



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA – UniCEUB
PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

AMANDA BIAZIOLI DE PINHO
GABRIEL PRUDENTE DEMES

AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE TÉRMICA E MECÂNICA DO
CONCRETO TRANLÚCIDO

BRASÍLIA
2019



AMANDA BIAZIOLI DE PINHO
GABRIEL PRUDENTE DEMES

AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS E MECÂNICAS
DO CONCRETO TRANSLÚCIDO

Relatório final de pesquisa de Iniciação Científica
apresentado à Assessoria de Pós-Graduação e
Pesquisa.

Orientação: Prof. Jocinez Nogueira Lima

BRASÍLIA
2019

Agradecimentos

A Deus, que esteve conosco em todos os momentos, nos guiando e nos ensinando.

Aos nossos pais e familiares, que sempre nos apoiaram e torceram pelo nosso sucesso.

Ao nosso professor orientador, que nos deu a oportunidade de realizar uma pesquisa com um material inovador no Brasil, e nos orientou nessa jornada.

Aos funcionários do Labocien pelo suporte, principalmente Vanilson e Dida.

Ao UniCEUB, por nos tornar profissionais com mais experiência.

À equipe de assessoria da pesquisa, que nos deu esta incrível oportunidade e sempre nos acompanhou.

Aos nossos professores, que sempre passaram seus conhecimentos e experiências profissionais.

RESUMO

Adições de diversas fontes são empregadas há um longo tempo na indústria do concreto, com finalidade técnica, econômica ou até mesmo ambiental. Nota-se uma crescente busca para a confecção de um concreto que tenha um bom custo benefício, aliado também a uma iniciativa mais sustentável e natural ao longo do processo de construção civil. A fibra ótica polimérica (FOP) é muito utilizada para aplicações em telecomunicações, devido ao fato de sua espessura similar ao um fio de cabelo (da ordem de 100 a 200 μm) e sua capacidade de transmissão de luz ao longo de milhares de quilômetros. O presente trabalho avaliou a capacidade de transmissão térmica e mecânica de concretos produzidos utilizando a adição da FOP em sua mistura e comparou-os com os concretos convencionais, em termos de resistência mecânica, como exemplares de referência para o devido estudo. O desempenho analisado consistiu de análise da resistência à tração na flexão dos concretos com fibra e, também, de ensaios térmicos que simulassem um ambiente real utilizando-se do respectivo material. Além disso, o ensaio térmico possibilitou a determinação da transmissão de calor de uma face a outra do bloco e também da fadiga térmica. Os resultados obtidos foram favoráveis ao isolamento térmico e também mostrou que a adição de fibra ótica possibilita uma economia de energia para as edificações, por isolar melhor a transmitância de calor. Porém, a adição de fibra à mistura mostrou-se desfavorável para a resistência à tração do concreto translúcido.

Palavras-Chave: Fibra ótica polimérica. Resistência à tração na flexão.

Fadiga térmica.

Sumário

1. Introdução	1
2. Fundamentação Teórica	2
3. Metodologia	14
4. Resultados e discussão	34
5. Considerações Finais ou Conclusão	45
6. Referência bibliográfica	46

1. Introdução

Concreto é um material resultante da mistura de aglomerante, constituído de cimento Portland, e podendo receber adições pozolânicas ou não, agregado graúdo, agregado miúdo, água e aditivos que lhe conferem características específicas. A sílica presente no cimento reage com a água, ocorrendo uma reação exotérmica e formando uma massa trabalhável, capaz de endurecer ao longo do tempo (METHA MONTEIRO, 2014).

O concreto é um material com características únicas e com ampla utilização no mundo atual, por várias razões. A primeira delas é a alta resistência à compressão, a segunda é a facilidade com a qual elementos estruturais de concreto podem ser obtidos e moldados em grande variedade de formas e tamanhos, e a terceira razão é o baixo custo e rápida disponibilidade do material em uma obra (METHA; MONTEIRO, 2014).

O concreto tem excelente resistência à água e ao fogo; o concreto não sofre corrosão e sua resistência aumenta com o tempo, por isso necessita de pouca manutenção. Porém quando exposto a ambientes agressivos, como ambientes marítimos, é suscetível a severo desgaste, requerendo proteção superficial de alto custo, além da permanente manutenção e reparos que exigem custos consideráveis.

Fibras de todos os tipos foram adicionadas ao concreto com a finalidade de melhorar as características do concreto, e este trabalho em específico concentra-se em pesquisar mais sobre o concreto ao qual foi adicionado fibra óptica polimérica, com o objetivo de possibilitar a passagem da luz natural do ambiente, ou parte dela, para os ambientes internos da edificação.

Sempre haverá a necessidade de se pesquisar sobre novos materiais e suas propriedades tanto na engenharia civil, como na área de arquitetura com a criação de ambientes diferenciados. Por isso, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho térmico e mecânico de um bloco de concreto translúcido disponibilizado pelo UniCEUB, previamente preparado pela engenheira civil Raphaella Amorim em seu projeto de conclusão de curso.

2. Fundamentação Teórica

História do Concreto

O concreto, segundo Luís Fernando Kaefer, trata-se de um material plástico, que é moldado de maneira a adquirir a forma desejada antes que desenvolva um processo de endurecimento, adquirindo resistência suficiente para resistir sozinho aos esforços que o solicitam. A história do concreto tem as primeiras evidências em Roma, a aproximadamente 2.000 anos atrás. O concreto, nessa época, era essencialmente utilizado em aquedutos e estradas romanas (<https://cimento.org/concreto/>).

Os romanos utilizavam matérias primas diferentes em seus concretos. As misturas consistiam de cascalho e areia grossa misturados com cal aquecida e água. Evidências históricas constatam também que os sírios e babilônios já usavam argila como material ligante para a mistura. Mesmo os Egípcios antigos são conhecidos por utilizar cal e cimento para o concreto, sendo assim, argamassas de cal e cimento foram amplamente utilizadas nas construções das pirâmides egípcias. Contudo, os romanos é que foram conhecidos por terem feito amplo uso de concreto, principalmente para construir estradas. Alguns relatos indicam que se construiu aproximadamente 5.300 milhas de estradas utilizando concreto, além disso, outras evidências apontam que romanos usavam pozolana, gordura animal, leite e sangue como aditivos em construções de concreto (<https://cimento.org/concreto/>).

O primeiro relato oficial da utilização de concreto aponta para o ano 1756, quando o inglês John Smeaton produziu uma mistura contendo agregado graúdo e cimento. Em 1793, ele construiu o *Eddystone Lighthouse* em *Cornwall*, sudoeste da Inglaterra, com o uso de cimento hidráulico. Outro grande desenvolvimento na história da evolução do concreto aconteceu no ano 1824 quando o inventor inglês Joseph Aspdin desenvolveu e patenteou o cimento Portland. Aspdin alcançou tal feito queimando giz com terra e também argila em um forno até que o dióxido de carbono evaporasse totalmente, resultando em um forte cimento.

Atualmente, a utilização de concreto e principalmente concreto armado (concreto reforçado com barras de aço para esforços de tração) é amplamente difundida e seu uso está entre um dos materiais mais utilizados no mundo todo.

O concreto é um material de construção muito resistente, capaz de resistir a elevados esforços de compressão, porém, com relação às solicitações de tração, o concreto apresenta uma certa deficiência. Com a elevada demanda de utilização do mercado e o

avanço tecnológico, outros materiais e compostos começaram a ser introduzidos na mistura do concreto, a fim de possibilitar maior eficiência, resistência e trabalhabilidade. Como exemplo desses compostos, tem-se aditivos superplastificantes, retardadores de pega, hidrofugantes, entre outros. Além disso, pode-se introduzir na mistura diferentes tipos de cimentos, adições como pozolanas e outros materiais extremamente finos, a fim de diminuir o volume de vazios (contribuindo para uma menor porosidade), reduzir a permeabilidade e, conseqüentemente, melhorar a resistência mecânica, portanto, provocam efeitos permanentes.

Tipos de concreto

A demanda do mercado exigiu da engenharia civil um avanço da tecnologia e inovação dos materiais. Como consequência foram criados vários tipos de concreto para uma utilização específica (METHA, MONTEIRO, 2014).

As principais classificações do concreto são relativas à sua:

- Resistência;
- Densidade, ou massa específica;
- Cor;
- Opacidade.

Quanto à sua resistência, temos os seguintes tipos de concreto:

1. Concreto Convencional: O concreto convencional é o tipo de concreto mais utilizado nas obras de construções. É formado basicamente por areia, cimento, água e agregados. Pode ser lançado nas fôrmas por método convencional, utilizando carrinho de mão, grua, caçamba, balde, entre outros. O concreto convencional pode ser usinado ou feito na própria construção com ajuda de uma betoneira. É utilizado em obras civis, industriais e em peças pré-moldadas. No uso deste concreto faz-se necessário o uso de vibrador para que o adensamento seja realizado da forma correta, devido à baixa trabalhabilidade e sua consistência seca. Por outro lado, não se deve utilizar bombas para o lançamento do concreto convencional. A resistência do concreto convencional varia de 5,0 em 5,0 MPa, a partir de 10,0 até 40,0 MPa e seu abatimento (slump) varia de 40 a 70 mm.

2. Concreto Auto-adensável (CAA): O concreto auto adensável surgiu com a necessidade de se obter um material com alta fluidez sem riscos de exsudação ou segregação e que pudesse preencher as fôrmas e moldes, além de descartar o processo de vibração. Sua aplicação é rápida, requer menos mão-de-obra, e não deixa ninhos de concretagem. Por essas e outras razões, o CAA é cada vez mais empregado como material de construção, tanto nos setores de pré-moldados e pré-fabricados, como para as aplicações de concreto no local. Um concreto auto adensável típico possui abatimento superior a 200 mm e pode ser utilizado em concretagens submersas e para bombeamento do concreto (Repette, 2008).

3. Concretos de baixa resistência: menos de 20 MPa (3000 psi).

4. Concreto de resistência moderada: de 20 MPa a 40 MPa (3000 a 6000 psi).

5. Concreto de alta resistência: mais de 40 MPa (6000 psi).

Quanto à sua densidade, ou massa específica, o concreto pode ser classificado em três amplas categorias:

Concreto de densidade convencional: 2.400 kg/m³ - para fins estruturais

1. Concreto de alto desempenho (CAD): É um concreto projetado para ser mais durável e resistente que o concreto convencional, além de obterem um maior desempenho com relação à potenciais agressivos. As misturas e traços do CAD convencionalmente contém adição de sílica ativa, e em alguns casos cinza volante. O concreto resultante é mais durável e resistente, possibilitando atingimento de elevados níveis de requisitos de projeto. Costuma-se admitir como CAD concretos que atinjam resistência à compressão na faixa de 60 Mpa a 120 Mpa.

Quanto à sua cor, o concreto pode ser classificado nas seguintes categorias:

1. Concreto convencional: a cor resultante é aquela da mistura convencional do cimento Portland aos agregados graúdo e miúdo, usualmente cinza escuro.

2. Concreto colorido: são utilizados cimentos com cores determinadas, além de adicionados corantes ao concreto. As cores resultantes mais comuns são branco, vermelho e preto. Tem a mesma resistência do concreto convencional, e

pode ser usado em elementos estruturais de edifícios e obras de arte como pontes e viadutos.

Quanto à sua opacidade, o concreto pode ser classificado nas seguintes categorias:

1. Concreto opaco: é o concreto resultante da mistura convencional do cimento Portland aos agregados graúdo e miúdo, completamente opaco
2. Concreto translúcido: é concreto convencional ao qual são adicionadas fibras plásticas ou de vidro que possibilitam a passagem de luz pelas peças moldadas de concreto.

