306541,63	146,6	93,85	6917,65	1,5621	44,3	-0,0352	0,0674	0,0000	-0,0400	44,0
I4505.2	312326,59	167,25	93,85	6917,65	1,7821	45,1	-0,0175	0,0674	0,0000	-0,0400	45,6
I4505.3	337027,79	171,5	93,85	6917,65	1,8274	48,72	-0,0140	0,0674	0,0000	-0,0400	49,4
I4505.4	326306,97	174,95	93,9	6925,02	1,8632	47,12	-0,0113	0,0673	0,0000	-0,0400	47,9
Média	320550,74	165,08	93,86	6919,49	1,7587	46,33	-0,0193	0,0674	0,0000	-0,0400	46,7
CP	Força (N)	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
H4505.1	263245,81	165,9	93,85	6917,65	1,7677	38,1	-0,0186	0,0674	0,0000	-0,0400	38,4
H4505.2	364238,94	162,75	93,9	6925,02	1,7332	52,6	-0,0214	0,0673	0,0000	-0,0400	52,9
H4505.3	356120,50	168,35	93,85	6917,65	1,7938	51,48	-0,0166	0,0674	0,0000	-0,0400	52,0
H4505.4	273923,44	167	93,8	6910,28	1,7804	39,64	-0,0177	0,0674	0,0000	-0,0400	40,0
Média	314382,17	166,00	93,85	6917,65	1,7688	45,44	-0,0186	0,0674	0,0000	-0,0400	45,8
CP	Força (N)	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
V4510.1	294819,5	169,85	93,35	6844,13	1,8195	43,1	-0,0147	0,0680	0,0000	-0,0400	43,7
V4510.2	286720,56	150,45	93,4	6851,47	1,6108	41,8	-0,0315	0,0679	0,0000	-0,0400	41,7
V4510.3	265376,74	152,5	92,7	6749,15	1,6451	39,32	-0,0287	0,0688	0,0000	-0,0400	39,3
V4510.4	322711,21	170	93,75	6902,91	1,8133	46,75	-0,0151	0,0675	0,0000	-0,0400	47,3
Média	292407,00	160,70	93,30	6836,92	1,7222	42,75	-0,0223	0,0680	0,0000	-0,0400	43,0
CP	Força (N)	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
I4510.1	258130,7	144,55	93,4	6851,47	1,5476	37,7	-0,0363	0,0679	0,0000	-0,0400	37,4
I4510.2	283175,34	155	93,85	6917,65	1,6516	40,9	-0,0282	0,0674	0,0000	-0,0400	40,9
I4510.3	272886,90	154,35	93,8	6910,28	1,6455	39,49	-0,0287	0,0674	0,0000	-0,0400	39,4

I4510.4	272901,20	151,7	93,85	6917,65	1,6164	39,45	-0,0310	0,0674	0,0000	-0,0400	39,3
Média	271773,54	151,40	93,73	6899,26	1,6153	39,39	-0,0311	0,0675	0,0000	-0,0400	39,2
CP	Força (N)	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
H4510.1	438377,66	135,3	93,8	6910,28	1,4424	63,4	-0,0472	0,0674	0,0000	-0,0400	62,2
H4510.2	293175,34	168,25	93,9	6925,02	1,7918	42,3	-0,0168	0,0673	0,0000	-0,0400	42,8
H4510.3	334664,79	175,2	93,8	6910,28	1,8678	48,43	-0,0109	0,0674	0,0000	-0,0400	49,2
H4510.4	314417,68	169,55	93,8	6910,28	1,8076	45,5	-0,0156	0,0674	0,0000	-0,0400	46,0
Média	345158,87	162,08	93,83	6913,96	1,7274	49,93	-0,0219	0,0674	0,0000	-0,0400	50,2
CP	Força (N)	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
V4515.1	318020,19	173,45	93,85	6917,65	1,8482	46,0	-0,0124	0,0674	0,0000	-0,0400	46,7
V4515.2	274602,59	150,35	93,8	6910,28	1,6029	39,7	-0,0321	0,0674	0,0000	-0,0400	39,6
V4515.3	348485,35	180,8	93,8	6910,28	1,9275	50,43	-0,0060	0,0674	0,0000	-0,0400	51,5
V4515.4	312897,42	152,7	93,8	6910,28	1,6279	45,28	-0,0302	0,0674	0,0000	-0,0400	45,2
Média	313501,39	164,33	93,81	6912,12	1,7516	45,36	-0,0199	0,0674	0,0000	-0,0400	45,7
CP	Força (N)	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
I4515.1	248539,86	185,95	94,5	7013,80	1,9677	35,4	-0,0027	0,0666	0,0000	-0,0400	36,3
I4515.2	344509,19	157,45	93	6792,91	1,6930	50,7	-0,0247	0,0684	0,0000	-0,0400	50,9
I4515.3	292650,30	181,2	93,8	6910,28	1,9318	42,35	-0,0057	0,0674	0,0000	-0,0400	43,3
I4515.4	317312,50	180,45	93,85	6917,65	1,9227	45,87	-0,0064	0,0674	0,0000	-0,0400	46,8
Média	300752,96	176,26	93,79	6908,66	1,8788	43,59	-0,0101	0,0675	0,0000	-0,0400	44,3
CP	Força (N)	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Área (mm2)	H/D	Tensão (Mpa)	K1	K2	K3	K4	Tensão Corr (Mpa)
H4515.1	309616,78	124,8	93,55	6873,49	1,3340	45,0	-0,0596	0,0677	0,0000	-0,0400	43,6
H4515.2	273536,94	158,8	93,8	6910,28	1,6930	39,6	-0,0248	0,0674	0,0000	-0,0400	39,7
H4515.3	316076,14	164,2	93,8	6910,28	1,7505	45,74	-0,0200	0,0674	0,0000	-0,0400	46,1
H4515.4	283736,04	175,7	93,8	6910,28	1,8731	41,06	-0,0105	0,0674	0,0000	-0,0400	41,8
Média	295741,48	155,88	93,74	6901,08	1,6627	42,86	-0,0273	0,0675	0,0000	-0,0400	42,9

APÊNDICE Ò – RESULTADOS
BRUTOS DO MÓDULO DE
ELASTICIDADE

MOD ELASTICIDADE

CP	Tensão 30% (Mpa)	Deform 30% (%)	Deform 0,5MPA (%)	Mod Elasticidade (Gpa)
V3000.3	15,42	0,056	0,001	27,13
V3000.4	15,4	0,059	0,002	26,14
Média	15,41	0,06	0,00	26,63
CP	Tensão 30% (Mpa)	Deform 30% (%)	Deform 0,5MPA (%)	Mod Elasticidade (Gpa)
I3000.3	16,68	0,059	0,001	27,90
I3000.4	16,68	0,074	0,001	22,16
Média	16,68	0,07	0,00	25,03
CP	Tensão 30% (Mpa)	Deform 30% (%)	Deform 0,5MPA (%)	Mod Elasticidade (Gpa)
H3000.3	15,48	0,053	0,001	28,81
H3000.4	15,52	0,056	0,001	27,31
Média	15,50	0,05	0,00	28,06
CP	Tensão 30% (Mpa)	Deform 30% (%)	Deform 0,5MPA (%)	Mod Elasticidade (Gpa)
V3005.3				34,26
V3005.4				33,09
Média	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	33,68
CP	Tensão 30% (Mpa)	Deform 30% (%)	Deform 0,5MPA (%)	Mod Elasticidade (Gpa)
I3005.3	18,52	0,066	0,005	29,54
I3005.4	18,52	0,059	0,003	32,18
Média	18,52	0,06	0,00	30,86
CP	Tensão 30% (Mpa)	Deform 30% (%)	Deform 0,5MPA (%)	Mod Elasticidade (Gpa)
H3005.3	18,51	0,052	0,002	36,02
H3005.4	18,51	0,046	0	39,15
Média	18,51	0,05	0,00	37,59
CP	Tensão 30% (Mpa)	Deform 30% (%)	Deform 0,5MPA (%)	Mod Elasticidade (Gpa)
V3010.3	10,73	0,057	0,006	20,06
V3010.4	10,73	0,056	0,001	18,60
Média	10,73	0,06	0,00	19,33
CP	Tensão 30% (Mpa)	Deform 30% (%)	Deform 0,5MPA (%)	Mod Elasticidade (Gpa)
I3010.3	10,4	0,042	0,002	24,75
I3010.4	10,41	0,028	0,001	36,70
Média	10,41	0,04	0,00	30,73
CP	Tensão 30% (Mpa)	Deform 30% (%)	Deform 0,5MPA (%)	Mod Elasticidade (Gpa)
H3010.3	11,62	0,03	-0,009	28,51
H3010.4	7,4	0,025	0,002	30,00
Média	9,51	0,03	0,00	29,26
CP	Tensão 30% (Mpa)	Deform 30% (%)	Deform 0,5MPA (%)	Mod Elasticidade (Gpa)
V3015.3	12,31	0,115	0,003	10,54
V3015.4	12,31	0,052	0,005	25,13
Média	12,31	0,08	0,00	17,84
CP	Tensão 30% (Mpa)	Deform 30% (%)	Deform 0,5MPA (%)	Mod Elasticidade (Gpa)
I3015.3	11,19	0,038	0,001	28,89
I3015.4	11,18	0,044	0	24,27
Média	11,19	0,04	0,00	26,58

CP	Tensão 30% (Mpa)	Deform 30% (%)	Deform 0,5MPA (%)	Mod Elasticidade (Gpa)
H3015.3	11,18	0,039	0,001	28,11
H3015.4	11,18	0,041	0,002	27,38
Média	11,18	0,04	0,00	27,74

CP	Tensão 30% (Mpa)	Deform 30% (%)	Deform 0,5MPA (%)	Mod Elasticidade (Gpa)
V4500.3	13,25	0,055	0,001	23,61
V4500.4	13,26	0,053	0,005	26,58
Média	13,26	0,05	0,00	25,10

CP	Tensão 30% (Mpa)	Deform 30% (%)	Deform 0,5MPA (%)	Mod Elasticidade (Gpa)
I4500.3	13,55	0,042	0	31,07
I4500.4	13,55	0,049	0,002	27,77
Média	13,55	0,05	0,00	29,42

CP	Tensão 30% (Mpa)	Deform 30% (%)	Deform 0,5MPA (%)	Mod Elasticidade (Gpa)
H4500.3	14,15	0,057	0,008	27,86
H4500.4	14,17	0,122	0,078	31,07
Média	14,16	0,09	0,04	29,46

CP	Tensão 30% (Mpa)	Deform 30% (%)	Deform 0,5MPA (%)	Mod Elasticidade (Gpa)
V4505.3	13,26	0,078	0,002	16,79
V4505.4	13,25	0,144	0,005	9,17
Média	13,26	0,11	0,00	16,79

CP	Tensão 30% (Mpa)	Deform 30% (%)	Deform 0,5MPA (%)	Mod Elasticidade (Gpa)
I4505.3	13,43	0,03	0,002	46,18
I4505.4	13,42	0,049	0,002	27,49
Média	13,43	0,04	0,00	36,83

CP	Tensão 30% (Mpa)	Deform 30% (%)	Deform 0,5MPA (%)	Mod Elasticidade (Gpa)
H4505.3	13,61	0,05	0,002	27,31
H4505.4	13,62	0,054	0,002	25,23
Média	13,62	0,05	0,00	26,27

CP	Tensão 30% (Mpa)	Deform 30% (%)	Deform 0,5MPA (%)	Mod Elasticidade (Gpa)
V4510.3	12,91	0,048	0,002	26,98
V4510.4	12,62	0,043	0,001	28,86
Média	12,77	0,05	0,00	27,92

CP	Tensão 30% (Mpa)	Deform 30% (%)	Deform 0,5MPA (%)	Mod Elasticidade (Gpa)
I4510.3	11,85	0,046	0,002	25,80
I4510.4	11,84	0,055	0,003	21,81
Média	11,85	0,05	0,00	23,80

CP	Tensão 30% (Mpa)	Deform 30% (%)	Deform 0,5MPA (%)	Mod Elasticidade (Gpa)
H4510.3	15,88	0,054	0,001	29,02
H4510.4	15,88	0,061	0,001	25,63
Média	15,88	0,06	0,00	27,33

CP	Tensão 30% (Mpa)	Deform 30% (%)	Deform 0,5MPA (%)	Mod Elasticidade (Gpa)
V4515.3	12,66	0,051	0,006	27,02
V4515.4	12,66	0,089	0,004	14,31
Média	12,66	0,07	0,01	20,66

CP	Tensão 30% (Mpa)	Deform 30% (%)	Deform 0,5MPA (%)	Mod Elasticidade (Gpa)

I4515.3	12,87	0,058	0,001	21,70
I4515.4	12,86	0,071	0,002	17,91
Média	12,87	0,06	0,00	19,81
CP	Tensão 30% (Mpa)	Deform 30% (%)	Deform 0,5MPA (%)	Mod Elasticidade (Gpa)
H4515.3	12,86	0,055	0,002	23,32
H4515.4	12,86	0,078	0,002	16,26
Média	12,86	0,067	0,002	19,79

APÊNDICE Ø – RESULTADOS
BRUTOS DA ABSORÇÃO POR
IMERSÃO

	Corpo	Peso Seco	Tempo submerso (min)								Saturado Imerso	
			5	15	30	60	120	1440	2880	4320		
I3000	I3000.1	1054	1068	1074	1083	1090	1096	1105	1108	1112	627	
	I3000.2	1245	1262	1271	1279	1287	1294	1304	1311	1316	740	
	I3000.3	1635	1656	1668	1679	1689	1698	1710	1719	1724	967	
	Corpo	Peso Seco	Tempo submerso (min)								Saturado Imerso	
			5	15	30	60	120	1440	2880	4320		
H3000	H3000.1	1855	1881	1899	1910	1923	1931	1947	1956	1964	1073	
	H3000.2	1896	1919	1931	1942	1953	1961	1974	1981	1984	1100	
	H3000.3	1968	1995	2011	2022	2035	2044	2057	2064	2068	1139	
DADOS PERCENTUAIS ABSORÇÃO POR IMERSÃO												
	Corpo	Peso Seco	Tempo submerso (min)								Indice de vazios	MEsp seca
			5	15	30	60	120	1440	2880	4320		
V3015	V3015.1	0,00%	1,28%	1,89%	2,44%	3,05%	3,44%	3,83%	4,16%	4,16%	8,99	2,16
	V3015.2	0,00%	1,35%	2,08%	2,64%	3,31%	3,87%	4,32%	4,43%	4,49%	9,63	2,14
	V3015.3	0,00%	1,32%	1,98%	2,53%	3,19%	3,63%	4,07%	4,29%	4,29%	9,23	2,15
	Média	0,00%	1,31%	1,98%	2,54%	3,19%	3,65%	4,07%	4,30%	4,31%	9,28	2,15
	Corpo	Peso Seco	Tempo submerso (min)								Indice de vazios	MEsp seca
			5	15	30	60	120	1440	2880	4320		
I3015	I3015.1	0,00%	1,62%	1,84%	2,34%	2,84%	3,01%	3,57%	3,57%	3,73%	8,20	2,20
	I3015.2	0,00%	1,49%	1,93%	2,42%	2,92%	3,30%	3,91%	4,13%	4,13%	8,99	2,18
	I3015.3	0,00%	1,55%	1,88%	2,38%	2,88%	3,15%	3,71%	3,82%	3,93%	8,56	2,18
	Média	0,00%	1,55%	1,88%	2,38%	2,88%	3,15%	3,73%	3,84%	3,93%	8,59	2,19
	Corpo	Peso Seco	Tempo submerso (min)								Indice de vazios	MEsp seca
			5	15	30	60	120	1440	2880	4320		
H3015	H3015.1	0,00%	1,07%	1,54%	1,96%	2,44%	2,73%	3,33%	3,57%	3,57%	7,91	2,22
	H3015.2	0,00%	1,22%	1,69%	2,16%	2,68%	2,97%	3,55%	3,61%	3,73%	8,24	2,21
	H3015.3	0,00%	1,12%	1,62%	2,07%	2,58%	2,86%	3,42%	3,59%	3,64%	8,06	2,21
	Média	0,00%	1,14%	1,62%	2,06%	2,56%	2,85%	3,43%	3,59%	3,65%	8,07	2,21
	Corpo	Peso Seco	Tempo submerso (min)								Indice de vazios	MEsp seca
			5	15	30	60	120	1440	2880	4320		
V3010	V3010.1	0,00%	0,49%	0,76%	1,03%	1,33%	1,94%	2,74%	4,87%	4,91%	10,58	2,16
	V3010.2	0,00%	0,76%	1,52%	2,61%	3,37%	3,88%	4,79%	4,93%	5,00%	10,49	2,10
	V3010.3	0,00%	0,58%	1,12%	2,56%	3,11%	3,90%	4,62%	4,73%	4,77%	10,19	2,14
	Média	0,00%	0,61%	1,13%	2,07%	2,60%	3,24%	4,05%	4,84%	4,89%	10,42	2,13
	Corpo	Peso Seco	Tempo submerso (min)								Indice de vazios	MEsp seca
			5	15	30	60	120	1440	2880	4320		
I3010	I3010.1	0,00%	1,25%	1,91%	2,47%	3,10%	3,62%	4,18%	4,32%	4,42%	9,48	2,15
	I3010.2	0,00%	1,27%	2,00%	2,58%	3,17%	3,62%	4,24%	4,37%	4,44%	9,48	2,13
	I3010.3	0,00%	1,27%	1,96%	2,51%	3,13%	3,61%	4,20%	4,33%	4,44%	9,49	2,14
	Média	0,00%	1,27%	1,96%	2,52%	3,13%	3,62%	4,20%	4,34%	4,43%	9,48	2,14
	Corpo	Peso Seco	Tempo submerso (min)								Indice de vazios	MEsp seca
			5	15	30	60	120	1440	2880	4320		
H3010	H3010.1	0,00%	1,22%	1,81%	2,39%	3,09%	3,79%	4,55%	4,60%	4,66%	10,01	2,15
	H3010.2	0,00%	1,28%	2,03%	2,67%	3,31%	3,90%	4,38%	4,54%	4,64%	9,94	2,14
	H3010.3	0,00%	1,02%	1,67%	2,10%	2,63%	3,06%	3,44%	3,65%	3,71%	8,00	2,16
	Média	0,00%	1,18%	1,83%	2,38%	3,01%	3,58%	4,12%	4,26%	4,34%	9,32	2,15
	Corpo	Peso Seco	Tempo submerso (min)								Indice de vazios	MEsp seca
			5	15	30	60	120	1440	2880	4320		
V3005	V3005.1	0,00%	1,56%	2,43%	3,07%	3,67%	4,05%	5,07%	5,50%	5,83%	12,11	2,08
	V3005.2	0,00%	1,69%	2,41%	2,97%	3,43%	3,74%	4,46%	4,92%	5,48%	11,54	2,11
	V3005.3	0,00%	0,97%	2,27%	2,92%	3,84%	4,44%	5,31%	5,96%	6,39%	13,17	2,06
	Média	0,00%	1,41%	2,37%	2,99%	3,65%	4,07%	4,94%	5,46%	5,90%	12,27	2,08

	Corpo	Peso Seco	Tempo submerso (min)								Indice de vazios	MEsp seca
			5	15	30	60	120	1440	2880	4320		
I3005	I3005.1	0,00%	0,93%	1,32%	1,87%	2,53%	3,13%	4,83%	4,94%	5,05%	11,06	2,19
	I3005.2	0,00%	0,93%	1,48%	1,91%	2,63%	3,17%	5,31%	5,36%	5,47%	11,92	2,18
	I3005.3	0,00%	0,95%	1,39%	1,89%	2,56%	3,17%	5,06%	5,17%	5,28%	11,53	2,18
Média		0,00%	0,94%	1,40%	1,89%	2,57%	3,16%	5,07%	5,16%	5,27%	11,50	2,18
	Corpo	Peso Seco	Tempo submerso (min)								Indice de vazios	MEsp seca
			5	15	30	60	120	1440	2880	4320		
H3005	H3005.1	0,00%	1,29%	1,66%	2,20%	2,85%	3,71%	5,96%	6,02%	6,07%	12,96	2,14
	H3005.2	0,00%	1,18%	1,84%	2,36%	2,91%	3,29%	3,78%	3,84%	3,98%	8,59	2,16
	H3005.3	0,00%	1,23%	1,74%	2,29%	2,87%	3,49%	4,85%	4,92%	5,03%	10,78	2,14
Média		0,00%	1,23%	1,75%	2,28%	2,88%	3,49%	4,86%	4,93%	5,03%	10,78	2,15
	Corpo	Peso Seco	Tempo submerso (min)								Indice de vazios	MEsp seca
			5	15	30	60	120	1440	2880	4320		
V3000	V3000.1	0,00%	1,32%	1,95%	2,64%	3,38%	4,11%	5,22%	6,38%	7,86%	17,72	2,25
	V3000.2	0,00%	1,42%	2,29%	2,90%	3,61%	4,17%	4,93%	5,49%	5,95%	12,66	2,13
	V3000.3	0,00%	1,21%	1,68%	2,42%	3,03%	3,64%	4,58%	5,32%	5,99%	13,26	2,21
Média		0,00%	1,32%	1,97%	2,65%	3,34%	3,97%	4,91%	5,73%	6,60%	14,55	2,20
	Corpo	Peso Seco	Tempo submerso (min)								Indice de vazios	MEsp seca
			5	15	30	60	120	1440	2880	4320		
I3000	I3000.1	0,00%	1,33%	1,90%	2,75%	3,42%	3,98%	4,84%	5,12%	5,50%	11,96	2,17
	I3000.2	0,00%	1,37%	2,09%	2,73%	3,37%	3,94%	4,74%	5,30%	5,70%	12,33	2,16
	I3000.3	0,00%	1,28%	2,02%	2,69%	3,30%	3,85%	4,59%	5,14%	5,44%	11,76	2,16
Média		0,00%	1,33%	2,00%	2,72%	3,36%	3,92%	4,72%	5,19%	5,55%	12,01	2,16
	Corpo	Peso Seco	Tempo submerso (min)								Indice de vazios	MEsp seca
			5	15	30	60	120	1440	2880	4320		
H3000	B3000.1	0,00%	1,40%	2,37%	2,96%	3,67%	4,10%	4,96%	5,44%	5,88%	12,23	2,08
	B3000.2	0,00%	1,21%	1,85%	2,43%	3,01%	3,43%	4,11%	4,48%	4,64%	9,95	2,14
	B3000.3	0,00%	1,37%	2,18%	2,74%	3,40%	3,86%	4,52%	4,88%	5,08%	10,76	2,12
Média		0,00%	1,33%	2,13%	2,71%	3,36%	3,80%	4,53%	4,94%	5,20%	10,98	2,12

H4500	H4500.1	1429	1448	1458	1466	1475	1483	1489	1491	1492	826	
	H4500.2	1652	1667	1676	1683	1695	1704	1738	1739	1741	983	
	H4500.3	1254	1269	1277	1284	1292	1300	1321	1324	1324	734	
DADOS PERCENTUAIS ABSORÇÃO POR IMERSÃO												
	Corpo	Peso Seco	Tempo submerso (min)								Indice de vazios	MEsp seca
			5	15	30	60	120	1440	2880	4320		
V4515	V4515.1	0,00%	1,12%	1,84%	2,39%	2,95%	3,51%	3,91%	4,07%	4,15%	8,93	2,15
	V4515.2	0,00%	1,24%	1,90%	2,48%	3,07%	3,51%	4,02%	4,24%	4,31%	9,26	2,15
	V4515.3	0,00%	1,05%	1,44%	1,97%	2,56%	3,02%	4,14%	4,27%	4,33%	9,54	2,20
Média		0,00%	1,14%	1,73%	2,28%	2,86%	3,35%	4,02%	4,19%	4,26%	9,24	2,17
	Corpo	Peso Seco	Tempo submerso (min)								Indice de vazios	MEsp seca
			5	15	30	60	120	1440	2880	4320		
I4515	I4515.1	0,00%	1,16%	1,61%	2,07%	2,62%	2,97%	3,78%	3,93%	3,98%	8,76	2,20
	I4515.2	0,00%	1,19%	1,83%	2,23%	2,78%	3,26%	3,82%	4,05%	4,05%	8,73	2,15
	I4515.3	0,00%	1,49%	1,89%	2,37%	2,91%	3,25%	3,79%	3,99%	4,06%	8,84	2,18
Média		0,00%	1,28%	1,78%	2,22%	2,77%	3,16%	3,79%	3,99%	4,03%	8,78	2,18
	Corpo	Peso Seco	Tempo submerso (min)								Indice de vazios	MEsp seca
			5	15	30	60	120	1440	2880	4320		
H4515	H4515.1	0,00%	1,28%	1,69%	2,16%	2,63%	2,97%	3,51%	3,71%	3,78%	8,30	2,20
	H4515.2	0,00%	1,20%	1,67%	2,14%	2,60%	2,94%	3,47%	3,60%	3,67%	8,12	2,21
	H4515.3	0,00%	1,14%	1,62%	2,09%	2,56%	2,83%	3,43%	3,57%	3,63%	8,05	2,21
Média		0,00%	1,21%	1,66%	2,13%	2,60%	2,91%	3,47%	3,63%	3,69%	8,16	2,21
	Corpo	Peso Seco	Tempo submerso (min)								Indice de vazios	MEsp seca
			5	15	30	60	120	1440	2880	4320		
V4510	V4510.1	0,00%	1,32%	1,82%	2,43%	3,14%	3,75%	4,36%	4,46%	4,56%	9,76	2,14
	V4510.2	0,00%	1,38%	1,78%	2,34%	2,85%	3,36%	4,43%	4,48%	4,58%	9,91	2,16
	V4510.3	0,00%	1,23%	1,90%	2,56%	3,22%	3,89%	4,45%	4,55%	4,64%	9,96	2,14
Média		0,00%	1,31%	1,83%	2,44%	3,07%	3,67%	4,41%	4,50%	4,60%	9,88	2,15
	Corpo	Peso Seco	Tempo submerso (min)								Indice de vazios	MEsp seca
			5	15	30	60	120	1440	2880	4320		
I4510	I4510.1	0,00%	1,56%	1,89%	2,37%	2,91%	3,18%	3,72%	3,86%	3,92%	8,59	2,19
	I4510.2	0,00%	1,33%	1,96%	2,52%	3,15%	3,64%	4,06%	4,27%	4,34%	9,34	2,15
	I4510.3	0,00%	1,26%	1,89%	2,52%	3,15%	3,68%	4,31%	4,42%	4,42%	9,46	2,14
Média		0,00%	1,38%	1,92%	2,47%	3,07%	3,50%	4,03%	4,18%	4,23%	9,13	2,16
	Corpo	Peso Seco	Tempo submerso (min)								Indice de vazios	MEsp seca
			5	15	30	60	120	1440	2880	4320		
H4510	B4510.1	0,00%	1,55%	1,88%	2,39%	2,85%	3,17%	3,75%	3,82%	3,95%	8,64	2,19
	B4510.2	0,00%	1,49%	1,92%	2,40%	2,88%	3,25%	3,78%	4,00%	4,05%	8,83	2,18
	B4510.3											
Média		0,00%	1,52%	1,90%	2,40%	2,86%	3,21%	3,77%	3,91%	4,00%	8,73	2,18
	Corpo	Peso Seco	Tempo submerso (min)								Indice de vazios	MEsp seca
			5	15	30	60	120	1440	2880	4320		
V4505	V4505.1	0,00%	1,43%	1,77%	2,32%	2,86%	3,27%	4,23%	4,23%	4,36%	9,47	2,17
	V4505.2	0,00%	1,06%	1,47%	2,12%	2,89%	3,47%	5,71%	5,77%	5,83%	12,53	2,15
	V4505.3	0,00%	1,32%	1,81%	2,37%	2,99%	3,69%	5,01%	5,15%	5,15%	11,04	2,14
Média		0,00%	1,27%	1,68%	2,27%	2,91%	3,48%	4,98%	5,05%	5,11%	11,01	2,15
	Corpo	Peso Seco	Tempo submerso (min)								Indice de vazios	MEsp seca
			5	15	30	60	120	1440	2880	4320		
I4505	I4505.1	0,00%	1,24%	1,72%	2,27%	2,88%	3,50%	4,88%	4,95%	5,01%	10,77	2,15
	I4505.2	0,00%	1,09%	1,64%	2,24%	2,95%	3,44%	4,86%	4,91%	4,97%	10,64	2,14
	I4505.3	0,00%	1,24%	1,94%	2,56%	3,11%	3,65%	4,20%	4,35%	4,43%	9,48	2,14
Média		0,00%	1,19%	1,77%	2,36%	2,98%	3,53%	4,64%	4,74%	4,80%	10,30	2,14
	Corpo	Peso Seco	Tempo submerso (min)								Indice de vazios	MEsp seca
			5	15	30	60	120	1440	2880	4320		
H4505	H4505.1	0,00%	1,32%	2,01%	2,53%	3,17%	3,64%	4,12%	4,33%	4,38%	9,40	2,14
	H4505.2	0,00%	1,11%	1,75%	2,15%	2,78%	3,42%	4,85%	5,17%	5,17%	11,04	2,13
	H4505.3											
Média		0,00%	1,22%	1,88%	2,34%	2,98%	3,53%	4,49%	4,75%	4,78%	10,22	2,14
	Corpo	Peso	Tempo submerso (min)								Indice de	MEsp

	Corpo	Seco	5	15	30	60	120	1440	2880	4320	vazios	seca
V4500	V4500.1	0,00%	0,92%	1,41%	1,90%	2,57%	3,18%	5,08%	5,14%	5,26%	11,48	2,18
	V4500.2	0,00%	1,21%	1,72%	2,47%	3,27%	3,96%	6,49%	6,49%	6,49%	13,70	2,11
	V4500.3											
Média		0,00%	1,06%	1,56%	2,18%	2,92%	3,57%	5,78%	5,81%	5,87%	12,59	2,15
	Corpo	Peso Seco	Tempo submerso (min)								Indice de vazios	MEsp seca
			5	15	30	60	120	1440	2880	4320		
I4500	I4500.1	0,00%	1,19%	1,83%	2,47%	3,18%	4,06%	6,85%	7,01%	7,09%	14,88	2,10
	I4500.2	0,00%	1,17%	1,81%	2,29%	2,93%	3,57%	4,90%	5,17%	5,17%	11,04	2,13
	I4500.3	0,00%	1,23%	1,78%	2,32%	2,87%	3,42%	4,31%	4,37%	4,51%	9,71	2,15
Média		0,00%	1,20%	1,81%	2,36%	3,00%	3,68%	5,35%	5,52%	5,59%	11,87	2,13
	Corpo	Peso Seco	Tempo submerso (min)								Indice de vazios	MEsp seca
			5	15	30	60	120	1440	2880	4320		
H4500	H4500.1	0,00%	1,33%	2,03%	2,59%	3,22%	3,78%	4,20%	4,34%	4,41%	9,46	2,15
	H4500.2	0,00%	0,91%	1,45%	1,88%	2,60%	3,15%	5,21%	5,27%	5,39%	11,74	2,18
	H4500.3	0,00%	1,20%	1,83%	2,39%	3,03%	3,67%	5,34%	5,58%	5,58%	11,86	2,13
Média		0,00%	1,14%	1,77%	2,29%	2,95%	3,53%	4,92%	5,06%	5,13%	11,02	2,15

APÊNDICE Õ – RESULTADOS
BRUTOS DA ABSORÇÃO POR
CAPILARIDADE

DADOS ABSOLUTOS CAPILARIDADE 30								DADOS ABSOLUTOS CAPILARIDADE 40							
	Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)						Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)				
			180	360	1440	2880	4320				180	360	1440	2880	4320
V3015	V3015.1	1712	1725	1727	1730	1733	1738	V4515	V4515.1	1801	1810	1812	1815	1819	1822
	V3015.2	1815	1826	1828	1829	1832	1836		V4515.2	1851	1858	1860	1861	1863	1866
	V3015.3	1743	1754	1756	1758	1762	1768		V4515.3	1830	1842	1844	1848	1851	1854
	Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)						Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)				
			180	360	1440	2880	4320				180	360	1440	2880	4320
I3015	I3015.1	1726	1736	1738	1742	1750	1757	I4515	I4515.1	1864	1880	1881	1886	1890	1898
	I3015.2	1612	1622	1624	1630	1638	1647		I4515.2	1750	1762	1764	1766	1769	1773
	I3015.3	1848	1856	1859	1862	1870	1877		I4515.3						
	Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)						Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)				
			180	360	1440	2880	4320				180	360	1440	2880	4320
H3015	H3015.1	1762	1774	1776	1781	1784	1793	H4515	H4515.1	1734	1748	1750	1756	1761	1769
	H3015.2	1688	1700	1703	1709	1713	1720		H4515.2	1681	1692	1694	1696	1699	1704
	H3015.3	1719	1730	1733	1740	1743	1753		H4515.3	1689	1697	1699	1701	1704	1707
	Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)						Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)				
			180	360	1440	2880	4320				180	360	1440	2880	4320
V3010	V3010.1	1727	1741	1746	1758	1764	1772	V4510	V4510.1	1696	1711	1714	1721	1724	1728
	V3010.2	1709	1720	1724	1730	1736	1743		V4510.2	1697	1710	1713	1720	1724	1730
	V3010.3	1828	1845	1846	1852	1856	1866		V4510.3	1636	1654	1655	1662	1666	1672
	Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)						Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)				
			180	360	1440	2880	4320				180	360	1440	2880	4320
I3010	I3010.1	1783	1795	1796	1799	1802	1805	I4510	I4510.1	1704	1716	1718	1724	1728	1733
	I3010.2	1692	1713	1715	1721	1725	1730		I4510.2	1761	1778	1779	1784	1788	1792
	I3010.3	1736	1752	1753	1761	1766	1773		I4510.3	1646	1659	1662	1669	1674	1682
	Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)						Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)				
			180	360	1440	2880	4320				180	360	1440	2880	4320
H3010	H3010.1	1701	1717	1720	1728	1732	1736	H4510	H4510.1	1518	1528	1530	1534	1539	1542
	H3010.2	1703	1717	1720	1726	1728	1733		H4510.2	1602	1610	1613	1617	1624	1632
	H3010.3	1712	1725	1727	1736	1742	1749		H4510.3	1800	1810	1813	1817	1822	1830
	Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)						Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)				
			180	360	1440	2880	4320				180	360	1440	2880	4320
V3005	V3005.1	1583	1596	1597	1601	1603	1606	V4505	V4505.1	1694	1707	1709	1714	1718	1721
	V3005.2	1695	1709	1712	1717	1719	1723		V4505.2	1609	1623	1626	1633	1636	1641
	V3005.3	1641	1659	1664	1676	1680	1689		V4505.3	1602	1613	1615	1619	1624	1628
	Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)						Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)				
			180	360	1440	2880	4320				180	360	1440	2880	4320
I3005	I3005.1	1689	1705	1706	1712	1717	1719	I4505	I4505.1	1784	1794	1796	1800	1803	1807
	I3005.2	1665	1676	1679	1686	1691	1693		I4505.2	1558	1571	1573	1579	1582	1586
	I3005.3	1669	1681	1683	1684	1687	1691		I4505.3	1743	1752	1754	1758	1760	1766
	Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)						Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)				
			180	360	1440	2880	4320				180	360	1440	2880	4320
H3005	H3005.1	1756	1766	1769	1775	1780	1783	H4505	H4505.1	1870	1884	1886	1889	1892	1896
	H3005.2	1802	1809	1810	1811	1813	1816		H4505.2	1550	1562	1564	1568	1571	1572
	H3005.3	1776	1783	1785	1786	1788	1791		H4505.3						
	Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)						Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)				
			180	360	1440	2880	4320				180	360	1440	2880	4320
V3000	V3000.1	1797	1812	1814	1819	1821	1825	V4500	V4500.1	1667	1681	1683	1689	1693	1698
	V3000.2	1771	1788	1792	1801	1805	1812		V4500.2	1700	1713	1715	1721	1725	1732
	V3000.3	1705	1724	1729	1741	1746	1755		V4500.3	1774	1789	1793	1800	1802	1807
	Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)						Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)				
			180	360	1440	2880	4320				180	360	1440	2880	4320