Concreto com fibras

Conforme (METHA, MONTEIRO, 2014) são adicionadas fibras ao concreto para melhorar a resistência à fissuração, tenacidade, resistência, resistência à fadiga, resistência ao impacto e outras prioridades da engenharia, porém, Metha, Monteiro (2014) também comenta que a adição de qualquer tipo de fibra em um concreto convencional reduz sua trabalhabilidade.

Uma das vantagens do reforço proporcionado pelas fibras é o fato destas se distribuírem aleatoriamente no material, reforçando toda a peça, e não uma determinada posição, como ocorre com as armaduras convencionais (FIGUEIREDO, 2005).

Figueiredo (2005) explica a eficiência da fibra no concreto:

“Como a eficiência da fibra depende de sua atuação como ponte de transferência de tensão ao longo da fissura que aparece no concreto, pode-se deduzir uma série de aspectos tecnológicos fundamentais. Um deles é o fato de a capacidade de reforço que as fibras apresentam depender diretamente do teor de fibra utilizado. Ou seja, quanto maior for o teor, maior será o número de fibras atuando como ponte de transferência de tensão, o que aumenta a capacidade de reforço pós-fissuração do compósito.”

Na figura 1 é apresentado um gráfico onde se apresentam curvas médias de carga por deflexão num ensaio de tração na flexão, com deslocamento controlado que consiste no principal meio de controle da capacidade de reforço das fibras. Figueiredo (2005) observou que em um trecho elástico inicial, que ocorre até uma deflexão de cerca de 0,04 mm, a matriz de concreto trabalha sem apresentar alterações com o aumento do teor de fibras. Por outro lado, a carga resistida pós-pico ou pós-fissuração, que corresponde ao trabalho da matriz fissurada, aumenta como o incremento no consumo de fibras, isto é, o

consumo de 40 kg/m³ de fibras proporciona uma resistência residual maior que o consumo de 30 kg/m³ e este superior ao de 20 kg/m³.

Esse mesmo autor também ressaltou que, além do teor de fibras, o desempenho após a fissuração do concreto depende muito da geometria da fibra que está sendo utilizada. Para parametrizar essa influência, este autor utilizou o parâmetro chamado “fator de forma” (λ), que consiste no valor obtido a partir da divisão do comprimento da fibra pelo diâmetro do círculo cuja área seja equivalente à da seção transversal da fibra. Deste modo, aumentando-se o comprimento da fibra ou reduzindo-se a sua seção transversal, o valor de λ será maior. Em geral, quanto maior for λ , maior será a capacidade resistente após a fissuração do concreto. No exemplo da Figura 2, fica claro resistência após a fissuração foi maior para a fibra mais longa.

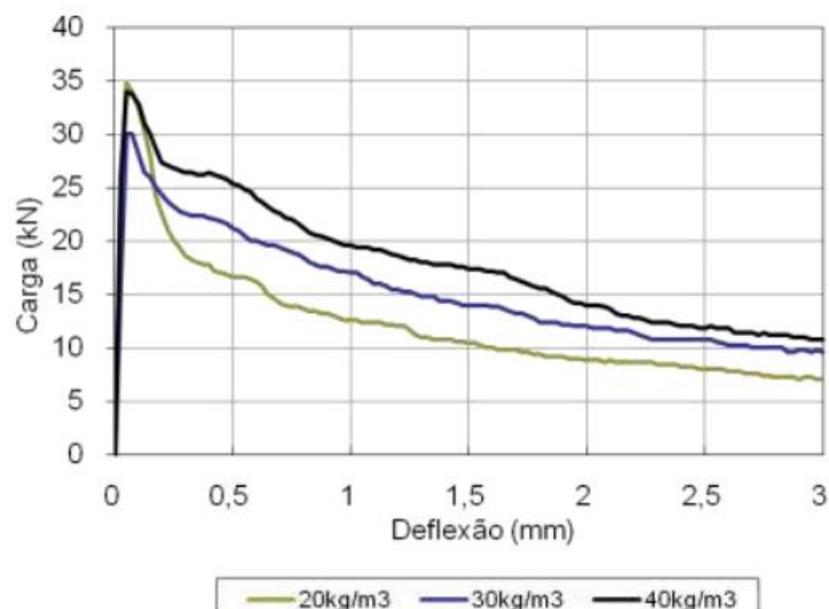


Figura 1 - Curvas médias de carga por deflexão obtidas no ensaio de tração na flexão de concretos de $f_{ck}=20\text{Mpa}$ e com diferentes consumos de fibra de aço. (FIGUEIREDO; NUNES; TANESI, 2000).

Fonte: Figueiredo (2005)

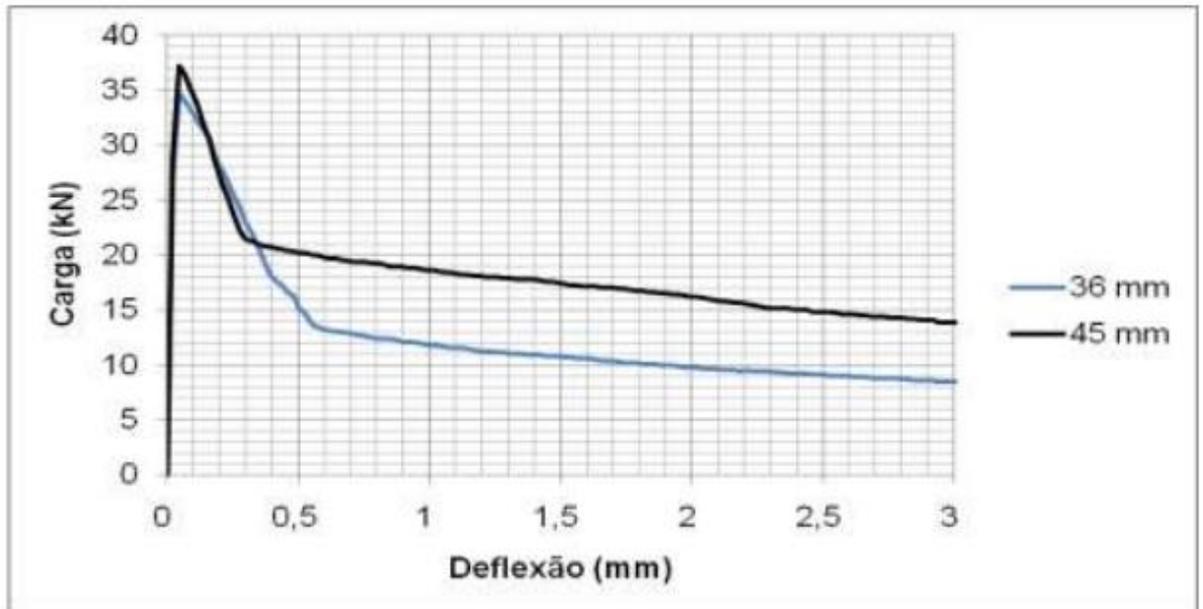


Figura 2 - Curvas médias de carga por deflexão obtidas no ensaio de tração na flexão de concretos de $f_{ck}=30\text{MPa}$ reforçados com fibras de 36 mm e 45 mm de comprimento que possuem a mesma seção transversal (FIGUEIREDO, CECCATO; TORNERI, 1997).

Fonte: Figueiredo (2005)

Figueiredo (2005) também ressaltou que aumentando indefinidamente o comprimento da fibra não traz o benefício do aumento da resistência pós-fissuração. Isto ocorre quando se ultrapassa o chamado comprimento crítico da fibra (L_c). O autor definiu que L_c está baseada no modelo que prevê a tensão entre a matriz e a fibra aumentando linearmente dos extremos para o centro da mesma. Esta tensão é máxima quando a tensão a que a fibra está submetida se iguala à tensão de cisalhamento entre esta e a matriz. Na Figura 3 se encontram apresentadas as situações possíveis de distribuição de tensão na fibra em relação ao L_c , quais sejam: $L = L_c$, $L > L_c$ e $L < L_c$, onde L = comprimento da fibra. Assim, o L_c é aquele em que a fibra atinge uma tensão no seu centro igual à sua tensão de ruptura quando a fissura atinge perpendicularmente esta posição da fibra. O autor ainda explicou que quando a fibra tem um comprimento menor que o crítico, a carga de arrancamento proporcionada pelo comprimento embutido na matriz não é suficiente para produzir a ruptura da fibra. Nesta situação, com o aumento da deformação e conseqüentemente da abertura da fissura, a fibra que está atuando como ponte de transferência de tensões pela fissura será arrancada do lado que possuir menor comprimento embutido. Este é o caso encontrado para as fibras de aço no concreto de baixa e moderada resistência mecânica. Quando se tem um concreto de elevada

resistência mecânica ou se utiliza uma fibra de menor resistência, melhora-se a condição de aderência relativa entre a fibra e a matriz e, nestes casos, o L_c é reduzido.

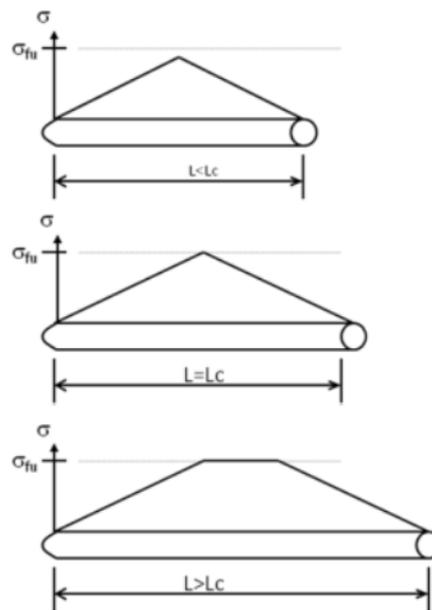


Figura 3 - Distribuições possíveis de tensão ao longo de uma fibra em função do comprimento crítico (adaptado de Bentur; Mindess, 1990).

Fonte: Figueiredo

Figueiredo (2005) reforçou que o conceito de que a resistência da fibra afeta diretamente o comportamento do compósito, pois ela acaba afetando o L_c e, conseqüentemente, a capacidade resistente pós-fissuração. Assim, quanto maior a resistência da fibra, tão maior será a capacidade resistente residual que ela pode proporcionar. Isto foi demonstrado para o caso do concreto projetado quando se comparou o desempenho entre duas fibras de aço com diferentes níveis de resistência (Figueiredo, 1997).