I3000	I3000.1	1792	1808	1811	1821	1827	1834	I4500	I4500.1	1665	1678	1681	1689	1692	1698
	I3000.2	1784	1797	1802	1811	1817	1825		I4500.2	1781	1794	1796	1800	1804	1808
	I3000.3	1780	1791	1793	1797	1802	1806		I4500.3	1734	1746	1748	1753	1760	1765
	Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)						Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)				
			180	360	1440	2880	4320				180	360	1440	2880	4320
H3000	H3000.1	1687	1699	1701	1707	1710	1718	H4500	H4500.1	1493	1505	1507	1511	1513	1515
	H3000.2	1678	1689	1692	1699	1702	1711		H4500.2	1511	1524	1526	1530	1533	1533
	H3000.3	1708	1721	1724	1732	1735	1742		H4500.3	1755	1766	1768	1773	1781	1790
DADOS PERCENTUAIS CAPILARIDADE								Média	4,06%	4,59%	4,71%	4,86%	5,03%	5,20%	
	Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)						Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)				
			180	360	1440	2880	4320				180	360	1440	2880	4320
V3015	V3015.1	0	0,76%	0,88%	1,05%	1,23%	1,52%	I4515	I4515.1	8,00%	8,92%	8,98%	9,27%	9,50%	9,97%
	V3015.2	0	0,61%	0,72%	0,77%	0,94%	1,16%		I4515.2	8,56%	9,31%	9,43%	9,55%	9,74%	9,99%
	V3015.3	0	0,63%	0,75%	0,86%	1,09%	1,43%		I4515.3						
Média	0,00%	0,67%	0,78%	0,89%	1,08%	1,37%	Média	8,28%	9,11%	9,20%	9,41%	9,62%	9,98%		
	Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)						Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)				
			180	360	1440	2880	4320				180	360	1440	2880	4320
I3015	I3015.1	0,00%	0,58%	0,70%	0,93%	1,39%	1,80%	H4515	H4515.1	-1,59%	-0,79%	-0,68%	-0,34%	-0,06%	0,40%
	I3015.2	0,00%	0,62%	0,74%	1,12%	1,61%	2,17%		H4515.2	-0,41%	0,24%	0,36%	0,47%	0,65%	0,95%
	I3015.3	0,00%	0,43%	0,60%	0,76%	1,19%	1,57%		H4515.3	-1,75%	-1,28%	-1,16%	-1,05%	-0,87%	-0,70%
Média	0,00%	0,54%	0,68%	0,93%	1,40%	1,85%	Média	-1,25%	-0,61%	-0,50%	-0,30%	-0,09%	0,22%		
	Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)						Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)				
			180	360	1440	2880	4320				180	360	1440	2880	4320
H3015	H3015.1	0,00%	0,68%	0,79%	1,08%	1,25%	1,76%	V4510	V4510.1	-1,80%	-0,93%	-0,75%	-0,35%	-0,17%	0,06%
	H3015.2	0,00%	0,71%	0,89%	1,24%	1,48%	1,90%		V4510.2	-0,70%	0,06%	0,23%	0,64%	0,88%	1,23%
	H3015.3	0,00%	0,64%	0,81%	1,22%	1,40%	1,98%		V4510.3	-10,50%	-9,52%	-9,46%	-9,08%	-8,86%	-8,53%
Média	0,00%	0,68%	0,83%	1,18%	1,38%	1,88%	Média	-4,33%	-3,46%	-3,33%	-2,93%	-2,72%	-2,42%		
	Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)						Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)				
			180	360	1440	2880	4320				180	360	1440	2880	4320
V3010	V3010.1	0,00%	0,81%	1,10%	1,80%	2,14%	2,61%	I4510	I4510.1	-4,43%	-3,76%	-3,65%	-3,31%	-3,08%	-2,80%
	V3010.2	0,00%	0,64%	0,88%	1,23%	1,58%	1,99%		I4510.2	4,08%	5,08%	5,14%	5,44%	5,67%	5,91%
	V3010.3	0,00%	0,93%	0,98%	1,31%	1,53%	2,08%		I4510.3	-5,18%	-4,44%	-4,26%	-3,86%	-3,57%	-3,11%
Média	0,00%	0,79%	0,99%	1,45%	1,75%	2,22%	Média	-1,85%	-1,04%	-0,92%	-0,58%	-0,33%	0,00%		
	Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)						Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)				
			180	360	1440	2880	4320				180	360	1440	2880	4320
I3010	I3010.1	0,00%	0,67%	0,73%	0,90%	1,07%	1,23%	H4510	B4510.1	-10,76%	-10,17%	-10,05%	-9,82%	-9,52%	-9,35%
	I3010.2	0,00%	1,24%	1,36%	1,71%	1,95%	2,25%		B4510.2	-5,93%	-5,46%	-5,28%	-5,05%	-4,64%	-4,17%
	I3010.3	0,00%	0,92%	0,98%	1,44%	1,73%	2,13%		B4510.3	5,14%	5,72%	5,90%	6,13%	6,43%	6,89%
Média	0,00%	0,95%	1,02%	1,35%	1,58%	1,87%	Média	-3,85%	-3,30%	-3,15%	-2,91%	-2,58%	-2,21%		
	Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)						Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)				
			180	360	1440	2880	4320				180	360	1440	2880	4320
H3010	H3010.1	0,00%	0,94%	1,12%	1,59%	1,82%	2,06%	V4505	V4505.1	7,01%	7,83%	7,96%	8,28%	8,53%	8,72%
	H3010.2	0,00%	0,82%	1,00%	1,35%	1,47%	1,76%		V4505.2	-5,07%	-4,25%	-4,07%	-3,66%	-3,48%	-3,19%
	H3010.3	0,00%	0,76%	0,88%	1,40%	1,75%	2,16%		V4505.3	-2,38%	-1,71%	-1,58%	-1,34%	-1,04%	-0,79%
Média	0,00%	0,84%	1,00%	1,45%	1,68%	1,99%	Média	-0,15%	0,63%	0,77%	1,09%	1,34%	1,58%		
	Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)						Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)				
			180	360	1440	2880	4320				180	360	1440	2880	4320
V3005	V3005.1	0,00%	0,82%	0,88%	1,14%	1,26%	1,45%	I4505	I4505.1	5,62%	6,22%	6,34%	6,57%	6,75%	6,99%
	V3005.2	0,00%	0,83%	1,00%	1,30%	1,42%	1,65%		I4505.2	-6,43%	-5,65%	-5,53%	-5,17%	-4,98%	-4,74%
	V3005.3	0,00%	1,10%	1,40%	2,13%	2,38%	2,93%		I4505.3	4,43%	4,97%	5,09%	5,33%	5,45%	5,81%
Média	0,00%	0,91%	1,10%	1,52%	1,69%	2,01%	Média	1,21%	1,85%	1,97%	2,25%	2,41%	2,68%		
	Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)						Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)				
			180	360	1440	2880	4320				180	360	1440	2880	4320
	I3005.1	0,00%	0,95%	1,01%	1,36%	1,66%	1,78%				180	360	1440	2880	4320

I3005	I3005.2	0,00%	0,66%	0,84%	1,26%	1,56%	1,68%	H4505	H4505.1	6,49%	7,29%	7,40%	7,57%	7,74%	7,97%
	I3005.3	0,00%	0,72%	0,84%	0,90%	1,08%	1,32%		H4505.2	-13,98%	-13,32%	-13,21%	-12,99%	-12,82%	-12,76%
Média		0,00%	0,78%	0,90%	1,17%	1,43%	1,59%		H4505.3						
								Média		-3,75%	-3,01%	-2,90%	-2,71%	-2,54%	-2,40%
	Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)						Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)				
			180	360	1440	2880	4320				180	360	1440	2880	4320
H3005	H3005.1	0,00%	0,57%	0,74%	1,08%	1,37%	1,54%	V4500	V4500.1	-7,23%	-6,46%	-6,34%	-6,01%	-5,79%	-5,51%
	H3005.2	0,00%	0,39%	0,44%	0,50%	0,61%	0,78%		V4500.2	-4,01%	-3,27%	-3,16%	-2,82%	-2,60%	-2,20%
	H3005.3	0,00%	0,39%	0,51%	0,56%	0,68%	0,84%		V4500.3	4,05%	4,93%	5,16%	5,57%	5,69%	5,98%
Média		0,00%	0,45%	0,56%	0,71%	0,88%	1,05%	Média		-2,40%	-1,60%	-1,45%	-1,09%	-0,90%	-0,58%
	Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)						Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)				
			180	360	1440	2880	4320				180	360	1440	2880	4320
V3000	V3000.1	0,00%	0,83%	0,95%	1,22%	1,34%	1,56%	I4500	I4500.1	-7,09%	-6,36%	-6,19%	-5,75%	-5,58%	-5,25%
	V3000.2	0,00%	0,96%	1,19%	1,69%	1,92%	2,32%		I4500.2	-0,17%	0,56%	0,67%	0,90%	1,12%	1,35%
	V3000.3	0,00%	1,11%	1,41%	2,11%	2,40%	2,93%		I4500.3	-2,58%	-1,91%	-1,80%	-1,52%	-1,12%	-0,84%
Média		0,00%	0,97%	1,18%	1,68%	1,89%	2,27%	Média		-3,28%	-2,57%	-2,44%	-2,12%	-1,86%	-1,58%
	Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)						Corpo	Peso Seco	Tempo capilaridade (min)				
			180	360	1440	2880	4320				180	360	1440	2880	4320
I3000	I3000.1	0,00%	0,89%	1,06%	1,62%	1,95%	2,34%	H4500	H4500.1	-11,50%	-10,79%	-10,67%	-10,43%	-10,31%	-10,20%
	I3000.2	0,00%	0,73%	1,01%	1,51%	1,85%	2,30%		H4500.2	-9,95%	-9,18%	-9,06%	-8,82%	-8,64%	-8,64%
	I3000.3	0,00%	0,62%	0,73%	0,96%	1,24%	1,46%		H4500.3	2,75%	3,40%	3,51%	3,81%	4,27%	4,80%
Média		0,00%	0,75%	0,93%	1,36%	1,68%	2,03%	Média		-6,23%	-5,52%	-5,41%	-5,15%	-4,89%	-4,68%

APÊNDICE P – RESULTADOS
BRUTOS DA RESISTÊNCIA À
TRAÇÃO POR COMPRESSÃO
DIAMETRAL

Resistência a tração na compressão diametral

CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Tensão - Mpa
V3000.1	9,2	16,45	9,39	3,7917
V3000.2	7,7	16,15	9,39	3,2325
Média	8,45	16,30	9,39	3,51
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Tensão - Mpa
I3000.1	7,5	14,33	9,39	3,5484
I3000.2	7	12,87	9,39	3,6875
Média	7,25	13,60	9,39	3,62
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Tensão - Mpa
H3000.1	9	14,08	9,39	4,3337
H3000.2	8,4	17,5	9,39	3,2543
Média	8,70	15,79	9,39	3,79
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Tensão - Mpa
V3005.1	6,8	14,1	7,51	4,0882
V3005.2	7,8	14,3	7,51	4,6238
Média	7,30	14,20	7,51	4,36
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Tensão - Mpa
I3005.1	6,9	14,3	7,51	4,0903
I3005.2	8,1	14,9	7,51	4,6083
Média	7,50	14,60	7,51	4,35
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Tensão - Mpa
H3005.1	7,2	17	9,39	2,8714
H3005.2	8,2	17,36	9,39	3,2024
Média	7,70	17,18	9,39	3,04
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Tensão - Mpa
V3010.1	6,6	14,5	7,51	3,8585
V3010.2	7,9	14,6	7,51	4,5868
Média	7,25	14,55	7,51	4,22
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Tensão - Mpa
I3010.1	6,9	14,2	7,51	4,1191
I3010.2	8,4	14	7,51	5,0862
Média	7,65	14,10	7,51	4,60
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Tensão - Mpa
H3010.1	7,9	15	7,51	4,4645
H3010.2	8,7	14,9	7,51	4,9496
Média	8,30	14,95	7,51	4,71
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Tensão - Mpa
V3015.1	8,8	14,85	7,41	5,0912
V3015.2	8,8	14,3	7,41	5,2870

Média	8,80	14,58	7,41	5,19
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Tensão - Mpa
I3015.1	8,9	15,1	7,51	4,9964
I3015.2	8,5	14,2	7,51	5,0742
Média	8,70	14,65	7,51	5,04
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Tensão - Mpa
H3015.1	9,5	13	7,51	6,1947
H3015.2	8	14,8	7,51	4,5821
Média	8,75	13,90	7,51	5,39

CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Tensão - Mpa
V4500.1	9,8	17,13	9,42	3,8663
V4500.2	9,1	11,67	9,42	5,2699
Média	9,45	14,40	9,42	4,57
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Tensão - Mpa
I4500.1	10	18,07	9,42	3,7400
I4500.2	8,9	16,5	9,42	3,6453
Média	9,45	17,29	9,42	3,69
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Tensão - Mpa
H4500.1	10,1	15,38	9,42	4,4381
H4500.2	11	16,3	9,42	4,5607
Média	10,55	15,84	9,42	4,50

CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Tensão - Mpa
V4505.1	10,8	17,05	9,42	4,2808
V4505.2	9	18,07	9,42	3,3660
Média	9,90	17,56	9,42	3,82
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Tensão - Mpa
I4505.1	9,1	16,83	9,42	3,6542
I4505.2	10,7	17,33	9,42	4,1727
Média	9,90	17,08	9,42	3,91
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Tensão - Mpa
H4505.1	8,9	16,6	9,42	3,6234
H4505.2	10	16,86	9,42	4,0084
Média	9,45	16,73	9,42	3,82

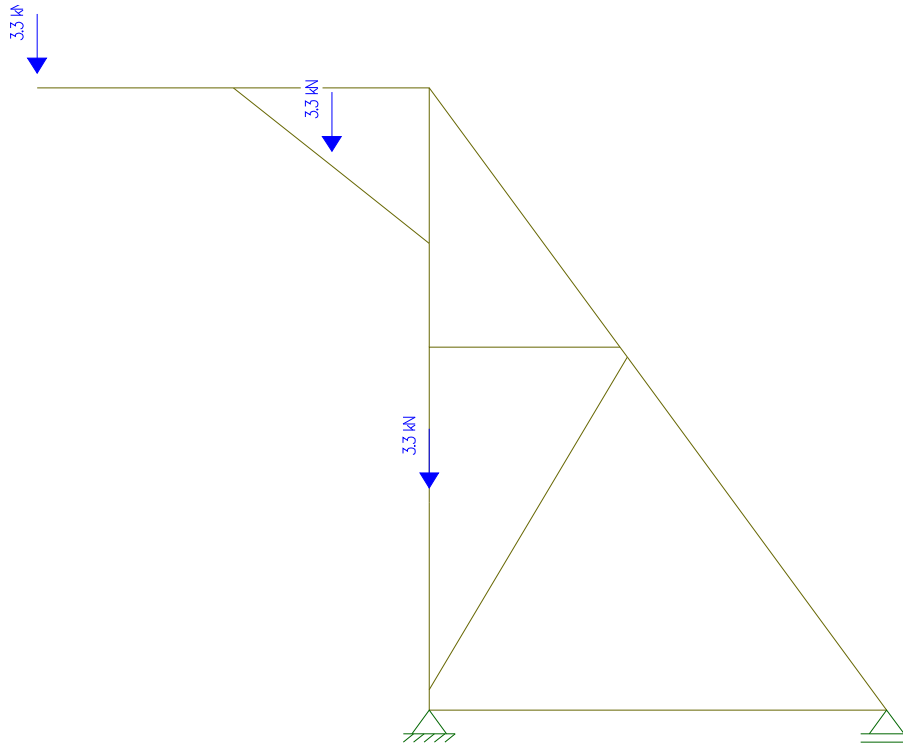
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Tensão - Mpa
V4510.1	10,6	17,68	9,42	4,0518
V4510.2	9,4	17,78	9,42	3,5729
Média	10,00	17,73	9,42	3,81
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Tensão - Mpa
I4510.1	11,1	16,35	9,42	4,5881
I4510.2	10,4	15,95	9,42	4,4066

Média	10,75	16,15	9,42	4,50
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Tensão - Mpa
H4510.1	8,9	16,02	9,42	3,7545
H4510.2	11,7	17,38	9,42	4,5495
Média	10,30	16,70	9,42	4,15