Segundo Figueiredo (2005), o comprimento da fibra sempre requer atenção. É recomendado a utilização de fibras cujo comprimento seja igual ou superior ao dobro da dimensão máxima característica do agregado utilizado no concreto. Em outros termos, conforme Figueiredo (2005) apud Maidl (1991), deve haver uma compatibilidade dimensional entre agregados e fibras de modo que estas interceptem com maior frequência a fissura que ocorre no compósito. A compatibilidade dimensional possibilita a atuação da fibra como reforço do concreto e não como mero reforço da argamassa do concreto. Isso é importante porque a fratura se propaga preferencialmente na região de interface entre o agregado graúdo e a pasta para concretos de baixa e moderada resistência mecânica. Na

Figura 4a, encontra-se representado um concreto com compatibilidade dimensional entre agregado e fibra, e na Figura 4b, outro onde isso não ocorre. Percebe-se que, quando não há a compatibilidade, poucas fibras trabalham como ponte de transferência de tensões na fissura. Para se minimizar o problema pode-se reduzir a dimensão máxima característica do agregado ou aumentar o comprimento da fibra. No caso de pavimentos, onde não há grandes restrições quanto à dimensão dos componentes do concreto, é possível utilizar fibras mais longas, com até 60 mm de comprimento, compatíveis com agregados de maiores dimensões (19 mm e 25 mm). A utilização de fibras curtas facilita a aplicação do concreto projetado, cuja dimensão máxima característica raramente ultrapassa 9,5 mm, uma vez que o material terá de passar por um mangote de dimensões reduzidas. Nesse caso, o comprimento da fibra não ultrapassa 35 mm de comprimento. (FIGUEIREDO, 2005)

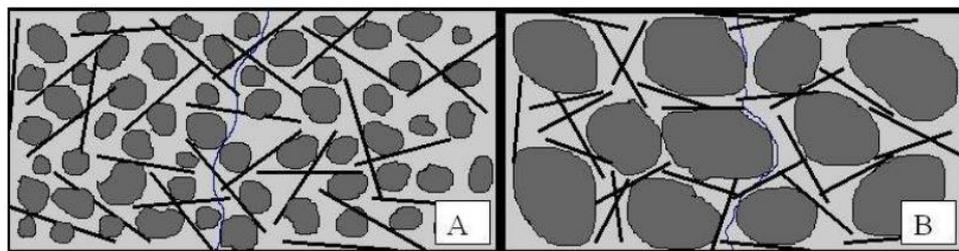
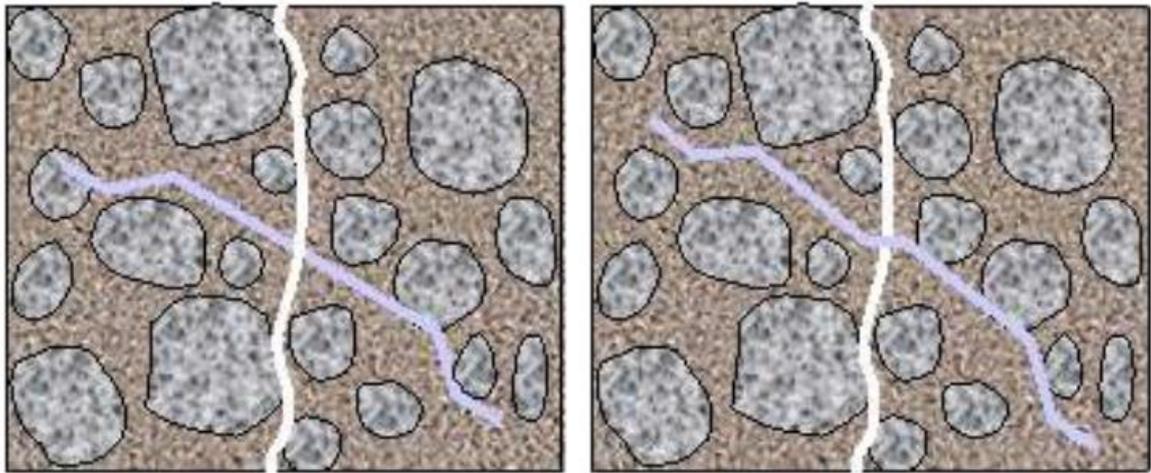


Figura 4 - Concreto reforçado com fibras em que há compatibilidade dimensional entre estas e o agregado graúdo (A) e onde não há(B).

Fonte: Figueiredo (2005)

De acordo com Figueiredo (2005), as fibras frágeis poderão aumentar a perda de eficiência relativa à sua inclinação em relação ao plano de ruptura. Isso ocorre pelo elevado nível de tensão de cisalhamento a que a fibra é submetida nessa situação. Se ela não for capaz de se deformar plasticamente, de modo a se alinhar ao esforço principal, acaba rompendo-se por cisalhamento, como na situação ilustrada na Figura 5

As fibras óticas poliméricas (FOP) utilizadas neste trabalho foram posicionadas transversalmente ao esforço principal de flexão. Sendo assim, diminuem a seção útil que resiste aos esforços principais aos quais a peça foi submetida, diminuindo a sua resistência ao cisalhamento, de acordo com Figueiredo (2005). Desta forma, o corpo de prova acaba rompendo-se por cisalhamento, como na situação ilustrada na Figura 5.



Fibra frágil

Fibra dúctil

Figura 5 - Diferença de comportamento entre fibras dúcteis e frágeis quando inclinadas em relação á superfície de ruptura.

Fonte: Figueiredo (2005)

Concreto translúcido

A ideia principal deste tipo de concreto é a adição de uma quantidade de fibras ópticas à mistura convencional do concreto, assim, permite que uma parcela da luz possa ser transmitida até o outro lado da fonte luminosa e depende diretamente da quantidade de fibra aplicada no mesmo. O concreto translúcido tem a resistência do concreto convencional. A criação de Áron Losonczy foi revolucionária, não só por ser um material tecnológico e diferenciado, mas também por apresentar força e solidez.

O concreto translúcido surgiu da mistura de fibra de vidro com a composição de agregados, cimento, aditivos e água. Losonczy incluiu uma mistura de cimento com milhares de fibras ópticas de diâmetros que variavam de 2 μm a 2 mm, isto é, de $2 \times 10^{-6}\text{m}$ até $2 \times 10^{-3}\text{m}$. Elas foram distribuídas em camadas ou células, permitindo uma passagem considerável de luz através das estruturas. Além disso, devido à essas propriedades, o concreto translúcido possui o status de produto ecologicamente correto, já que proporciona economia de energia ao transformar o aspecto interior dos edifícios de concreto aproveitando melhor a luz solar, o que contribui para a redução do consumo de energia elétrica, permitindo uma diminuição nas emissões de gases de efeito estufa. Assim, uma parede fabricada com este material tem a mesma solidez e resistência do concreto convencional e, graças às fibras ópticas que são incorporadas, possibilita a visualização de silhuetas situadas no “exterior” (RESTREPO, 2013).

Há uma diferença entre transparência e translucidez, onde RESTREPO (2013) bem definiu:

“A transparência e a translucidez têm um relacionamento, mas não compartilham a mesma qualidade. A transparência deixa atravessar a luz e ver os objetos de forma clara e nítida, pelo contrário, a translucidez tem a qualidade de deixar ver os objetos e formas, mas não de maneira clara e nítida através de um material. Com a possibilidade de trabalhar com a luz, os materiais translúcidos e transparentes criam aparências uniformes, permitindo a entrada de luz natural no interior dos ambientes, satisfazendo os requerimentos desejados e a capacidade de refletir e transmitir a luz.”

Fibra ótica polimérica

A fibra ótica polimérica é composta por núcleo, casca e membrana, como é ilustrado na figura 6, e é “um filamento de vidro, plástico ou materiais poliméricos, suficientemente transparentes de forma que um feixe de luz incidente na sua extremidade possa ser transportado através deste filamento até a outra extremidade” como diz RESTREPO (2013),

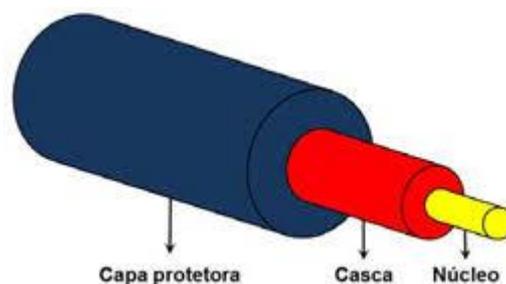


Figura 6 - Desenho esquemático do corte transversal de uma fibra ótica convencional do tipo núcleo-casca

Fonte: https://www.crq4.org.br/qv_fibrasopticas

Nas pesquisas realizadas, foi encontrado que o núcleo apresenta um índice de refração (relação entre a velocidade da luz no vácuo e a velocidade da luz em um determinado meio) ligeiramente maior ao da casca devido a pequenas variações da composição química desses vidros. Esta pequena diferença de índice de refração leva ao confinamento da luz dentro do núcleo através de reflexões internas totais da luz na interface núcleo-casca, permitindo o guiamento da luz na fibra ótica apenas pelo núcleo. Enquanto a capa protetora é composta por um material polimérico que tem a função de aumentar a resistência mecânica da fibra ótica (manuseio, curvatura, pressão) e protegê-la de intempéries provenientes da atmosfera ambiente na qual está inserida

(https://www.crq4.org.br/qv_fibrasopticas). No mercado é possível encontrar variações em seu diâmetro.

Vale destacar que a fibra ótica polimérica tem flexibilidade e versatilidades de usos, é manipulável e reutilizável, além de não conduzir eletricidade, o qual evita a propagação do fogo.

Processo de fabricação da FOP

Conforme URIBE (2010) cita em sua dissertação de Pós-Graduação que a empresa FASA, que é fabricante de sistemas com fibras óticas, a fibra ótica polimérica (FOP) é fabricada mediante o processo de extrusão de polímeros. É um processo industrial, usado para produzir objetos com seções transversais definidas e superfícies com um acabamento excelente. A matéria prima é introduzida por um funil em forma de grãos pequenos. O polímero fundido é forçado a passar através de um funil no outro extremo por meio do empuxo gerado pela ação giratória do parafuso de Arquimedes, que gira concentricamente em uma câmara a temperaturas controladas, com uma separação mínima entre os dois elementos. A figura 7 ilustra o processo interno de extrusão.

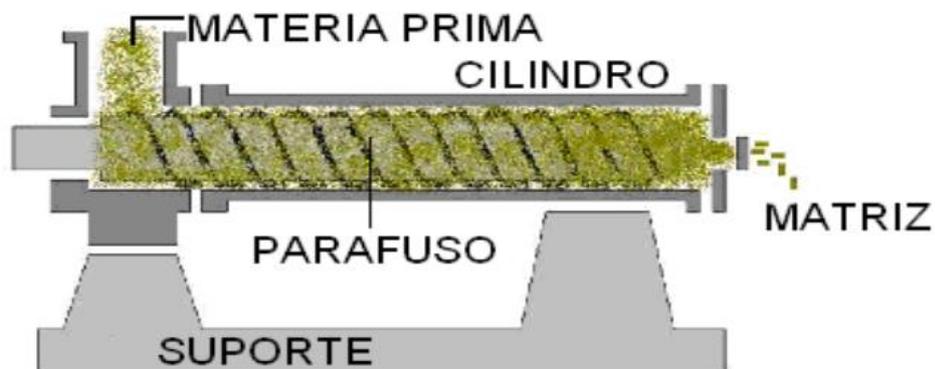


Figura 7 - Processo de extrusão

Fonte: URIBE apud www.setor1.com/extrusao/dese_extru.htm

Segundo URIBE (2010) apud Zubia (2001) apresenta o processo de fabricação da fibra por extrusão. Observa-se na figura 8 que a extremidade inferior do extrusor é aquecida com ajuda de uma estufa a uma temperatura de aproximadamente 200°C, de modo que deve adquirir a viscosidade necessária para ser capaz de expulsar o polímero para baixo. A velocidade de extrusão e a velocidade de rotação do mandril é controlada por um mecanismo regulador para que a fibra tenha o diâmetro desejado constante. Antes da fibra ser coletada em rolos, passa por controles de diâmetro e aquecimento.

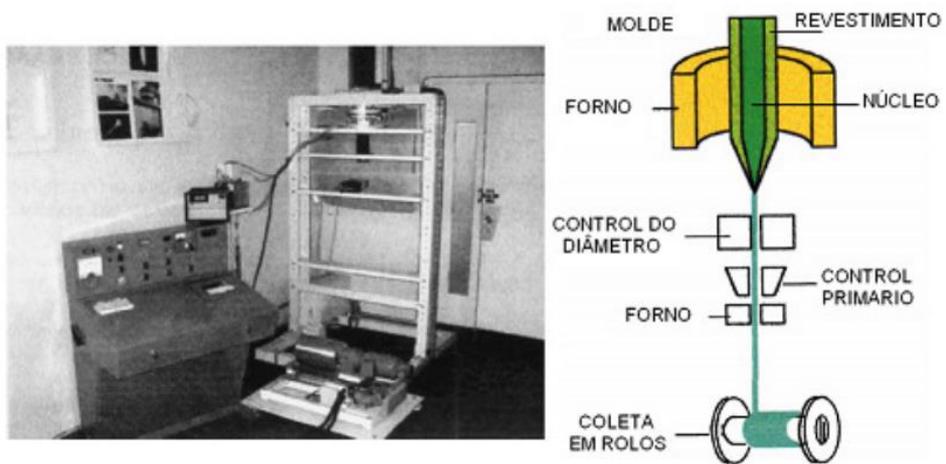


Figura 8 - Processo de fabricação da fibra

Fonte: URIBE (2010) apud Zubia, 2001

Durante o processo de extrusão, as relações geométricas entre o núcleo e o revestimento são mantidas constantes, embora possa haver uma redução de 300-1 a partir do diâmetro da pré-forma para o diâmetro final da fibra (URIBE, 2010).

3. Metodologia

Bloco de Concreto Translúcido

Este projeto de pesquisa utilizou um bloco de concreto translúcido fornecido pelo UniCEUB, previamente preparado pela engenheira civil Raphaella de Souza Serapião Amorim em seu trabalho de conclusão de curso.

O bloco de concreto translúcido fornecido constitui-se de um bloco de concreto de dimensões 39 cm x 19 cm x 15 cm, ao qual foram adicionadas fibras ópticas transversalmente. Para este trabalho viu-se a necessidade de diminuição da espessura do bloco devido ao fato de haver bastante dificuldade para a realização do ensaio de transmitância térmica. Por isso adotou-se para a confecção deste projeto a redução da espessura de 15 cm para 7,5 cm, porém conservando-se as mesmas dimensões de comprimento e altura, resultante em um bloco de dimensões 39 cm x 15cm x 7,5cm.

A dosagem adotada para a confecção do bloco foi aquela empregada por (CADAVID RESTREPO, 2013) com o traço de 1:1,91:2,87. Os agregados graúdos separados para a confecção do bloco foram previamente secos em estufa, assim, adicionou-se 1,0 l de água à mistura, com finalidade de atingir 10 cm de *slump* (abatimento) que são requeridos por norma.

As fibras ópticas inseridas no corpo do bloco têm o diâmetro de 3,2 mm, e foram inseridas com separação mínima de 1,2 cm e máxima de 1,3 cm, sendo inseridas 406 unidades.

Bloco de concreto convencional

Confecção das fôrmas para os blocos de concreto convencional

Primeiramente, confeccionaram-se duas formas pelo Labocien do UniCEUB do campus da Asa Norte. As duas formas foram construídas de madeira para a concretagem dos dois blocos de concreto que seriam utilizados posteriormente com 39 x 19 x 7,5 cm, como mostra a Figura 9 abaixo.



Figura 9 -Fôrmas feitas para a concretagem de concreto convencional

Fonte: Autor

Caracterização dos materiais utilizados para a confecção dos blocos de concreto

É de grande importância o conhecimento das características dos materiais que foram utilizados para a confecção deste projeto, por isso foi realizado ensaios de caracterização destes materiais.

Granulometria da areia e da brita

O ensaio de granulometria seguiu a NM 248:2001. Assim, as amostras de ensaio da areia e da brita foram secas em estufa, esfriadas a temperatura ambiente, e foi determinado sua massa.

As peneiras foram encaixadas de modo a formar um único conjunto de peneiras, com abertura de malha em ordem crescente da base para o topo. Colocou-se as amostras sobre a peneira superior do conjunto e foi promovida a agitação mecânica do conjunto para permitir a separação e classificação dos diferentes tamanhos de grão da amostra e verificou-se todas as peneiras do conjunto, como apresenta o quadro 1 (de areia) e o quadro 2 (de brita).

Fonte: Autor

Peneiras		Massa Peneira (g)		Massa Amostra	Porcentagem retirada (%)	Porcentagem acumulada (%)
n°.	mm	vazio	cheio			
2"	50,00					
1.1/2"	38,00					
1.1/4"	32,00					
1"	25,00	408,3	408,3	0,0	0,000	0,000
3/4"	19,00	437,5	437,5	0,0	0,000	0,000
1/2"	12,50	425,1	425,1	0,0	0,000	0,000
3/8"	9,50	421,4	421,4	0,0	0,000	0,000
1/4"	6,30	410,3	413,0	2,7	0,269	0,269
4	4,80	468,7	478,0	9,3	0,929	1,198
8	2,40	412,7	448,3	35,6	3,550	4,748
16	1,20	361,5	403,0	41,5	4,148	8,896
30	0,60	338,8	450,6	111,8	11,175	20,071
50	0,30	289,3	785,4	496,1	49,590	69,661
100	0,15	278,8	535,3	256,5	25,639	95,300
Fundo	Fundo	354,4	401,3	46,9	46,900	99,988
Módulo de Finura (%):0,99988				Dimensão Máxima (%): 2,4		

Quadro 2 - Ensaio de granulometria da brita

Fonte: Autor

Peneiras		Massa Peneira (g)		Massa Amostra	Porcentagem retirada (%)	Porcentagem acumulada (%)
n°.	mm	vazio	cheio			
2"	50,00					
1.1/2"	38,00					
1.1/4"	32,00					
1"	25,00	408,3				
3/4"	19,00	437,5				
1/2"	12,50	425,1				
3/8"	9,50	421,4	490,6	69,2	6,92	6,92
1/4"	6,30	410,3	778,6	368,3	36,83	43,75
4	4,80	468,7	755,7	287,0	28,70	72,45
8	2,40	412,7	650,3	237,6	23,76	96,21
16	1,20	361,5	368,2	6,7	0,67	96,88
30	0,60	338,8	338,8	0,0	0,00	96,88
50	0,30	289,3	289,3	0,0	0,00	96,88
100	0,15	278,8	279,0	0,2	0,02	96,90
Fundo	Fundo	354,4	355,3	0,9	0,09	96,99
Módulo de Finura (%):0,9699				Dimensão Máxima (%): 9,5		

Finura do cimento

O cimento adotado para a realização do estudo foi CII-F com 30 MPA de resistência à compressão. Preliminarmente, determinou-se a finura do cimento de acordo com a norma NBR 11579/1991 (MB-3432).

Normas pertinentes:

- NBR 11579:2012 – Cimento Portland - Determinação da finura por meio da peneira 75 μ m (n°200);
- EB 22 – Peneiras para ensaio com telas de tecido metálico - Especificação

Os equipamentos normatizados utilizados no ensaio foram:

- Balança com precisão de 0,01g;
- 100g de cimento CII-F;
- Cronômetro (com resolução de 1s);
- Flanela;
- Bastão;
- Conjunto de peneiramento;
- Pincéis;
- Vidro-relógio.

Execução do ensaio:

Separou-se uma amostra de 50g de cimento CII-F e posterior pesagem da mesma na balança de precisão de 0,01g. Após a pesagem, prosseguiu-se para a etapa de eliminação dos finos da amostra, que consistia em peneirar o cimento em um movimento leve de vaivém de 3 a 5 minutos, até que os grãos mais finos pudessem passar quase totalmente pelas malhas da tela da peneira.

Em seguida, para a etapa intermediária, colocou-se a tampa e retirou-se o fundo da peneira, desprendendo as partículas aderidas à tela e parede da peneira com auxílio de golpes de bastão. Limpou-se toda a superfície com o pincel e o fundo com uma flanela. Encaixou-se o fundo e, retirou-se a tampa e peneirou-se com movimento suave de vaivém por 15 a 20 minutos, girando todo o conjunto em intervalos pré-definidos, a fim de movimentar o material para que fique uniformemente espalhado pela superfície da tela.

Colocou-se a tampa em seguida e retirou-se o fundo, seguindo o mesmo procedimento da etapa anterior, para desprender partículas aderidas à tela e à parede da peneira. Limpou-se a superfície inferior com pincel e o fundo com flanela.

Para a etapa final, colocou-se a tampa e o fundo da peneira, com esta ligeiramente inclinada. Submeteu-se então a peneira à movimentos rápidos de vaivém, girando todo o conjunto a 60° a cada 10 segundos. Após isso, pesou-se todo o material contido no fundo da peneira, com incerteza de ±0,01g. O procedimento foi continuado até que a massa de cimento, que passasse durante 1 minuto de peneiramento contínuo, fosse inferior a 0,05g.

Após a etapa de ensaio, realizou-se a etapa de pesagem final do material retido na peneira com incerteza máxima de 0,01g. O procedimento foi realizado duas vezes, de acordo com a norma, com duas amostras de 50g cada.

Realizados os procedimentos, obteve-se os seguintes resultados mostrados no Quadro 3:

Quadro 3 - Ensaio de finura do cimento

Fonte: autor

	Massa retida na peneira nº 200
1ª realização do ensaio	1,08g
2ª realização do ensaio	1,76g

A partir dos dados encontrados, calculou-se o índice de finura do cimento através da equação 1 :

$$F = \frac{RC}{M} * 100 \quad \text{Eq.(1)}$$

Onde:

1. F é o índice de finura do cimento, expresso em porcentagem;
2. R é o resíduo do cimento na peneira nº 200, em gramas;
3. M é a massa inicial do cimento (para ambos ensaios, 50g), em gramas;
4. C é o fator de correção (adotou-se 1,00).

Com os dados acima, pode-se obter os seguintes resultados, agrupados no Quadro 4:

Fonte: Autor

	Finura do cimento obtida (%)
1ª realização do ensaio	2,16%
2ª realização do ensaio	3,52%

Frasco de Chapman

Como a norma NBR 9776/1987 descreve, a massa específica é a relação entre a massa do agregado seco em estufa, com temperaturas entre 100° C a 110° C, até constância de massa e volume igual do sólido, incluindo poros impermeáveis. A metodologia deste ensaio foi baseada na norma supracitada.

A água foi colocada no frasco de Chapman até a marca de 200 cm³ conforme a Figura 10, e, em seguida, deixou-se em repouso o material contido no frasco para que a água aderida às faces internas do frasco escorresse totalmente. Após isso introduziu-se cuidadosamente 500 gramas de agregado miúdo seco em estufa (Figura 11), de acordo com a respectiva norma, no frasco o qual deve ser devidamente agitado para a eliminação das bolhas de ar.

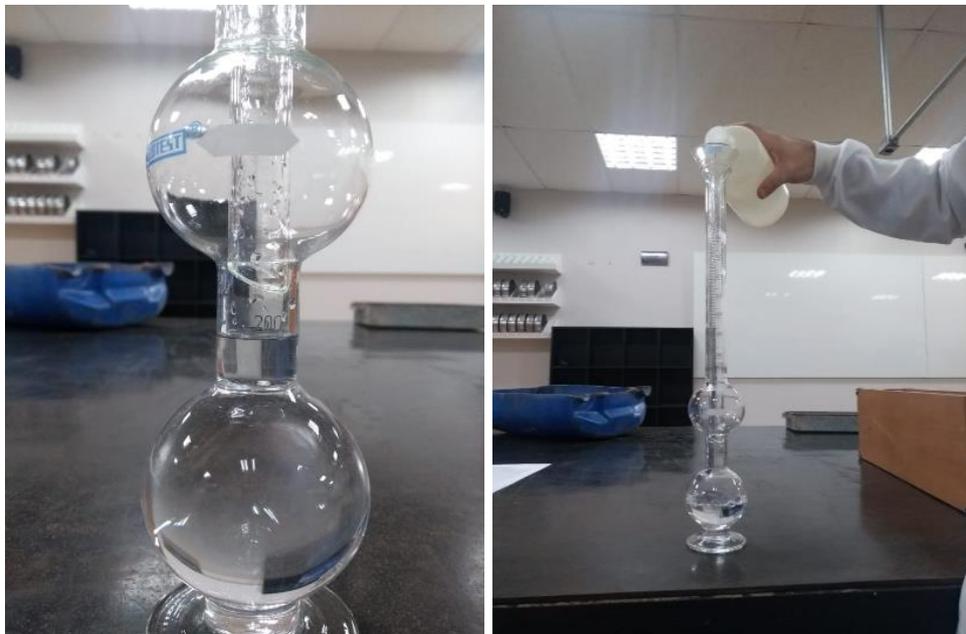


Figura 10- Colocação de água no frasco de Chapman

Fonte: Autor



Figura 11- Adição de areia seca em estufa no frasco de Chapman

Fonte: Autor

Fez-se a leitura do nível atingido pela água no gargalo do frasco, indicando o volume em cm^3 , como mostra a figura 12.