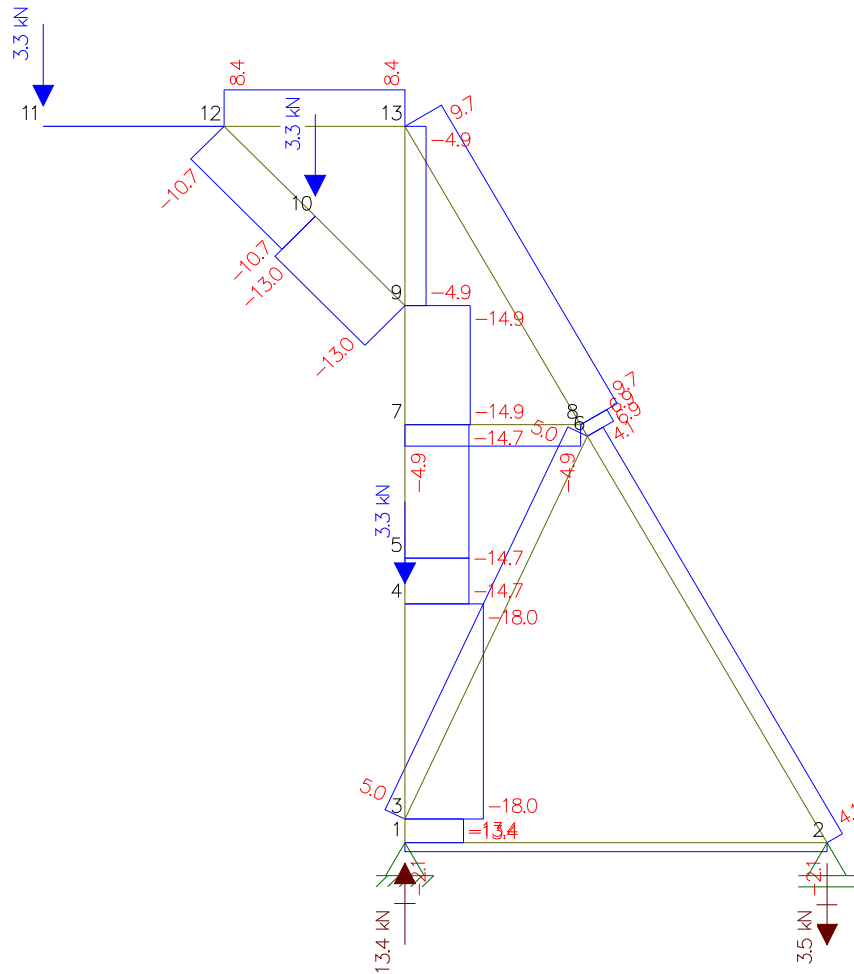
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Tensão - Mpa
V4515.1	10	18,3	9,42	3,6930
V4515.2	9,9	15,81	9,42	4,2319
Média	9,95	17,06	9,42	3,96
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Tensão - Mpa
I4515.1	12	18,27	9,42	4,4389
I4515.2	8,8	18,62	9,42	3,1940
Média	10,40	18,45	9,42	3,82
CP	Força (tf)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Tensão - Mpa
H4515.1	12,1	17,49	9,42	4,6755
H4515.2	10,4	12,73	9,42	5,5212
Média	11,25	15,11	9,42	5,10

APÊNDICE I - ESTRUTURA METÁLICA
UTILIZADA PARA POSICIONAMENTO DAS
FÔRMAS

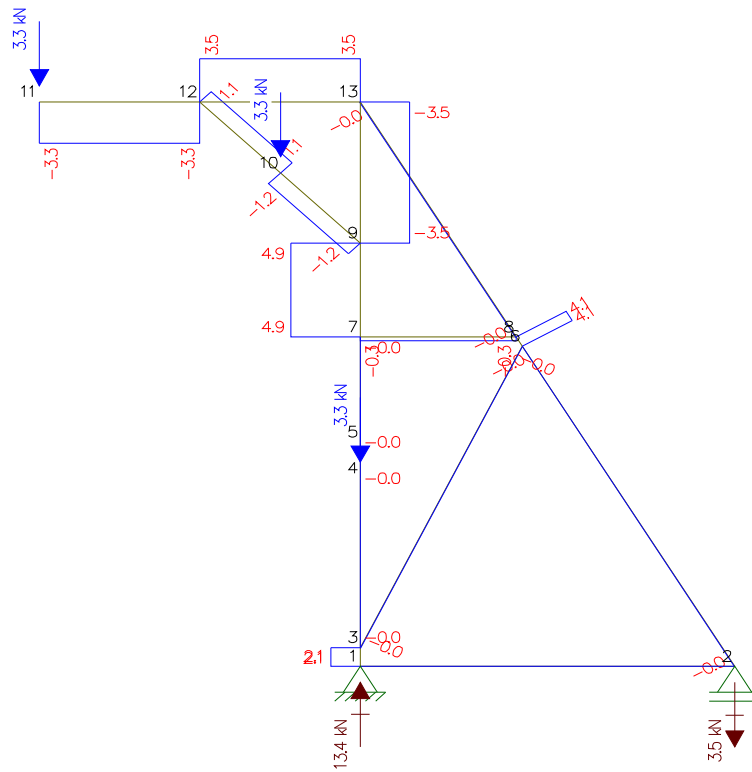
A – Forma geral da estrutura e cargas consideradas.



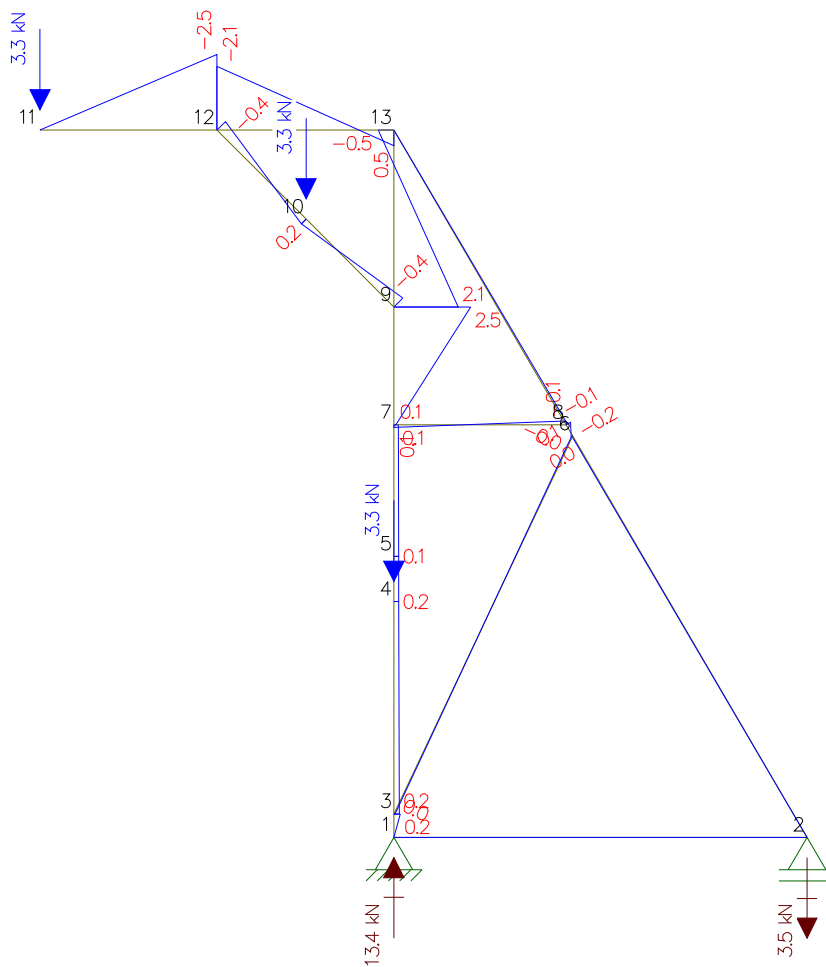
B – Diagrama do esforço cortante



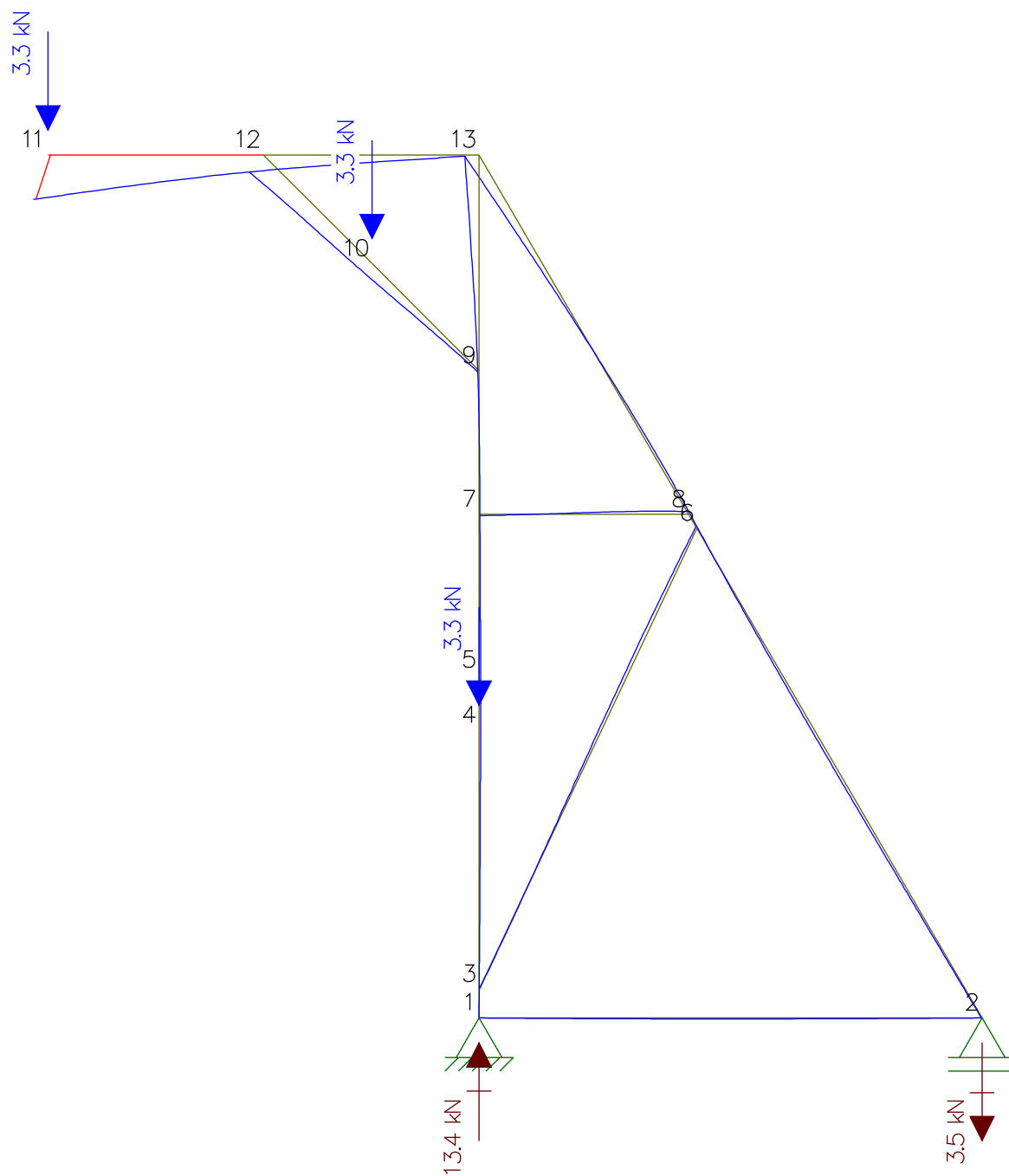
C – Diagrama dos esforços de tração e compressão na estrutura



D – Diagrama do esforço momento.



E – Deformações do pórtico (maior deformação no ponto 11: 3,23mm):