Figura 12- Realização da leitura do ensaio do frasco de Chapman

Fonte: Autor

A massa específica do agregado miúdo é calculada mediante a expressão:

$$Y = \frac{500}{L-200} \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde:

5. Y é a massa específica do agregado miúdo (expressa em g/cm³);
6. L é a leitura do frasco, isto é, o volume ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo.

Vale ressaltar que a norma determina que duas determinações consecutivas com amostras do mesmo agregado miúdo não devem diferir entre mais de 0,050g/cm³, e o resultado ser expresso com três algarismos significativos.

Determinação de massa unitária da areia e da brita

Conforme a NBR NM 45 – 2006 - Determinação de massa unitária e do volume de vazios, que estabelece o método para a determinação da densidade a granel e dos espaços vazios de agregados miúdos, graúdos ou de mistura dos dois, em estado compactado ou solto, e se aplica a agregados com dimensão máxima característica igual ou menos que 75 mm.

Determinou-se e registrou-se a massa do recipiente vazio. A seguir, encheu-se o recipiente até que o mesmo transbordou, utilizando uma pá, despejando o agregado de uma altura que não foi superado 50 mm acima da borda superior do recipiente.

Logo após a camada superficial do agregado foi nivelada e determinou-se e registrou-se a massa seu recipiente mais seu conteúdo. Este procedimento foi realizado 3 (três) vezes, tanto para a areia como para a brita. Os dados foram organizados e dispostos segundo os quadros 5 e 6, para areia e brita, respectivamente.

Quadro 5 - Determinação da massa unitária da Areia

Fonte: Autor

	1	2	3	MÉDIA
PESO DO RECIPIENTE	2508,8	2508,8	2508,8	2508,8
PESO DO RECIPIENTE + AMOSTRA	6512,2	6519,3	6551,6	6527,7
PESO AMOSTRA (g)	4003,4	4010,5	4042,8	4018,9
VOLUME RECIPIENTE (cm ³)	3000,403	2999,201	3000,003	2999,869
MASSA UNITÁRIA (g/cm ³)	1,334287	1,337189	1,347599	1,339692

Quadro 6 - Determinação da massa unitária da Brita

Fonte: Autor

	1	2	3	MÉDIA
PESO DO RECIPIENTE	2508,8	2508,8	2508,8	2508,8
PESO DO RECIPIENTE + AMOSTRA	6959,3	6985,9	6953,1	6966,1
PESO AMOSTRA	4450,5	4477,1	4444,3	4457,3
VOLUME RECIPIENTE	3000,403	2999,201	3000,003	2999,869
MASSA UNITÁRIA (g/cm ³)	1,483301	1,492764	1,481432	1,485832

Pré-concretagem

Com a finalidade de que a pesquisa pudesse ser comparada às outras pesquisas foi realizado o mesmo procedimento que os demais, os materiais foram lavados e secos em estufa.

As 8 fôrmas dos corpos de provas, de geometria cilíndrica de 10 cm de diâmetro e 20 de altura, e os dois blocos feitos de madeira foram untados com óleo, conforme mostra a figura 13, com a finalidade de que a desmoldagem fosse mais fácil.



Figura 13 - Preparação das fôrmas utilizadas para a concretagem com a aplicação de óleo

Fonte: Autor

Foram pesados 15 Kg de cimento, 28,65 Kg de areia e 43,05 Kg de brita 0, como é apresentado na figura 14, conforme o traço 1:1,91:2,87 usado por RAPHAELLA DE SOUZA SERAPIÃO AMORIM em seu TCC e por LAURA MARGARITA CADAVIDRESTREPO em sua dissertação de mestrado.





Figura 14 - Pesagem dos materiais utilizados na concretagem.

Fonte: Autor

Teste de abatimento da massa de concreto, *Slump test*

O *Slump test* tem a finalidade de se determinar a consistência do concreto na qual é uma medida do fluxo, ou seja, da mobilidade do concreto em uma respectiva mistura. O slump é a medida do seu abatimento realizado no ensaio descrito pela NBR NM 67 de 1998.

Segundo a Norma NBR NM 67:1998 a aparelhagem utilizada consiste de:

Molde para o corpo-de-prova de ensaio: feito de metal não facilmente atacável pela pasta de cimento, com espessura igual ou superior a 1,5 mm. O molde pode ser confeccionado com ou sem costura, porém seu interior deve ser liso e livre de protuberâncias criadas por rebites, parafusos, soldas e dobraduras. O molde deve ter a forma de um tronco de cone oco, com as seguintes dimensões internas:- diâmetro da base inferior: 200 mm \pm 2 mm; - diâmetro da base superior: 100 mm \pm 2 mm; - altura: 300 mm \pm 2 mm. As bases superior e inferior devem ser abertas e paralelas entre si, formando ângulos retos com o eixo do cone. O molde deve ser provido, em sua parte superior, de duas alças, posicionadas a dois terços de sua altura, e ter aletas em sua parte inferior para mantê-lo estável. Se o molde estiver fixado na placa de base, a disposição dos suportes deve ser tal que a placa de base possa ser completamente retirada sem movimentar o molde.

Haste de compactação de seção circular, reta, feita de aço ou outro material adequado, com diâmetro de 16 mm, comprimento de 600 mm e extremidades arredondadas.

Placa de base para apoio do molde: deve ser metálica, plana, quadrada ou retangular, com lados de dimensão não inferior a 500 mm e espessura igual ou superior a 3 mm.

Procedimento para realização do ensaio

Umedeceu-se o molde e a placa de base e colocou-se o molde sobre a placa. O operador posicionou os pés sobre as aletas a fim de manter o molde estável e preencheu o molde rapidamente com o concreto em três camadas, com cada camada aproximadamente um terço da altura do molde.

Após isso, compactou-se cada camada com 25 golpes da haste de socamento distribuindo-se uniformemente os golpes sobre a seção de cada camada, como é apresentada na figura 15.



Figura 15 - Realização do teste de Slump do concreto.

Fonte: Autor

Assim que a compactação foi realizada, limpou-se a placa da base retirou-se cuidadosamente o molde na direção vertical durante 7 s com um movimento constante para cima sem comprometer o concreto a movimentos de torção lateral.

Imediatamente após retirar-se o molde, mediu-se o abatimento do concreto e determinou-se a diferença de altura entre o molde a altura do eixo do corpo de prova, conforme mostra a figura 16, com 10 cm.

O concreto foi formado em uma betoneira já lavada e foram sendo adicionados seus elementos. Foi necessário o acréscimo de 3 litros de água para o concreto chegar ao slump de 10 cm.



Figura 16- Medição do abatimento do tronco de cone.

Fonte: Autor

Concretagem- untar as formas, pesar os materiais, separar os materiais usados

Finalizado todos os ensaios, foi realizada a concretagem dos 8 corpos de provas segundo NBR 6118 e dos 2 blocos em suas devidas fôrmas, de metal e de madeira, respectivamente, como mostra a figura 17.

Os com o auxílio de um equipamento de metal os blocos foram levemente vibrados, também foi usado uma pá de pedreiro para a homogeneização do concreto no bloco.



Figura 17- Concretagem dos corpos de prova e dos blocos

Fonte: Autor

Desforma

Os corpos de prova foram desmoldados 1 dia depois de sua concretagem, como mostra a figura 18 (a) e os blocos de concreto convencional foram desmoldados 4 dias depois da concretagem. Para a desmoldagem dos blocos foi necessário executar o desmonte das fôrmas, por meio de chave de Phillips, conforme mostra a figura 18 (b).



(a)

(b)

Figura 18 - Corpos de prova desmoldados. (b) Desforma do bloco de concreto.

Fonte: Autor

Cura do concreto em tanque

Assim que os corpos de prova e os blocos foram desmoldados colocou-os em um tanque com água, localizados no laboratório utilizado, com finalidade de ser executado uma cura eficiente até 14 dias, como apresenta a figura 19.



Figura 19 - Inserção dos corpos de prova em tanque com água para a realização da cura do concreto.

Fonte: Autor

Ensaio de rompimento de corpo de prova

Utilizou-se a máquina de ensaio de compressão para ser executado o rompimento dos corpos de prova do concreto convencional, com a finalidade de se avaliar a resistência de compressão. Para tal, foram determinados pela norma que se deve romper os corpos de prova 7, 14, 21 e 28 dias após a concretagem dos mesmos. Os corpos de prova tinham as mesmas medidas, com 10 cm de diâmetro, e 20 cm de altura, como sugere a norma NBR 5739 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos, como apresenta a figura 20.



Figura 20- Rompimento em prensa hidráulica para determinar o fck do concreto

Fonte: Autor

Ensaio de rompimento de bloco de concreto convencional e concreto translúcido

O ensaio de rompimento dos blocos de concreto teve o objetivo de comparar os dois resultados que foram obtidos do rompimento dos blocos de concreto convencional e concreto translúcido, que possuíam as mesmas medidas 7,5 cm x 39 cm x 19 cm de altura. Vale salientar que esse ensaio seguiu a norma NBR 3483 - Concreto – Determinação da resistência á tração na flexão em corpos-de-prova-prismáticos.

No **item 4.2.1.** da norma NBR 3483, é sugerido que o corpo de prova seja apoiado e centralizado no dispositivo da máquina de ensaio, uma prensa universal equipada com um aparato de flexão, evitando excentricidades, como é apresentado na figura 21.

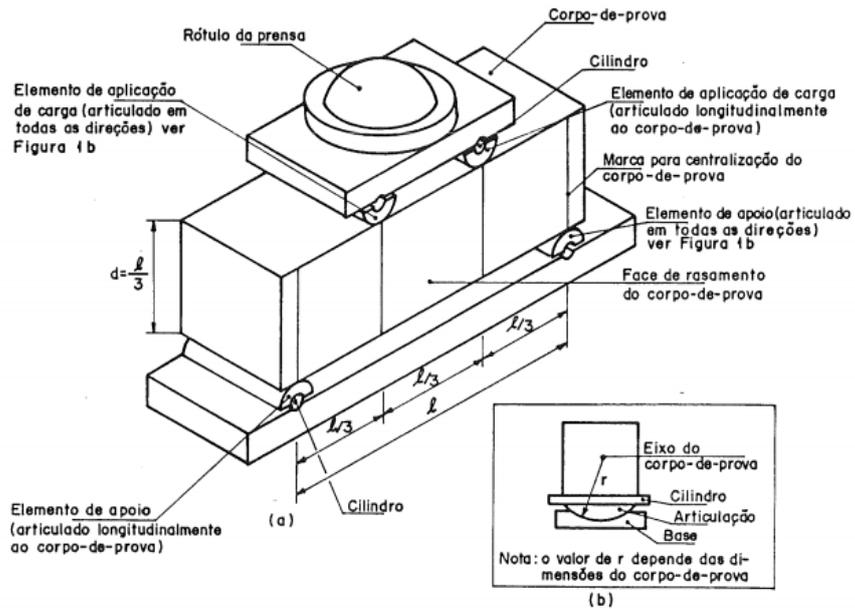


Figura 21-Dispositivo de flexão

Fonte: NBR 12142

Em razão dos blocos não se ajustarem precisamente na máquina, como a norma ilustra (Figura 22 (a)), foram realizados alguns ajustes quanto a distância entre os apoios e as forças, como mostra a figura 22 (b), e considerações apresentadas nos cálculos.