F – Estrutura montada



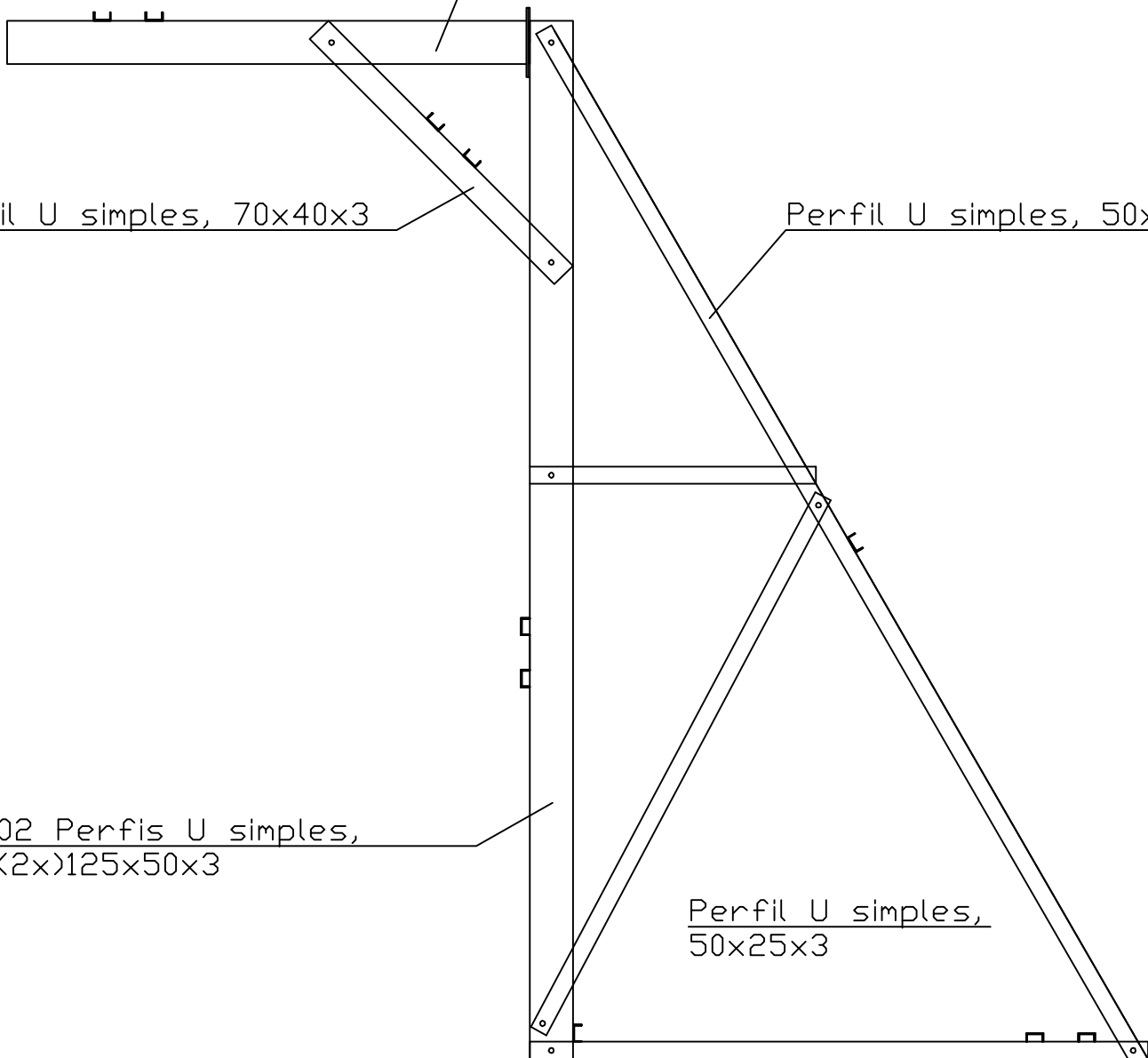
02 Perfis U simples,
(2x)125x50x3

Perfil U simples, 70x40x3

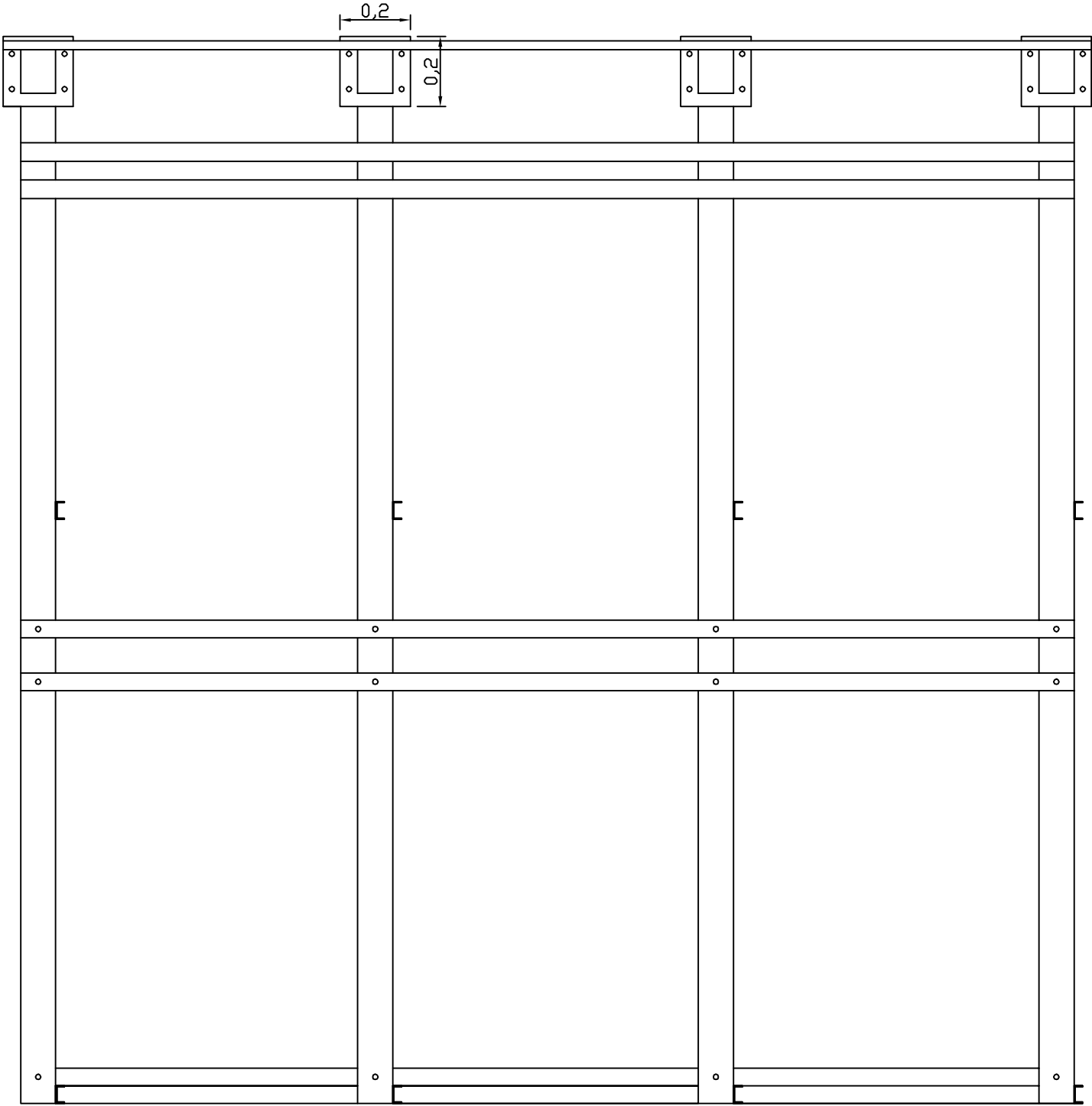
Perfil U simples, 50x25x3

02 Perfis U simples,
(2x)125x50x3

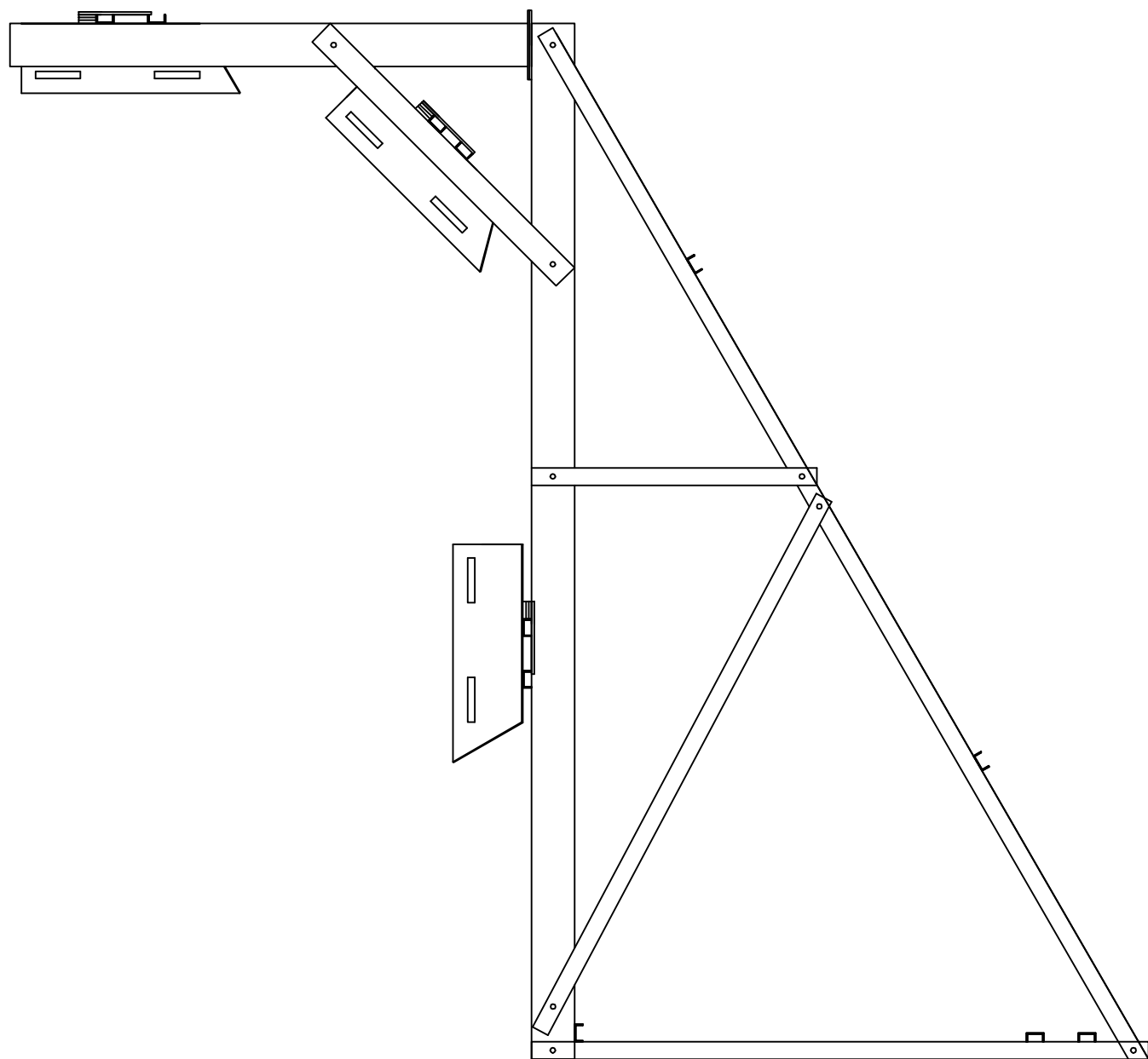
Perfil U simples,
50x25x3



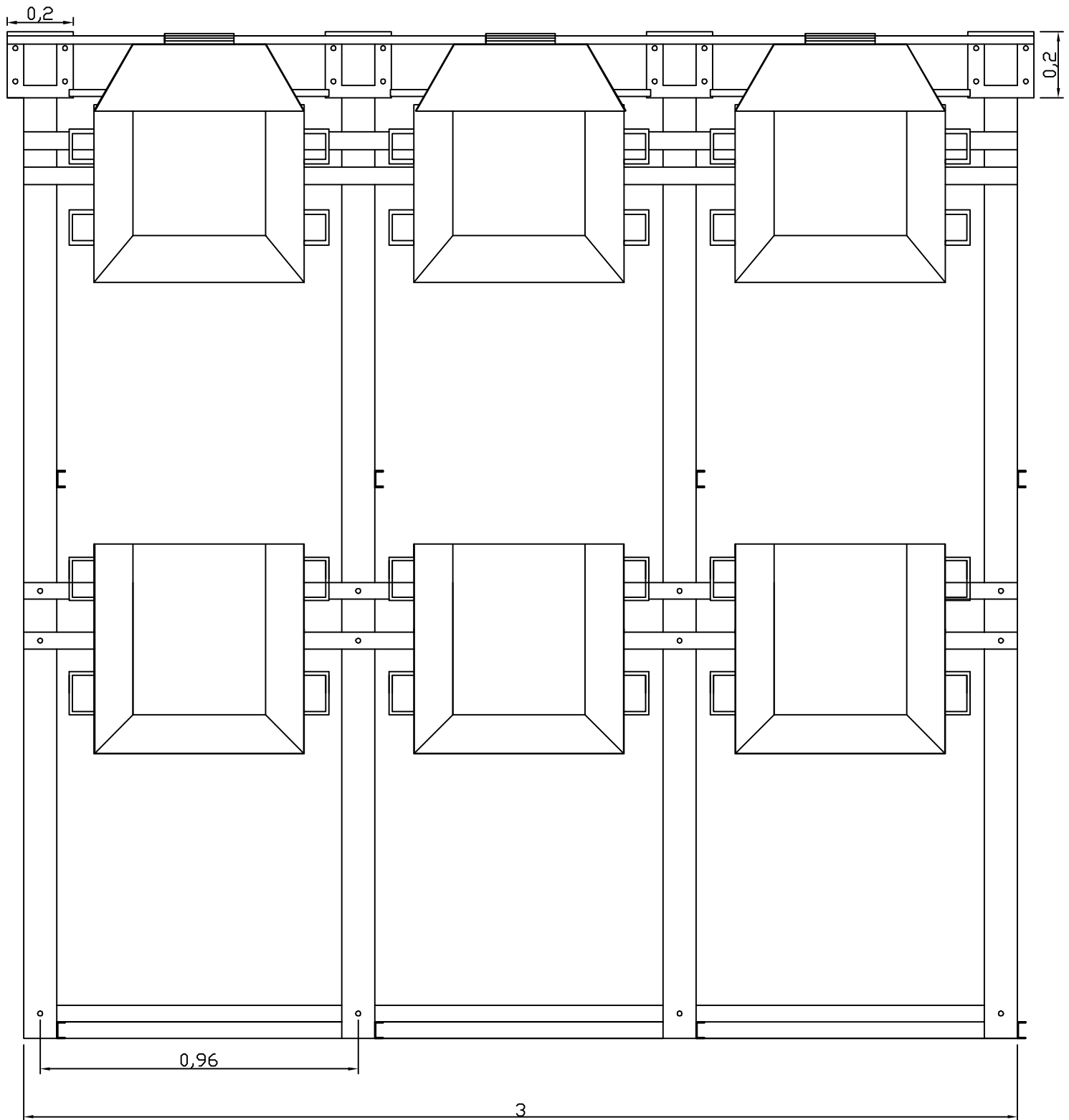
Vista frontal da estrutura sem formas

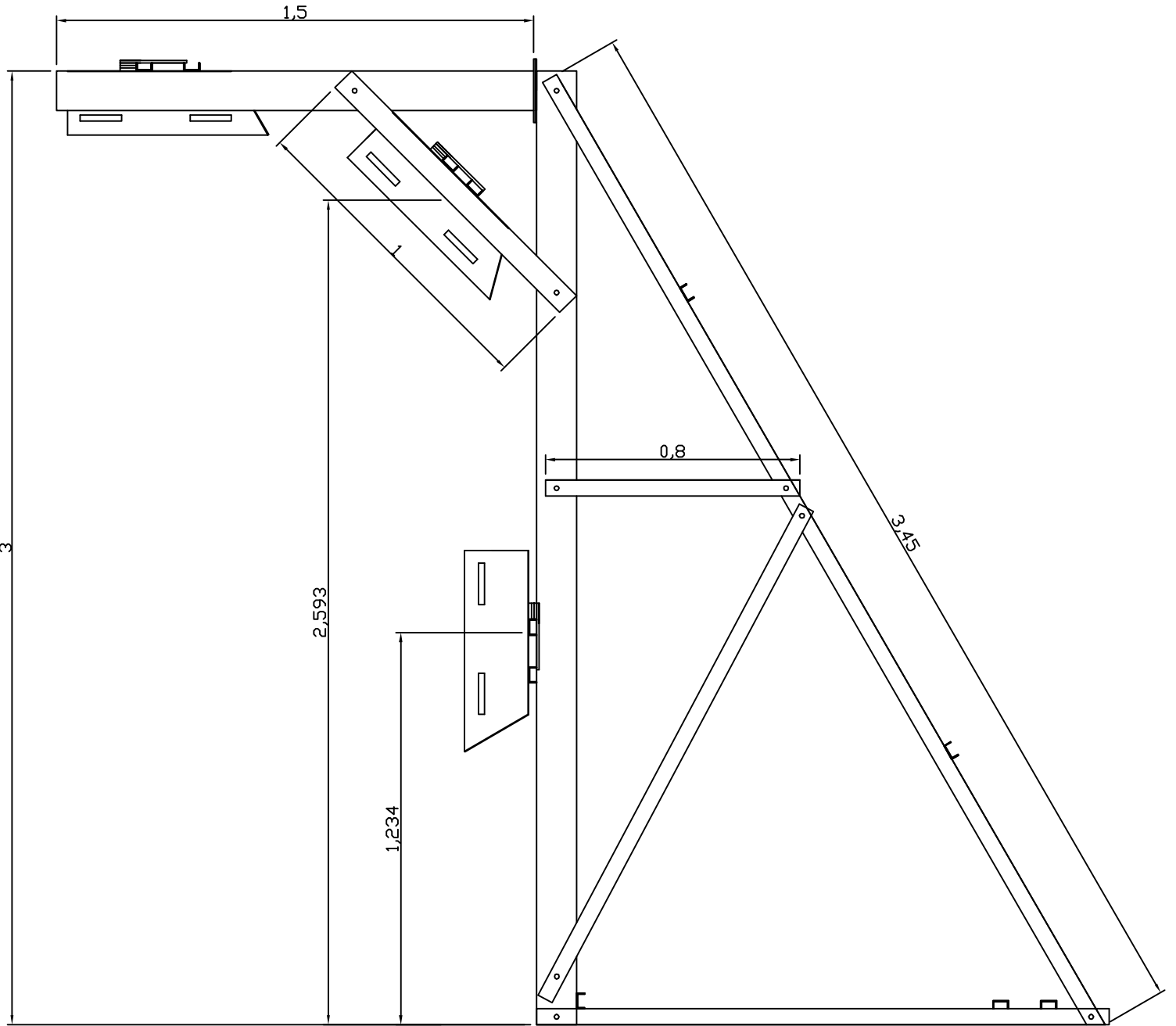


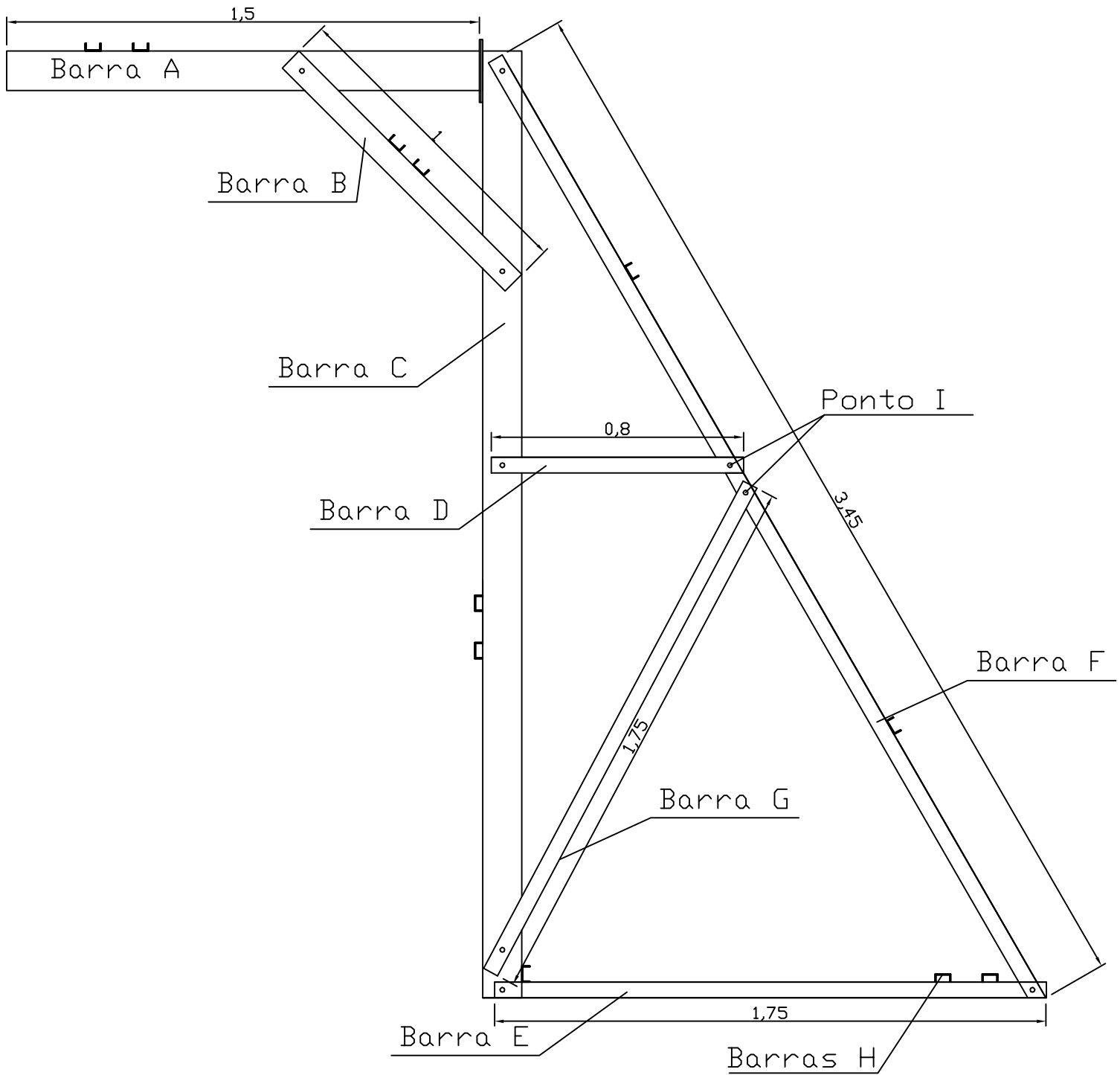
Vista lateral da estrutura montada



Vista frontal da estrutura montada







Plano de corte das barras

Barra A - Viga superior (04 unidades)

Como são 04 unidades cada uma com 1,5m e utilizando dois perfis soldados, teremos a necessidade de 02 perfis 125x50x3, não havendo sobra ou desperdício.

Barra B - Travessa Incinada para sustentação da forma
Serão 06 (seis) unidades desta peça, cada unidade com 1m de comprimento, sendo necessária 01 (uma) barra de 6m.
Peça confeccionada no perfil U simples de 75x40x3.

Barra C - Pilar principal (04 unidades)

Como são 04 unidades, cada uma com 3,0m e utilizando dois perfis soldados, teremos a necessidade de 04 perfis 125x50x3, não havendo sobra ou desperdício.

Barras D, E e F

A barra D mede 0,8m, sendo necessárias 04 (quatro) unidades, já a barra E mede 1,75m e serão necessárias 04 (quatro) unidades, por fim a barra F mede 3,45m, sendo necessárias também 04 (quatro) unidades, como a soma corresponde a 6m, serão utilizadas 04 barras do perfil U simples 50x25x3.

Barra G

A barra mede 1,75m, sendo necessárias 04 (quatro) unidades, temos pois um comprimento total de 7,0m, serão usadas duas barras de 6m, do perfil u simples 50x25x3, com sobra de duas peças, uma de 0,75m e outra de 4,25m.

Barras H - Travessas de vinculação

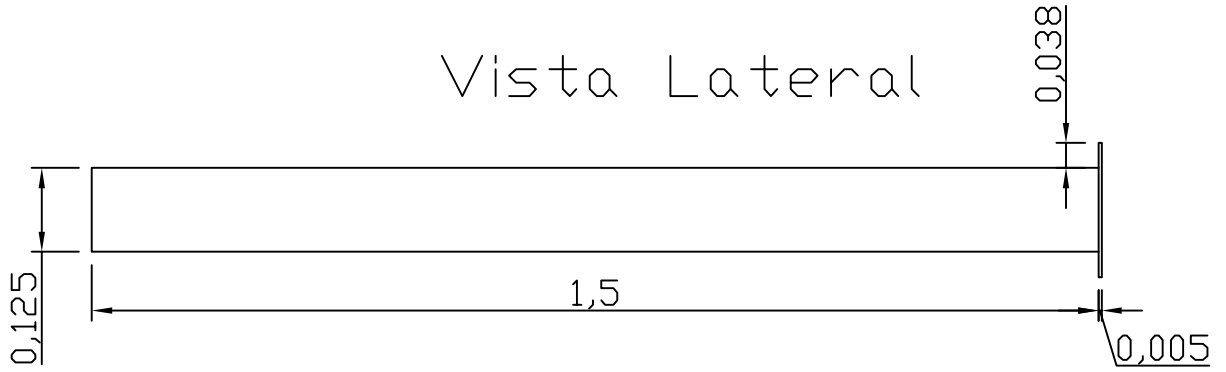
As peças do tipo H têm 3m de comprimento e têm a função de fazer o travamento entre pórticos. serão necessárias 11 barras de 3m cada, sendo necessários 33m, ou 05 barras de seis metros, cada uma fornecendo 02 peças e mais uma peça avulsa, que será obtida da sobra da peça G, tendo então uma sobra com 2,0m (0,75 + 1,25).