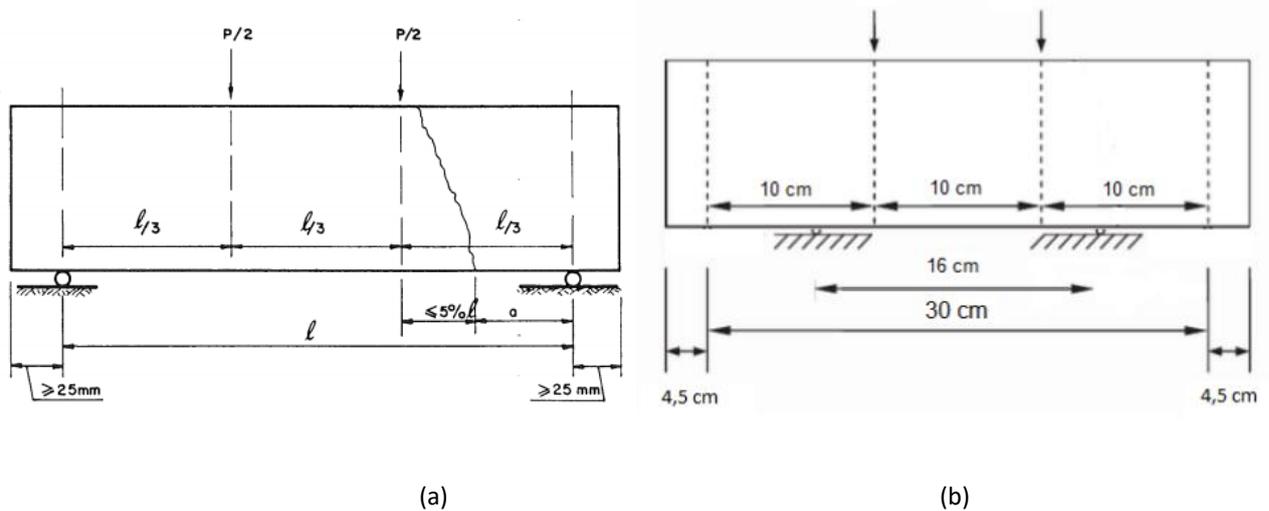


Figura 22- (a) Ilustração de rompimento do corpo de prova conforme a norma (b) Ilustração do rompimento ajustado para a máquina.

Fonte: (a) NBR 12142; (b) FLAVIA GOMES DOS SANTOS, 2019

Com os ajustes finalizados, foi realizado o ensaio de rompimento de corpo de prova, a figura 23 (a) apresenta o ensaio no bloco de concreto convencional e a figura 23 (b) indica

o ensaio no bloco de concreto translúcido. Vale salientar que a força foi aplicada continuamente nos blocos.



(a)

(b)

Figura 23-Teste de flexão nos blocos (a) Bloco de concreto convencional; (b) Bloco de concreto translúcido

Fonte: Autor

No caso a ruptura ocorreu fora do terço médio, e esta distância não poderia ser maior que 5% de l , a resistência da tração na flexão é calculada pela equação 3.

$$f_{ctM} = \frac{3 \cdot p \cdot a}{b \cdot d^2} \quad \text{Eq. (3)}$$

Onde:

f_{ctM} = resistência à tração na flexão, em Mpa

p = força máxima registrada na máquina de ensaio, em N

l = dimensão entre cutelos de suporte, em mm

b = largura média do corpo de prova na seção de ruptura, em mm

d = altura média do corpo de prova na seção de ruptura, em mm

a = distância média entre a linha de ruptura na face tracionada e a linha correspondente ao apoio mais próximo, em mm.

Foi verificado o $f_{ct,m}$ do concreto convencional pelo f_{ck} encontrado no ensaio de compressão diâmetral de corpos de prova, que foram realizados na concretagem pela Eq. 4.

$$f_{ct,M} = 0,3 * f_{ck}^{2/3} \quad \text{Eq. (4)}$$

Após o cálculo do $F_{ct,M}$ do concreto convencional encontrou-se a resistência a tração direta inferior ($F_{ctK, inf}$), com a Eq. 5, e superior ($F_{ctK, sup}$), a Eq. 6.

$$f_{ctK,inf} = 0,7 * f_{ct,M} \quad \text{Eq. (5)}$$

$$f_{ctK,sup} = 1,3 * f_{ct,M} \quad \text{Eq. (6)}$$

Ensaio de condutividade térmica

O ensaio foi realizado no Centro Universitário de Brasília - UniCEUB- Asa Norte, em seu laboratório do bloco 10.

O ensaio de condutividade térmica foi realizado com um aparato experimental, que foi parecido com o criado no artigo de OLIVEIRA ET AL (2015), no VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, cujo título “Determinação do Coeficiente de Condutividade Térmica de Compósitos Constituídos a partir da Fibra de Coco”, como mostra a figura 24.

Os componentes para a realização do ensaio de condutividade térmica foram:

- 2 unidades de termômetro termopar;
- 1 unidade de termômetro convencional;
- Fonte de calor - Lâmpada infravermelho;
- Detector termográfico;
- 1 bloco de concreto Translúcido com espessura de 7,5 cm.

Foi colocado, com o auxílio de gesso e lã de rocha, o bloco de concreto translúcido na parede, como ilustra a figura 24,

Avaliaram-se os três tipos de transferência de calor, a radiação, a condução e a convecção, como apresenta a figura 24, a lâmpada infravermelha foi a fonte de calor escolhida, com 150 watts, e ela não estava em contato com o bloco, a temperatura na superfície do bloco aumentou devido ao fenômeno de radiação térmica, o calor, então, foi transferido para a outra superfície do bloco por condução, e conseqüentemente aquece a temperatura interna da caixa por convecção.

Mediu-se, então, com auxílio de Termopares e termômetro, os gradientes de temperatura oriundos dos respectivos fenômenos físicos. O termômetro foi utilizado para a medição da temperatura ambiente na câmara oposta à fonte de calor. Os termopares foram colocados, respectivamente, um na face exposta à fonte de energia térmica e o outro na outra face do bloco, a fim de registrar a capacidade de transmitância térmica do bloco de concreto translúcido e também de avaliar sua capacidade de transmitir luminosidade de uma câmara para a outra.



Figura 24- Aparato experimental

Fonte: Autor

O primeiro ensaio térmico foi realizado no dia 27 de junho de 2019, o segundo no dia 28 de junho de 2019, assim como o terceiro, com a espera de hora e meia após o término do segundo ensaio.

4. Resultados e discussão

Ensaio de rompimento de corpo de prova

Os resultados obtidos no ensaio de rompimento de corpo de prova estão apresentados na tabela 1.

7 dias: Cp1 - 118,00 e Cp2 - 124,66 KN

14 dias: Cp3 - 144,43 e Cp4 - 148,27 KN

21 dias: Cp5 - 148,67 e Cp6 - 151,42 KN

28 dias: Cp7 - 132,00 e Cp8 - 156,55 KN

Tabela 1 - Resultado do ensaio de resistência a compressão dos corpos de prova

Corpos de Prova	Força (KN)	Área (cm ²)	F/A (KN/cm ²)	MPa
1	118,00	78,54	1,50	15
2	124,66	78,54	1,59	15
3	144,43	78,54	1,84	18,9
4	148,27	78,54	1,89	18,9
5	148,67	78,54	1,89	1,89
6	151,42	78,54	1,93	19,3
7	132,00	78,54	1,68	16,8
8	156,55	78,54	1,99	19,9

Com base na literatura técnica sobre rompimento de corpos de prova de concreto, esperava-se que os a resistência dos corpos de prova fosse crescente com o tempo, porém, um dos resultados de 28 dias após a concretagem foi menor que aqueles dos dias anteriores. Assim, pode-se concluir que houve alguma falha ou no corpo de prova CP 7 ou no ensaio realizado, por isso, o CP 7 foi descartado.

Na figura 25 é possível observar um corpo de prova depois de ser realizado o ensaio.



Figura 25 - Rompimento do corpo de prova

Fonte: Autor

O CP 7, que seria o usado, foi descartado devido ao fato de ter apresentado resultados discrepantes em relação ao conjunto amostral.

A resistência média em 28 dias para o concreto foi calculada segundo recomenda a ABNT NBR 12655:2015:

$$F_{cj} = F_{ck} + 1,65 * S_d \quad \text{Eq. (7)}$$

Em que:

F_{cj} : resistência média do concreto à compressão a “j” dias de idade, em MPa;

F_{ck} : resistência característica do concreto à compressão, em MPa;

S_d : desvio-padrão da dosagem, em MPa.

Conforme recomenda a norma no item 5.6.3.1, em caso de o cimento e os agregados forem medidos em massa, a água de amassamento for medida em massa ou volume com dispositivo dosador e corrigida em função da umidade dos agregados (condição A, aplicável a todas as classes de concreto), utiliza-se $S_d = 4$ MPa. Logo, a resistência foi calculada da seguinte forma:

$$F_{cj} = 19,9 + 1,65 * 4$$

$$F_{cj} = 19,9 + 6,6$$

$$F_{cj} = 26,5 \text{ MPa}$$

Com $j = 28$ dias

Assim, concluiu-se, a partir dos ensaios com os corpos de prova, que, após transcorridos 28 dias, o concreto em questão apresentou uma resistência média à compressão de 26,5 MPa.

Ensaio de rompimento dos blocos de concreto convencional e translúcido

Os resultados obtidos no ensaio de rompimento de corpos de prova foram de **53,29 KN** no bloco de concreto convencional e **40,63 KN** no bloco de concreto translúcido, com uma proporção de 76,24%.

As figuras 26 e 27 apresentam a medição da posição de ruptura na parte inferior do corpo de prova no ensaio de determinação da resistência à tração na flexão em corpos de prova prismáticos. O resultado da medição foi de **26 cm** para o bloco de concreto convencional, como mostra a figura 26, e de **28,5 cm** para o bloco de concreto translúcido na figura 27.



Figura 26- Medidas aferidas do bloco de concreto convencional.

Fonte: Autor



Figura 27 - Medidas aferidas do bloco de concreto translúcido

Fonte: Autor

O ensaio foi classificado válido pelos autores deste trabalho porque a posição de ruptura está dentro do intervalo de validade do ensaio, de acordo como o item 5.3. da NBR 3483, pois as rupturas estão localizadas fora dos terços médios dos blocos ensaiados, porém abaixo da porcentagem limite (de 5% da distância entre cutelos de suporte), e dentro do intervalo permitido ($a < 0,283$ da distância entre cutelos de suporte). Desta forma, usando assim, a Eq. 3., citada na metodologia, foi determinado o $F_{ct,M}$. A tabela 2 mostra as considerações do cálculo.

Tabela 2 -Dados do ensaio

Fonte: Autor

Dados do ensaio	CP Convencional	CP Translúcido
p (N)	$53,29 \times 10^3$	$40,63 \times 10^3$
ℓ (mm)	300	300
$\ell/3$ (mm)	100	100
b (mm)	26	28,5
d (mm)	190	190
a (mm)	85	60

A partir dos dados dos ensaios de ruptura, foram determinadas as resistências do concreto à tração na flexão ($F_{ct,M}$), a partir do método descrito no item 5 da NBR MB-3483/1991. Os resultados encontrados estão exibidos na tabela 3:

Tabela 3 -Resultado do $F_{ct,M}$ (Resistência a tração média)

Fonte: Autor

Dados do ensaio	CP Convencional	CP Translúcido
$F_{ct,M}$ (MPa)	14,48	7,108

A resistência a tração na flexão do bloco de concreto translúcido é 49,12% da resistência na flexão do bloco de concreto convencional para os corpos de prova analisados. Assim, pode-se concluir que a resistência a tração na flexão do bloco de concreto translúcido é aproximadamente a metade da resistência do bloco de concreto convencional para os corpos de prova analisados.

Após isso, como apresenta a tabela 4, determinou-se o $f_{ct,m}$ a partir do f_{ck} , conforme a norma NBR 6118. No caso do concreto translúcido. Em seguida, verificou-se os valores de $f_{ct,inf}$ (Resistência a tração direta inferior) e $f_{ct,sup}$ (Resistência a tração direta superior) conforme NBR 6118 pelas equações 5 e 6.

Esses cálculos não foram realizados para o concreto translúcido pois não foi executado o ensaio de compressão para o mesmo. Além disso, não se considerou nenhum outro valor de outros trabalhos ou artigos; o objetivo, em termos mecânicos, foi apenas comprovar a ineficiência da adição da fibra no quesito de influenciar positivamente a resistência do concreto convencional.

Tabela 4 - Resultado da resistência a tração média, inferior e superior do concreto convencional
 Fonte: Autor

	CP Convencional	CP Translúcido
$F_{ct,M}$ (MPa)	2,6	-
$F_{ct,inf}$ (MPa)	1,862	-
$F_{ct,sup}$ (MPa)	3,458	-

Recomenda-se que em trabalhos futuros o f_{ck} seja determinado a partir de ensaios e corpos de provas específicos, pois os resultados obtidos foram acima do esperado.

Observou-se na análise visual que a ruptura do bloco de concreto translúcido foi junto as fibras FOPs (Figura 28), indicando que as FOPs aumentam a zona de transição do concreto, diminuindo a capacidade à tração do concreto. Conforme Figueiredo (2005), as fibras contribuem para o aumento da resistência da peça somente se alinhadas com plano de esforço principal da peça. Como no corpo de prova analisado as fibras estão perpendiculares ao plano do esforço principal a que a peça está submetida, houve perda da resistência total, pela aproximação da linha de ruptura do concreto às fibras transversais, como observado na figura 28:

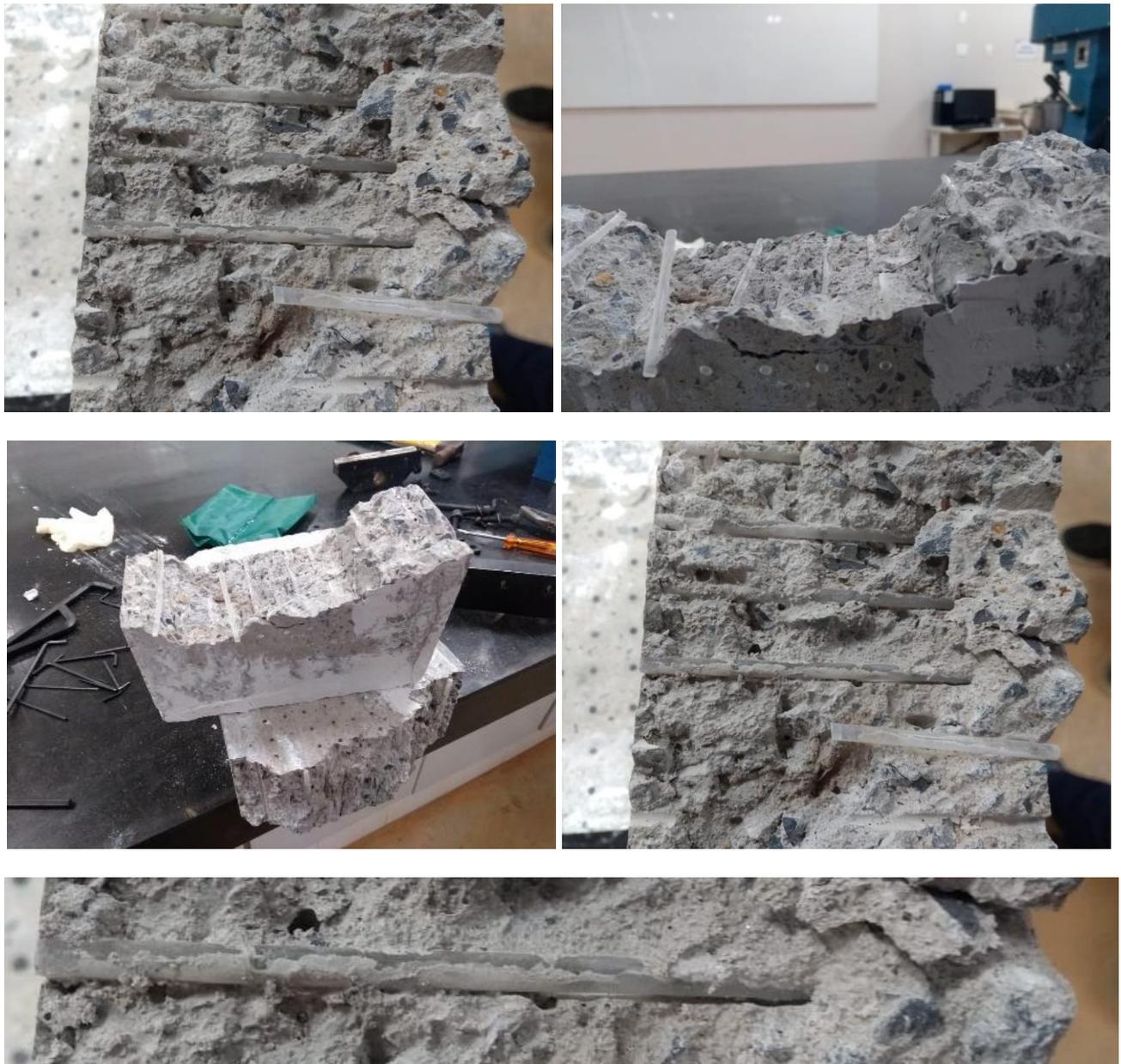


Figura 28 - Detalhamento da FOP após o ensaio de flexão do bloco de concreto translúcido

Fonte: Autor

Ensaio de condutividade térmica

Com os dados coletados com o experimento foi possível gerar gráficos para uma melhor avaliação destes resultados, como é apresentado nos gráficos 1,2 e 3. Os dados obtidos e calculados foram apresentados no Anexo I.

Gráfico 1 - Gráfico dos dados coletados do primeiro ensaio

Fonte: Autor

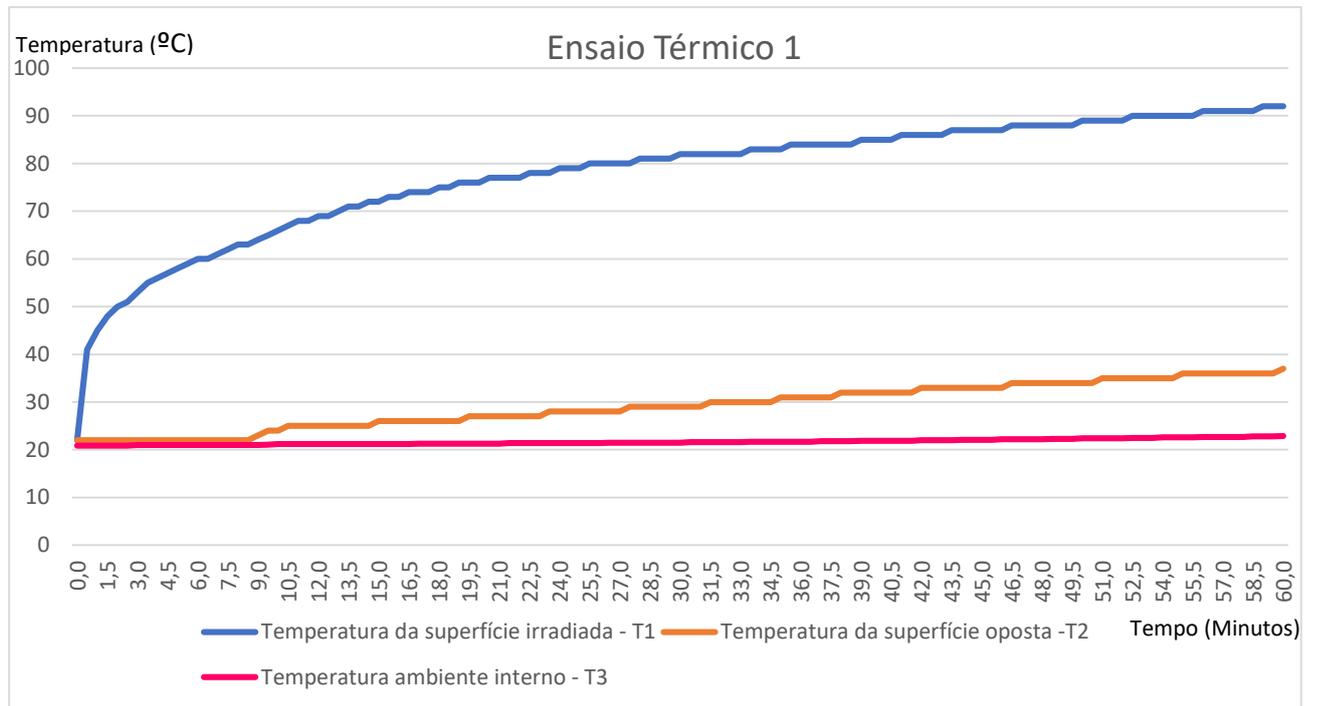


Gráfico 2 - Gráfico dos dados coletados do segundo ensaio

Fonte: Autor

Temperatura (°C)