Ponto I - Espaçadores

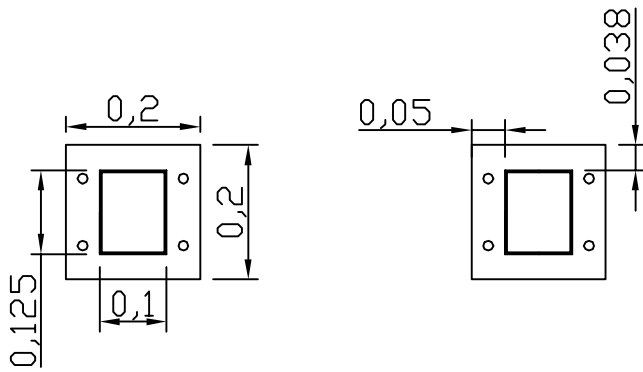
No ponto I teremos a necessidade de espaçadores que têm seu tamanho vinculado a largura da barra C, como tal barra tem largura de 100mm, o espaçador também necessita ser de 100mm, teremos o uso de 08 (oito) unidades, cada uma utilizando dois perfis u simples soldados 50x25x3 (2x), sendo necessários 1,6m. Ficaremos com uma sobra final de 0,4m da barra 50x25x3.

Barra A

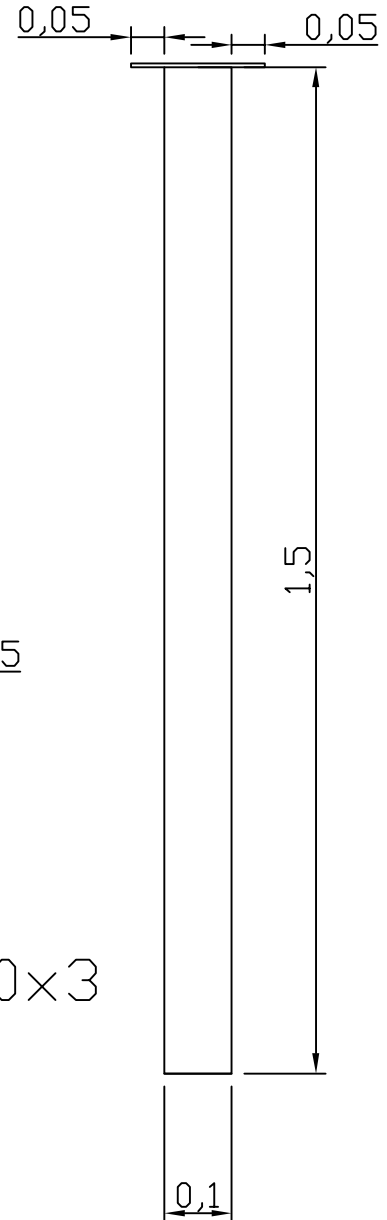
Vista Lateral



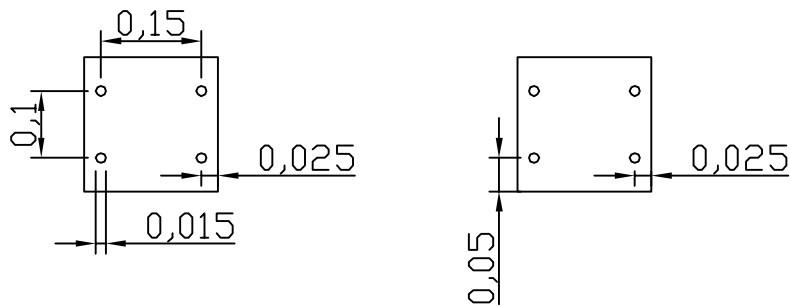
Vista frontal



Planta Baixa

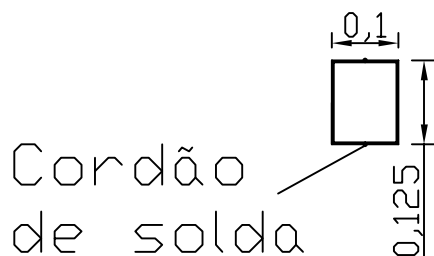


Vista posterior

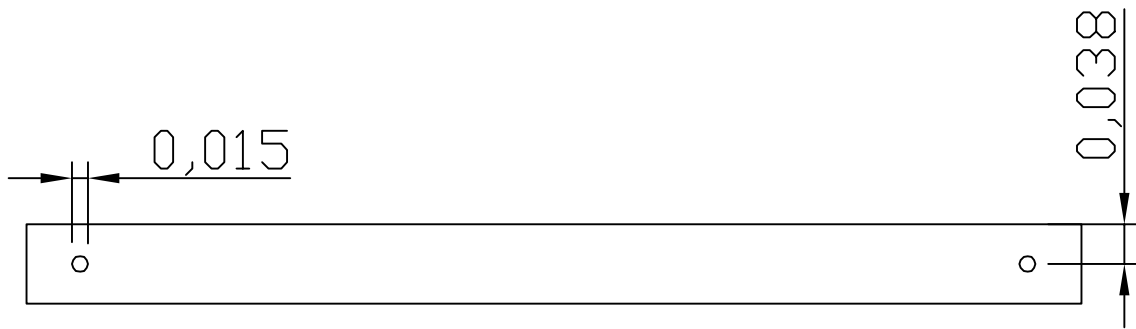
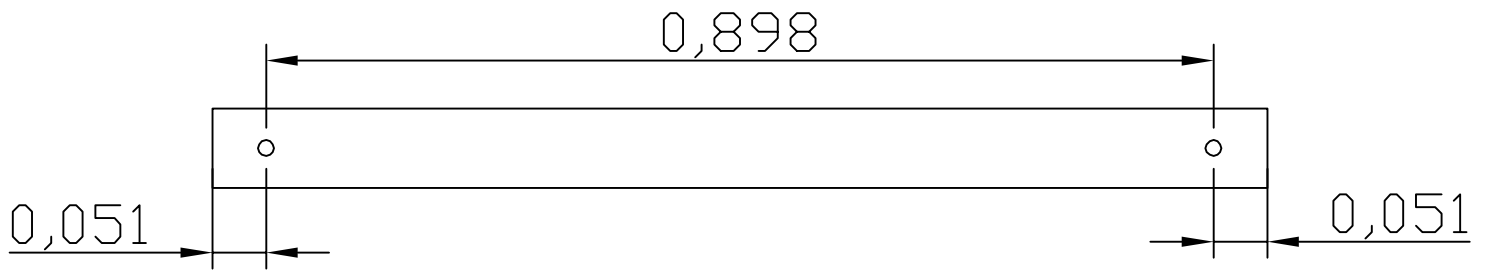
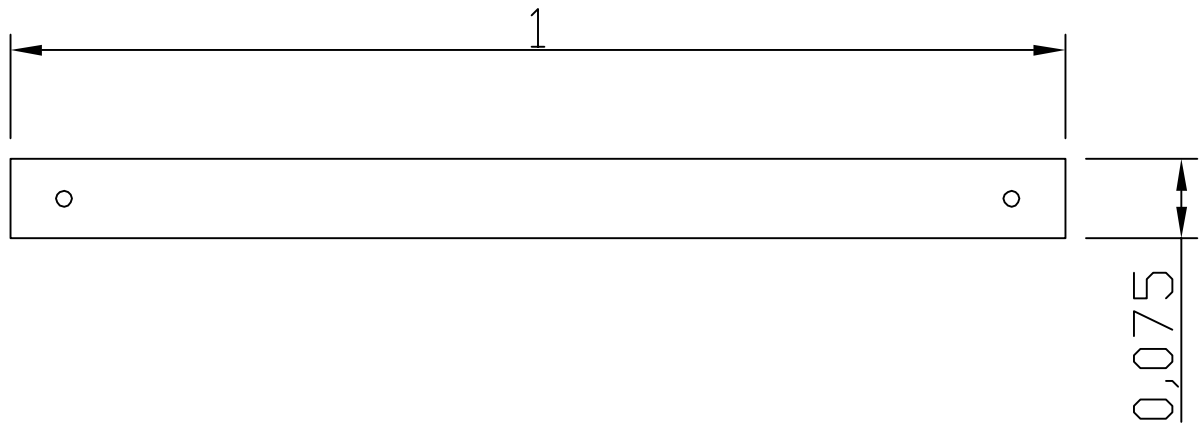


Seção transversal

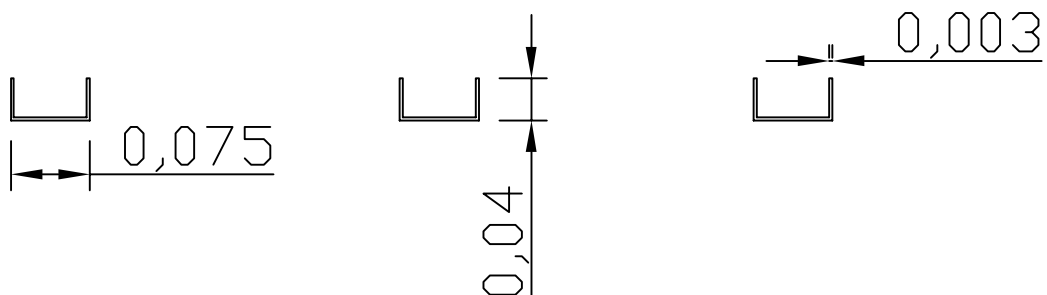
Dois perfis "u" 125x50x3



Barra B

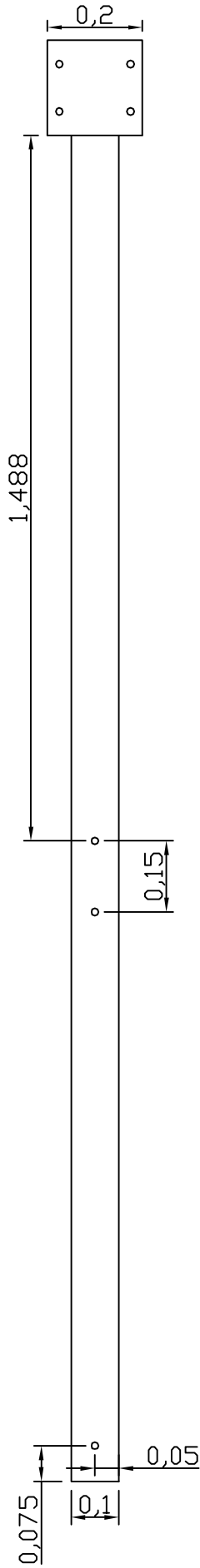


Seção transversal da barra B

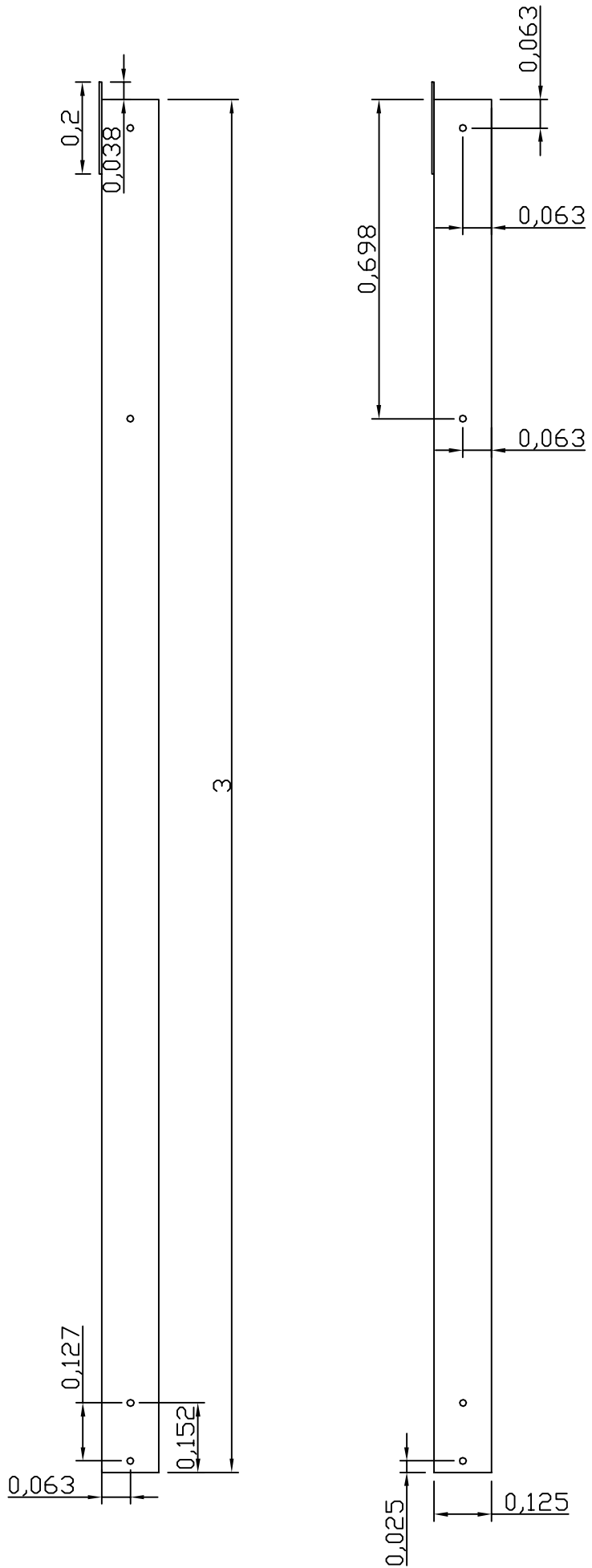


Barra C

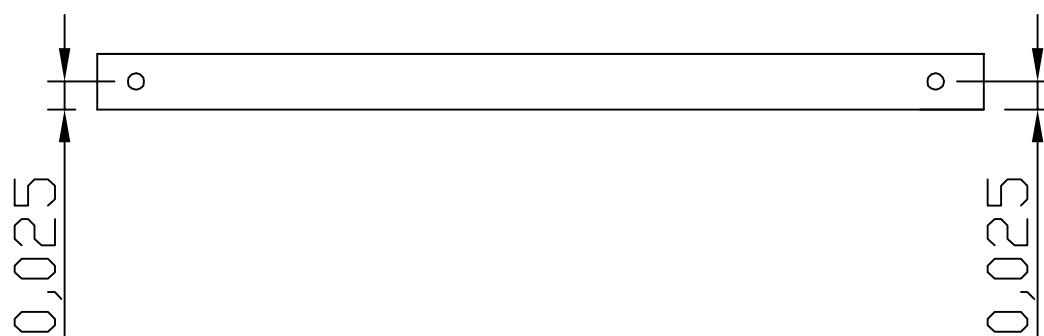
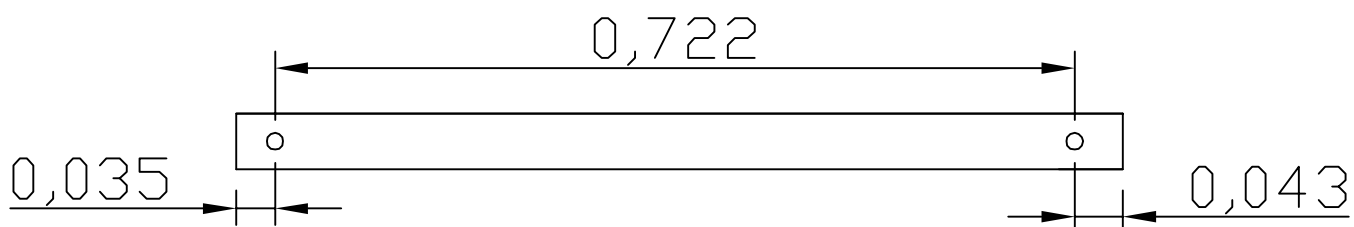
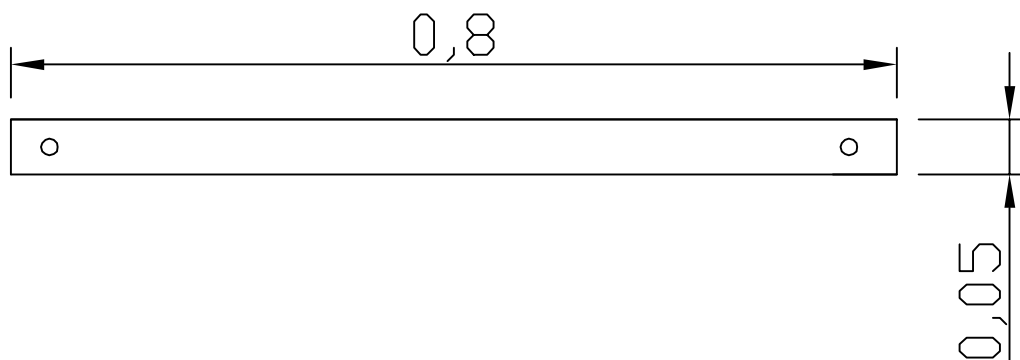
Vista Frontal



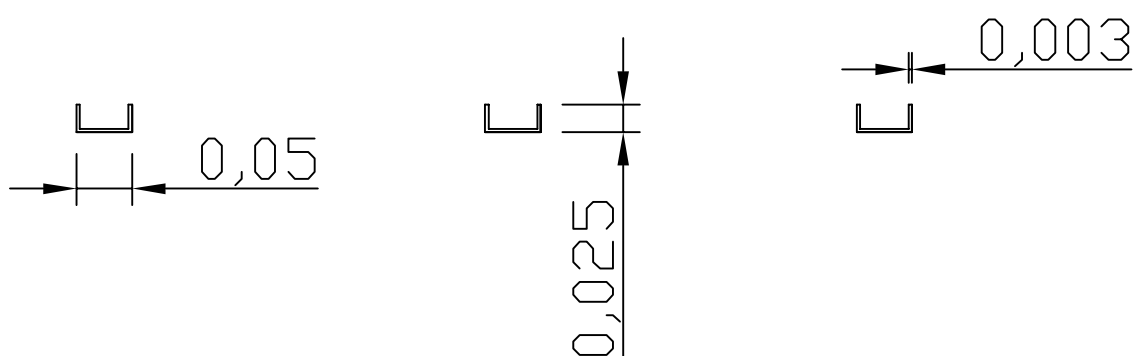
Vista Lateral



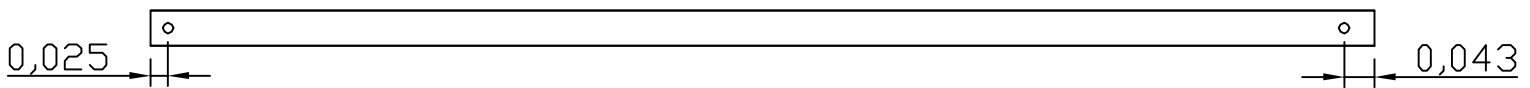
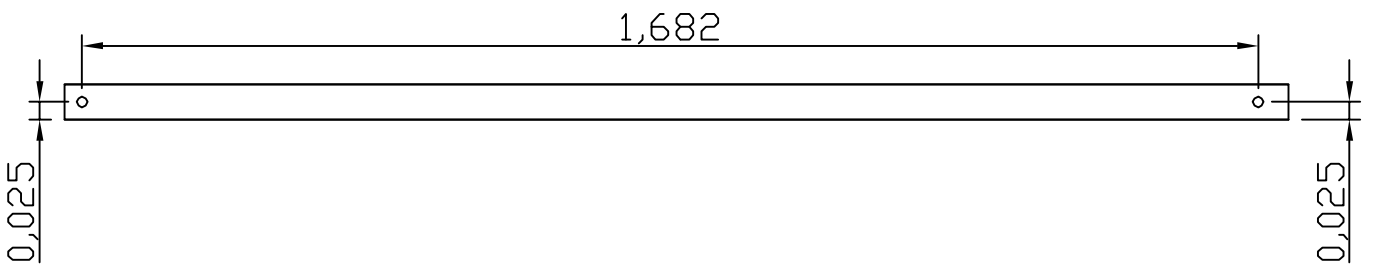
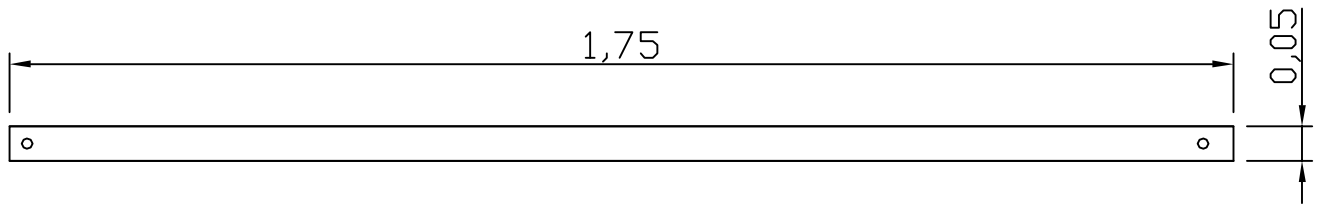
Barra D



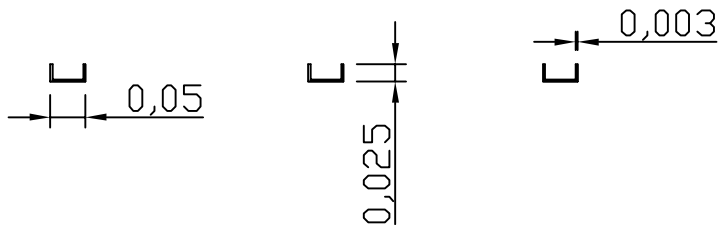
Seção transversal da barra D



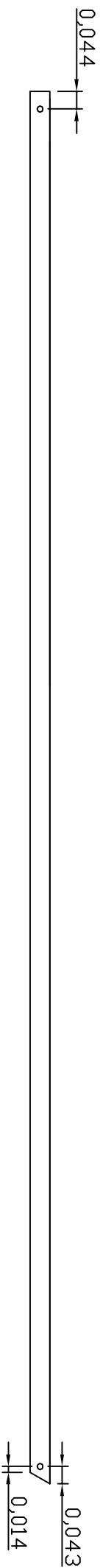
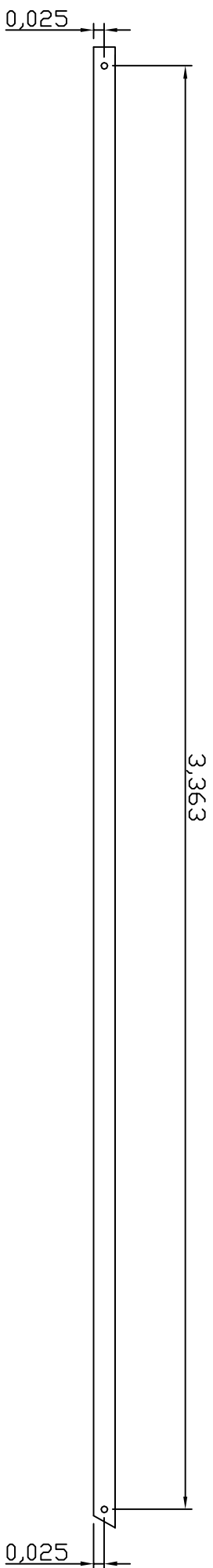
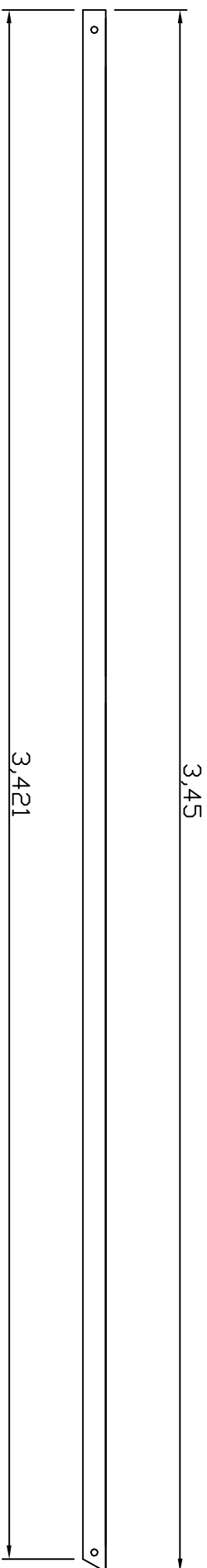
Barra E



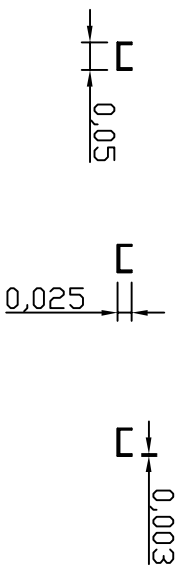
Seção transversal da barra E



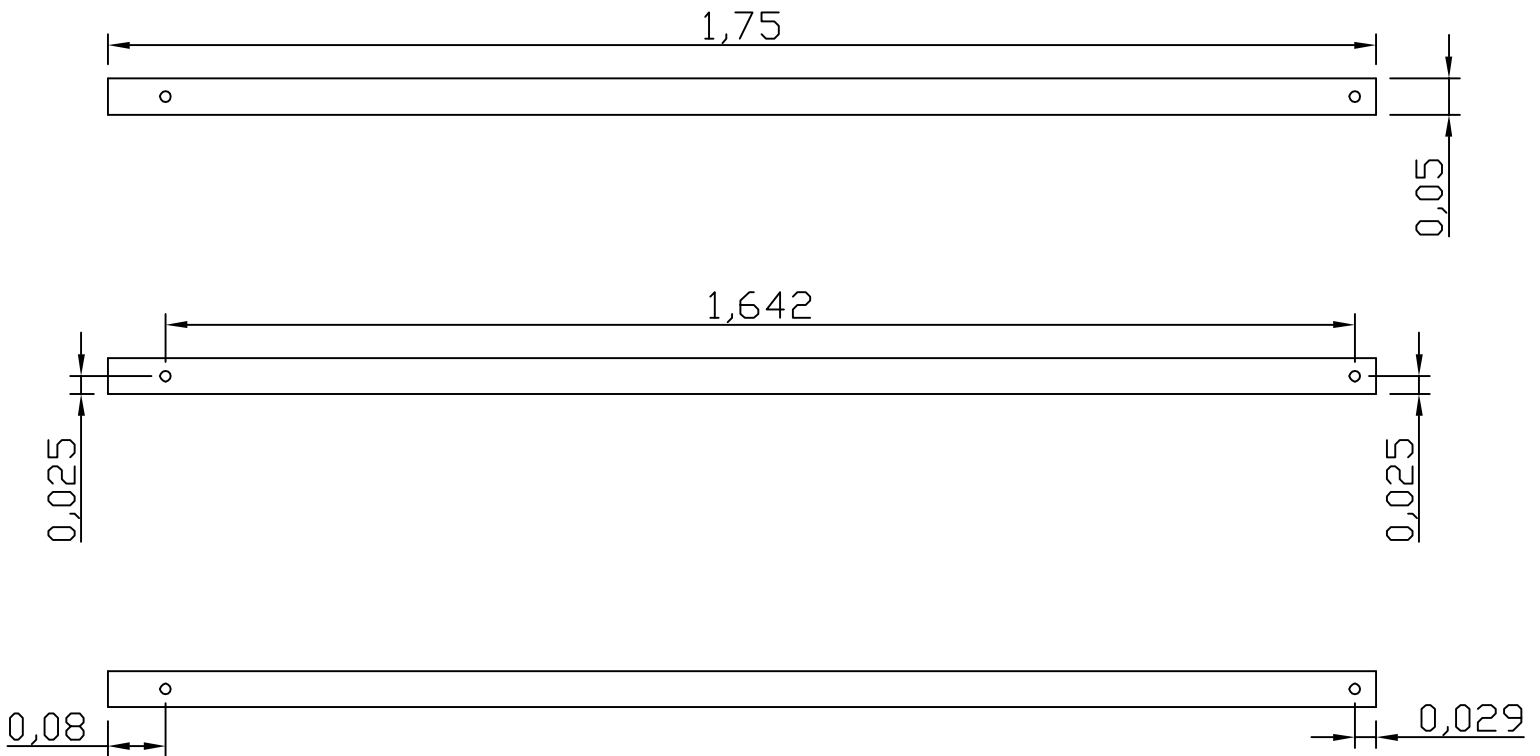
Barra F



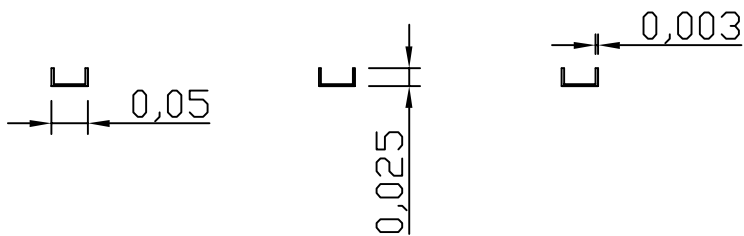
Seção transversal
da barra F



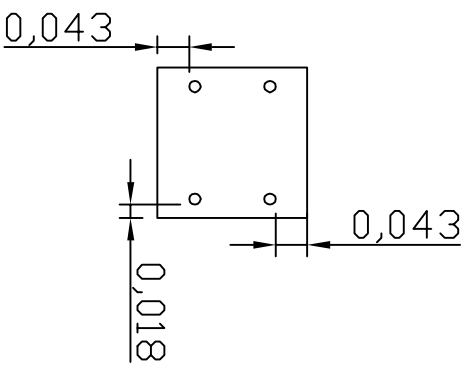
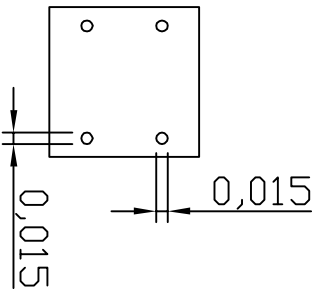
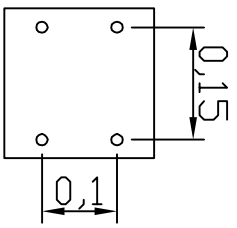
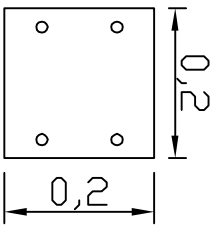
Barra G

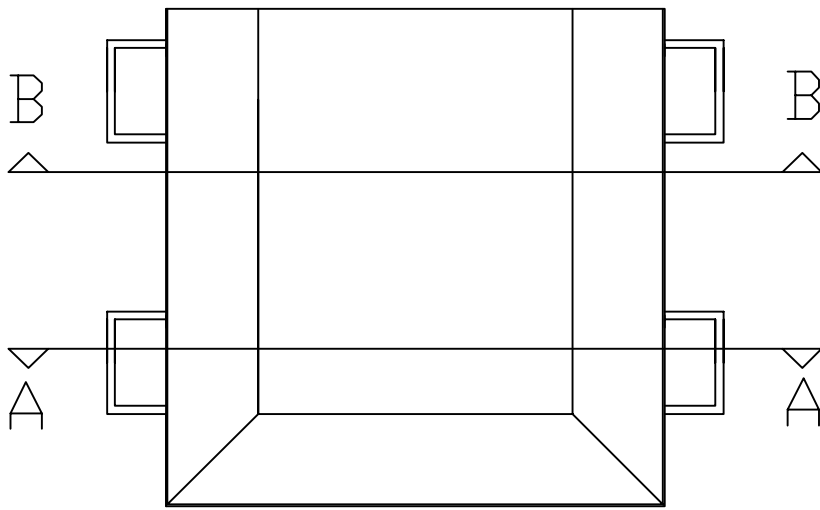


Seção transversal da barra G

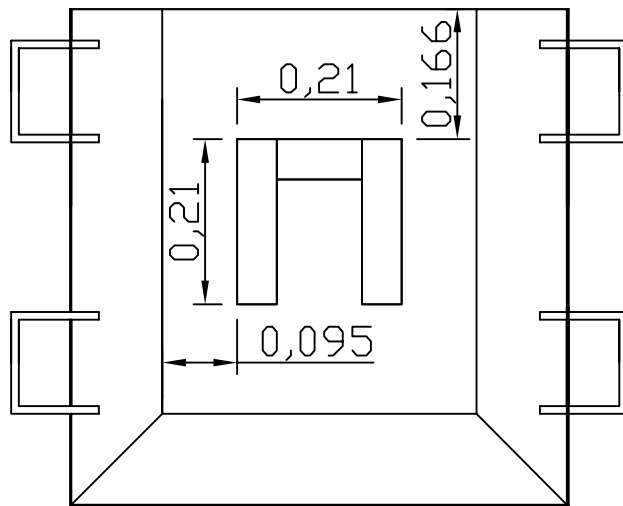


Placa de ligação entre viga e pilar

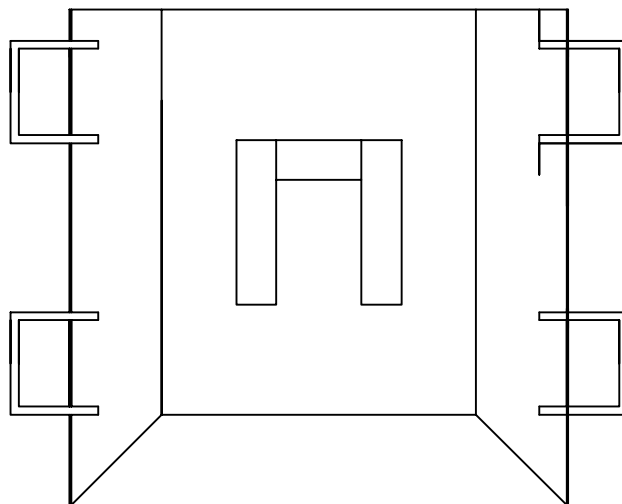




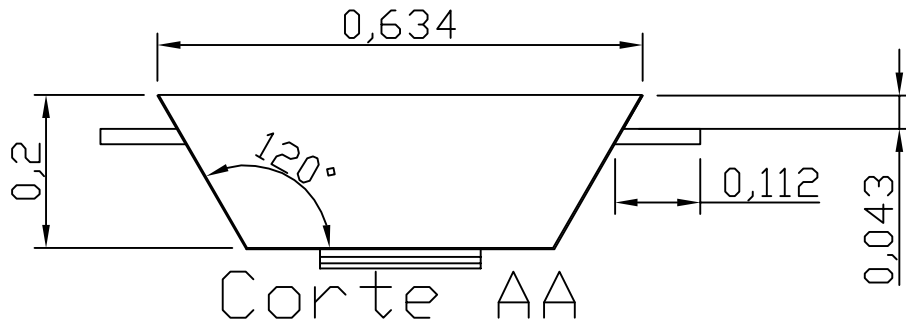
PLANTA BAIXA (VISTA SUPERIOR)



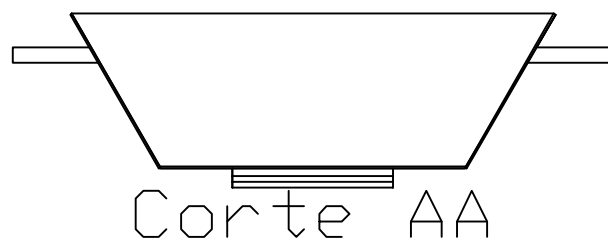
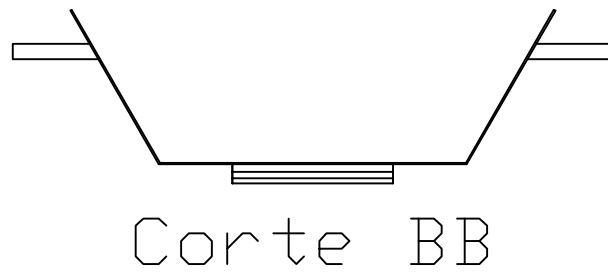
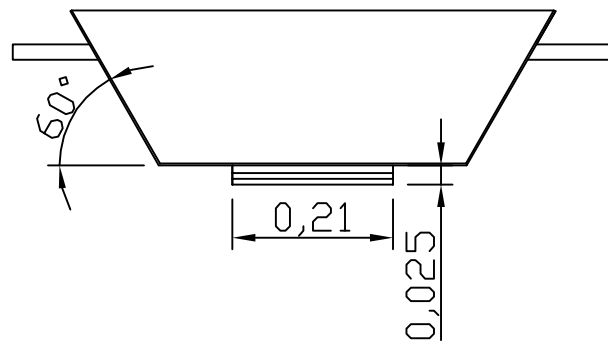
PLANTA BAIXA (VISTA INFERIOR)

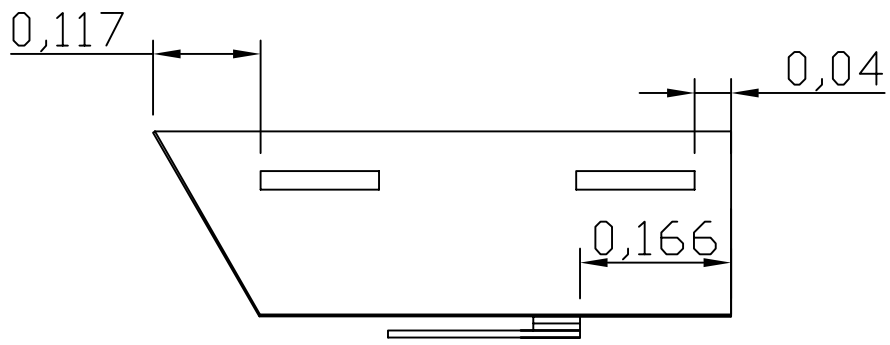


PLANTA BAIXA (VISTA INFERIOR)

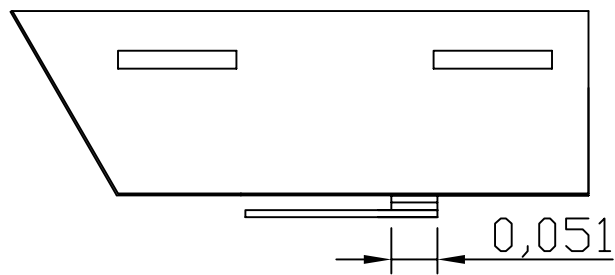


FORMA CONFECIONADA EM CHAPA 4.75mm

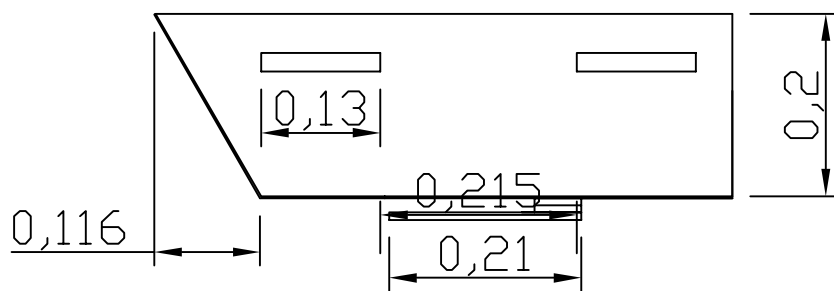




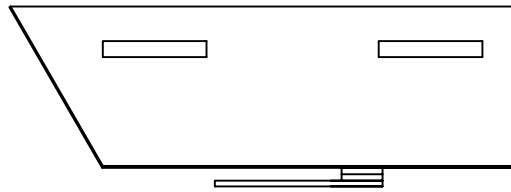
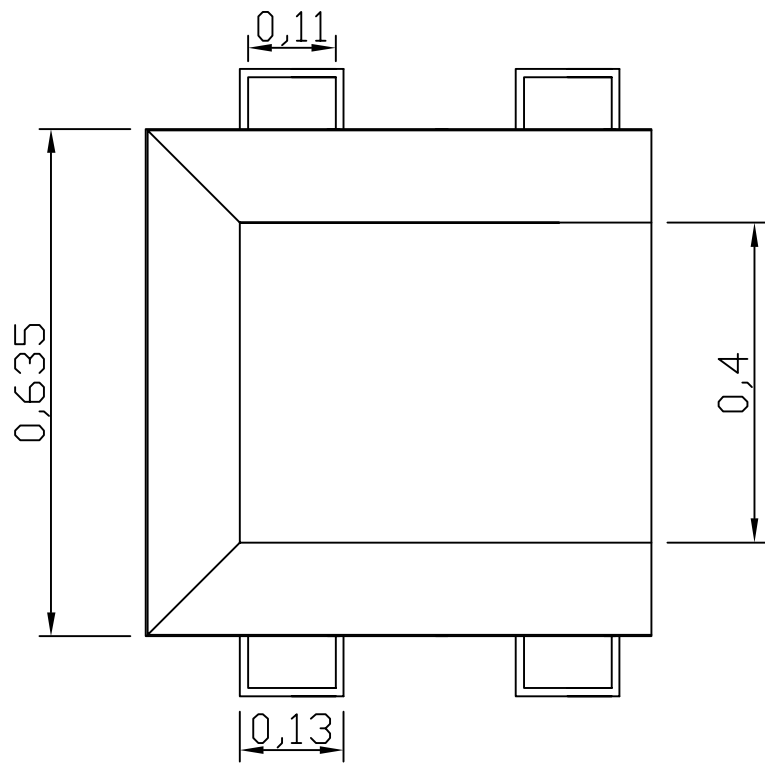
Vista CC



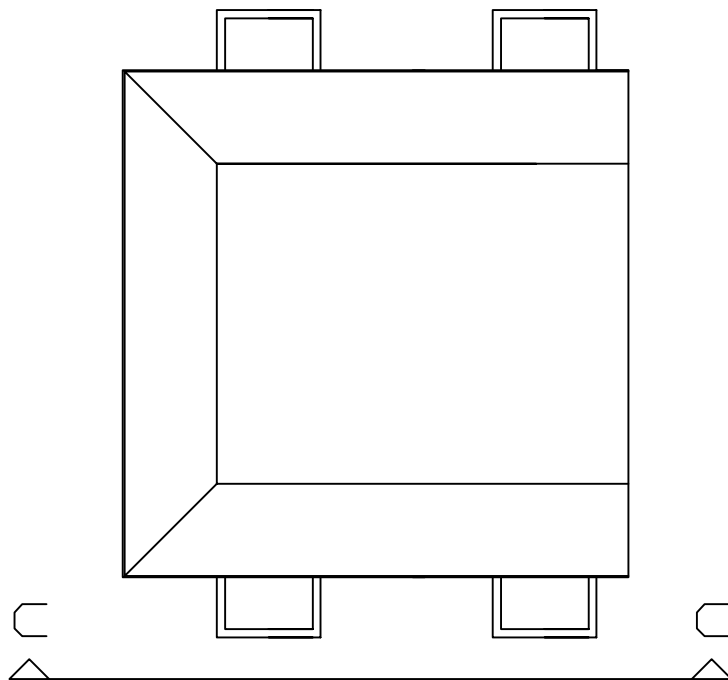
Vista CC

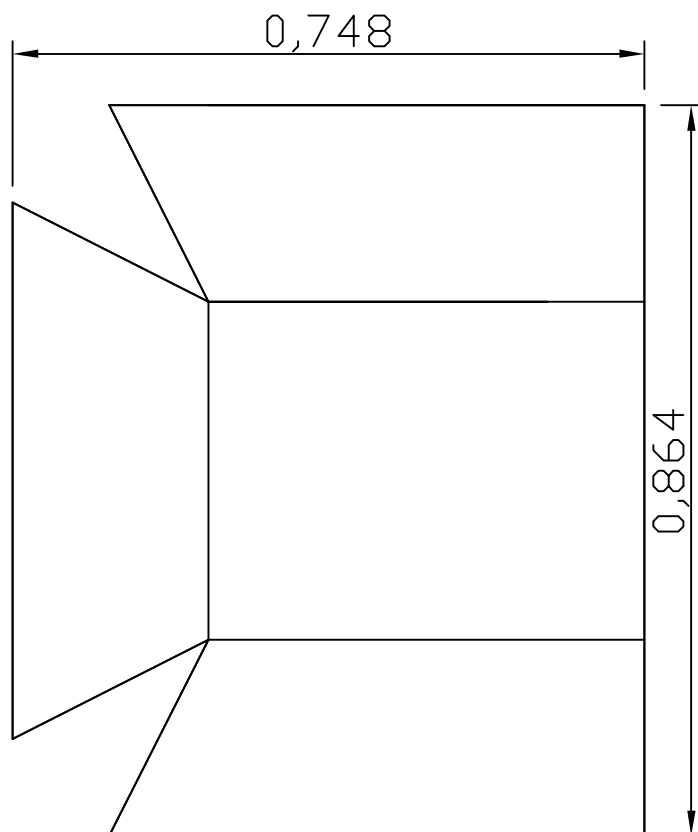
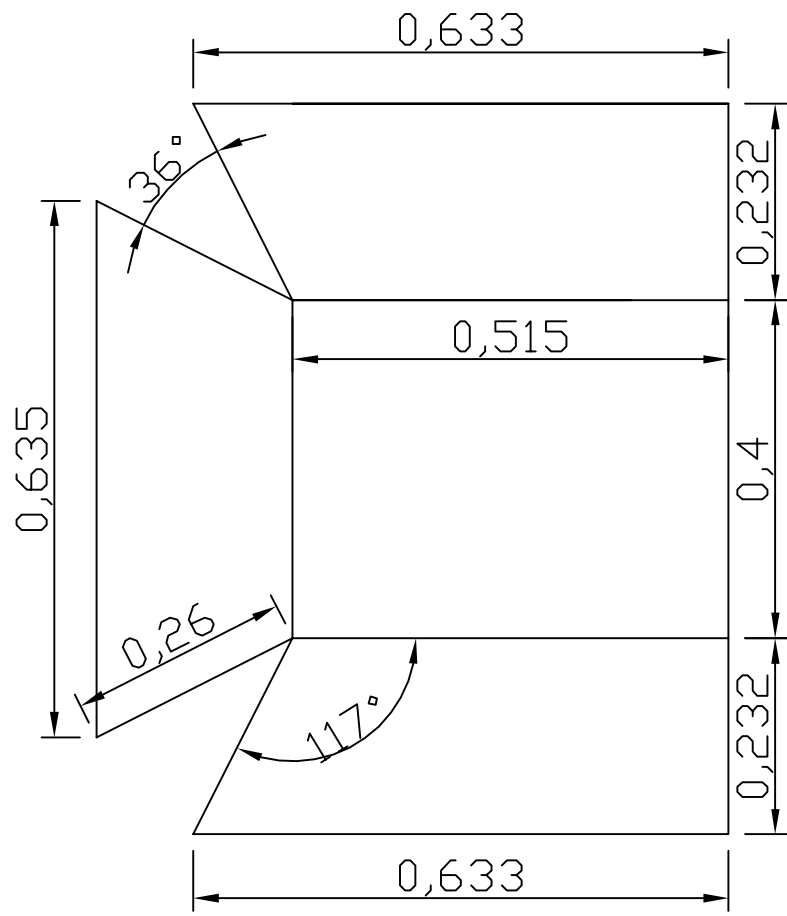


Vista CC



Vista CC





MONTGOMERY, D. C. Design and analysis of experiments. 5 ed. Arizona: John Wiley & Sons Inc, 2001.

MORGAN, D. R. Dry Mix sílica fume in western Canada. Concrete international. v.10, n.1, p. 24-32, Jan, 1988.

NAKAKURA, E. H.; CINCOTTO, M. A. Análise dos requisitos de classificação de argamassas de assentamento e revestimento. In: BT/PCC/359 – Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção, São Paulo, 2004.

NAWY, E. G., Concrete Construction Engineering Handbook. Nondestructive test methods. 2ndEd. CRC Press, p. 902-975, 2008.

NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. São Paulo: PINI, 2ª ed. 828p, 1997. (Tradução da 4ª ed. em inglês).

PALERMO, G. Concreto Projetado como Revestimento de Túneis. Dissertação de Mestrado, EPUSP, USP, São Paulo, SP, 306p, 1997.

PFEUFFER, Markus; KUSTERLE, Wolfgang. Rheology and rebound behaviour of dry-mix shotcrete, Cement and Concrete Research, Volume 31, Issue 11, Pages 1619-1625, November 2001.

PILEGGI, R. G.; MARQUES, Y. A.; VASQUES FILHO, D.; STUDART, A. R. & PANDOLFELLI, V. C. Aditivos para concretos de projeção. Cerâmica, São Paulo, v. 48, n. 308, p. 199-205, Dec. 2002.

PILEGGI, R. G.; MARQUES, Y. A.; VASQUES FILHO, D.; STUDART, A. R.; PANDOLFELLI, V. C. Wet-Shotcrete Additives, Am. Ceram. Soc. Bull. 81-61, p. 51-57, 2002.

PRUDÊNCIO JÚNIOR, L.R. Concreto Projetado. Concreto. Ensino, Pesquisa e Realizações. IBRACON, São Paulo, SP, p. 1227-1257, 2005.

REY, L. Planejar e redigir trabalhos científicos. 2ª Ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1998.

RIBEIRO, J. L. D., CATEN, C. S. T. Série monográfica qualidade: controle estatístico do processo. FEENG/UFRGS, Porto Alegre, RS, 2012.

RILEM Technical Reports, Mater. Structure 21, 121 (1988) 69.

SANTOS, A. M. dos, CABRAL, L. M. C., MONTEIRO, E. B., HELENE, P. R. do L. Análise do módulo de elasticidade estático e dinâmico para diferentes dosagens de

concreto. In: ANAIS DO 55º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2013, Gramado. Anais... Gramado: CBC, 2013.

SAW, H.; VILLAESCUSA, E.; WINDSOR, C.R.; THOMPSON, A.G. Laboratory testing of steel fibre reinforced shotcrete, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, v. 57, p. 167–171, 2013.

SBRIGHI NETO, C. *Concreto: Ciência e Tecnologia*, IBRACON, Cap. 7, V. 1, ed. Geraldo C. Isaia, São Paulo, 2011.

SENSALE, Gemma P. R. B. de. *Estudo comparativo entre as propriedades mecânicas dos concretos de alta resistência com cinza de casca de arroz*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, 2000.

SHARMIN, R.; AHMED M.; AHMED M.; LUBNA, F. A. Comparison of Strength Performance of Concrete with Uncrushed or Crushed Coarse aggregates. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, v. 1, n. 2, p. 1-4, ago. 2006.

SILVA, M. G. de. *Concreto projetado com adição de microssílica*. 1993. 212f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

SILVA, N. G.; CAMPITELI, V. C. Influência dos finos e da cal nas propriedades das argamassas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2006, Florianópolis. Anais... Florianópolis: ANTAC, p. 4349-4358, 2006.

SILVA, P. F. A. *Durabilidade das estruturas de concreto aparente em atmosfera urbana*. São Paulo: Pini, 152p., 1995.

SILVA, W. R. L. da; PRUDENCIO JR, L. R.; OLIVEIRA, A. L. de. Probe penetration test applied for evaluating shotcrete compressive strength. *Rev. IBRACON Estrut. Mater.*, São Paulo, v. 5, n. 3, p. 362-387, June 2012.

SOUZA, V. C. M. de; RIPPER, T. *Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto*. São Paulo. Editora PINI, 1998.

TERZIAN, P. *Concreto Pré-Fabricado* in: Isaia, Geraldo. *Concreto Ensino, pesquisas e realizações*. Editora IBRACON, volume 2, 2005.

THALMANN-SUTER, C.N. Concrete aggregate production with TBM muck explained on the alptransit tunnel projects, *Utilizing Ready Mix Concrete Mortar*, 131–144, 1999.

VOTORANTIM CIMENTOS. *Boletim de ensaios de cimento*. Sobral, 2015.

WANG, Dezhi; ZHOU, Xiangming; MENG, Yunfang; CHEN, Zhen. Durability of concrete containing fly ash and silica fume against combined freezing-thawing and sulfate attack, *Construction and Building Materials*, Volume 147, issue 30, p. 398-406, August 2017.

WANG, J.; NIU, D. Influence of freeze–thaw cycles and sulfate corrosion resistance on shotcrete with and without steel fiber, *Construction and Building Materials*, v. 122, p. 628-636, 2016.

WANG, J.; NIU, D; Zhang, Y. Mechanical properties, permeability and durability of accelerated shotcrete, *Construction and Building Materials*, v. 95, p. 312-328, 2015.

WEISS, R. Concrete and shotcrete with crushed aggregates: experience from the AlpTransit construction site Mitholz, Underground Space—the 4th Dimension of Metropolises, in: *Proceedings of the World Tunnel Congress 2007 and 33rd ITA/AITES Annual General Assembly*, Prague, Czech Republic, 2007.

WON, J. P.; HWANG, U. J.; KIM, C. K.; LEE, S. J. Mechanical performance of shotcrete made with a high-strength cement-based mineral accelerator, *Construction and Building Materials*. v. 49 p. 175–183, 2013.

WRUBEL MOREIRA, Kirke Andrew. Estudo das Manifestações Patológicas na Produção de Pré-fabricados de Concreto. 2009. 120 páginas, Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

YUN, K.-K.; CHOI, P.; YEON, J. H. Correlating rheological properties to the pumpability and shootability of wet-mix shotcrete mixtures, *Construction and Building Materials*. v. 98, p. 884–891, 2015.