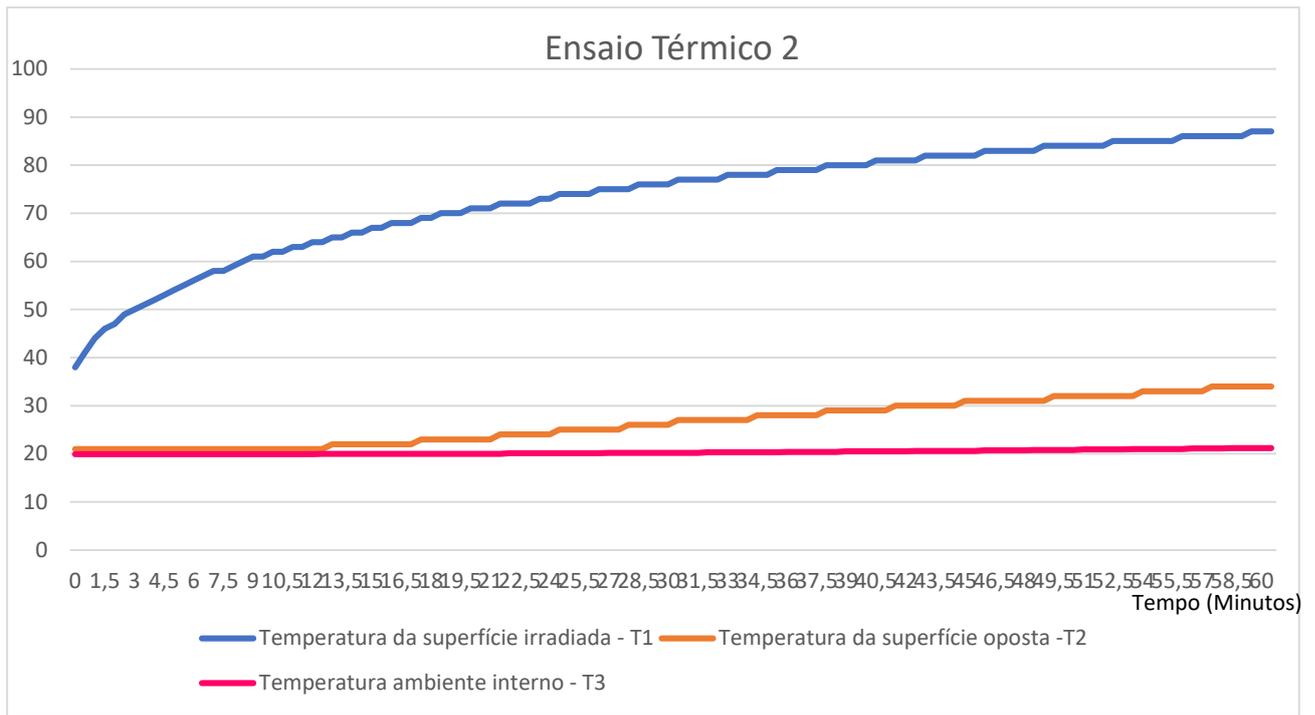
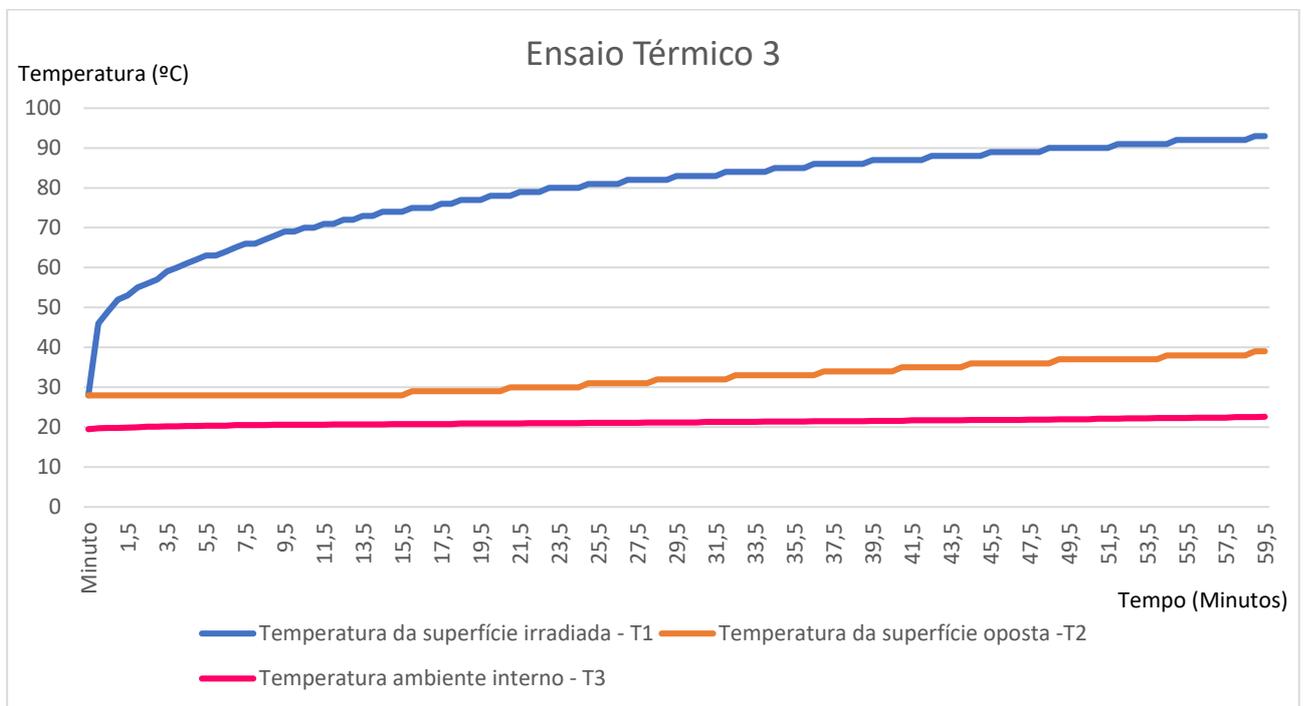


Gráfico 3 - Gráfico dos dados coletados do terceiro ensaio

Fonte: Autor



No gráfico acima, a linha em azul demonstram a temperatura na superfície do corpo de prova voltada para a fonte de calor a diferença de temperatura dessa superfície de 70° C, 66° C e 65° C. Os pontos em laranja demonstram a temperatura na superfície oposta do

corpo de prova, isto é, a temperatura que seria observada em um ambiente interno, e a diferença entre os valores obtidos nessa superfície foi de 15° C, 13° C e 11° C.

Já a linha em rosa representa a temperatura ambiente da parte oposta onde estava a fonte de calor, que foi passada por convecção, a diferença de temperatura durante o ensaio foi de 3,1° C; 3° C e 3; 1° C.

Nos gráficos 4, 5 e 6 estão exibidas, além da temperatura da superfície irradiada (T1), na cor azul, a diferença da temperatura em módulo entre a superfície oposta e irradiada ($|T1 - T2|$), isto é, a temperatura que foi isolada (cor amarela), e a razão entre esta temperatura isolada e a temperatura na superfície irradiada (cor verde).

Gráfico 4 - Diferença de temperatura e a porcentagem da temperatura isolada no ensaio térmico 1

Fonte: Autor

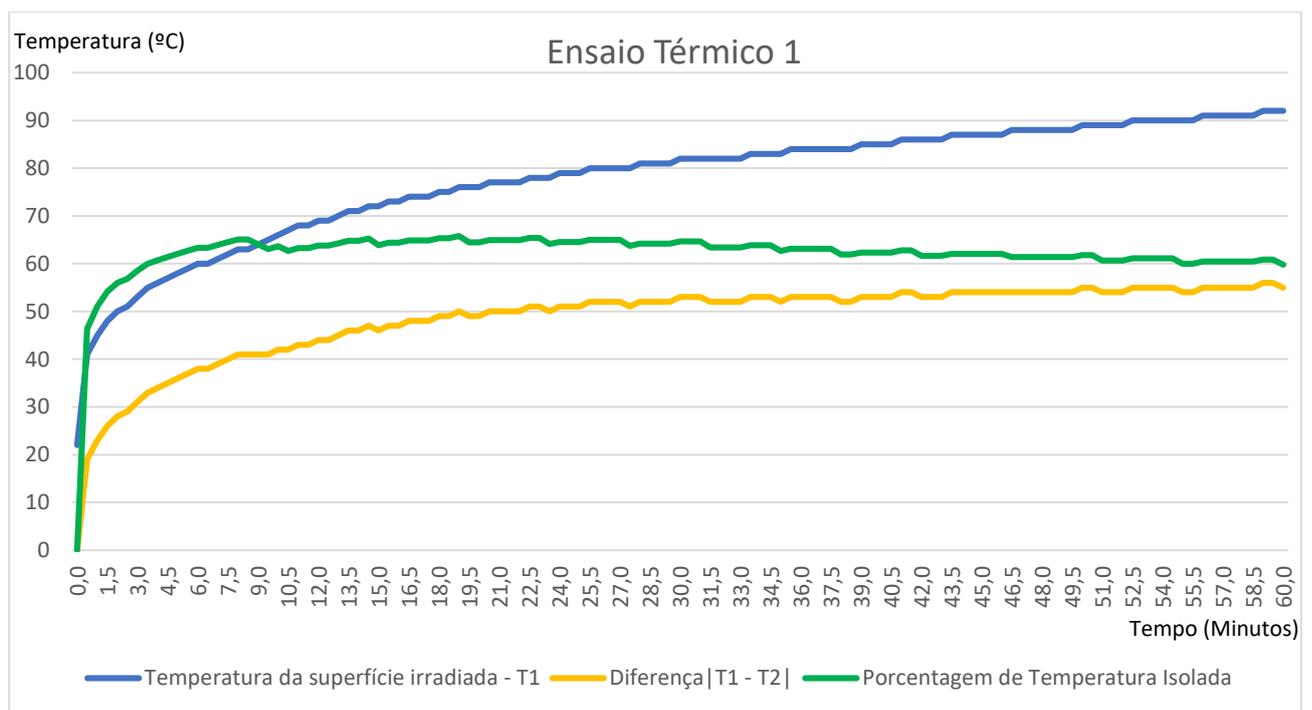


Gráfico 5 - Diferença de temperatura e a porcentagem da temperatura isolada no ensaio térmico 2

Fonte: Autor

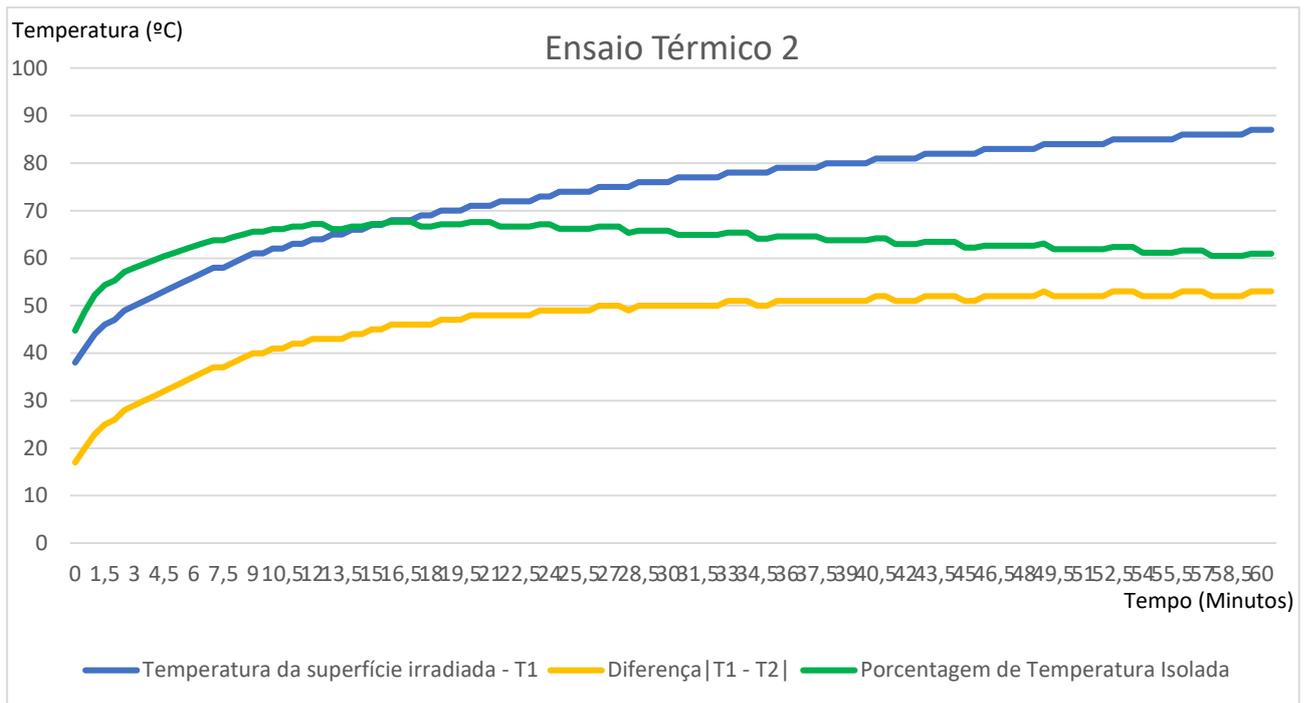
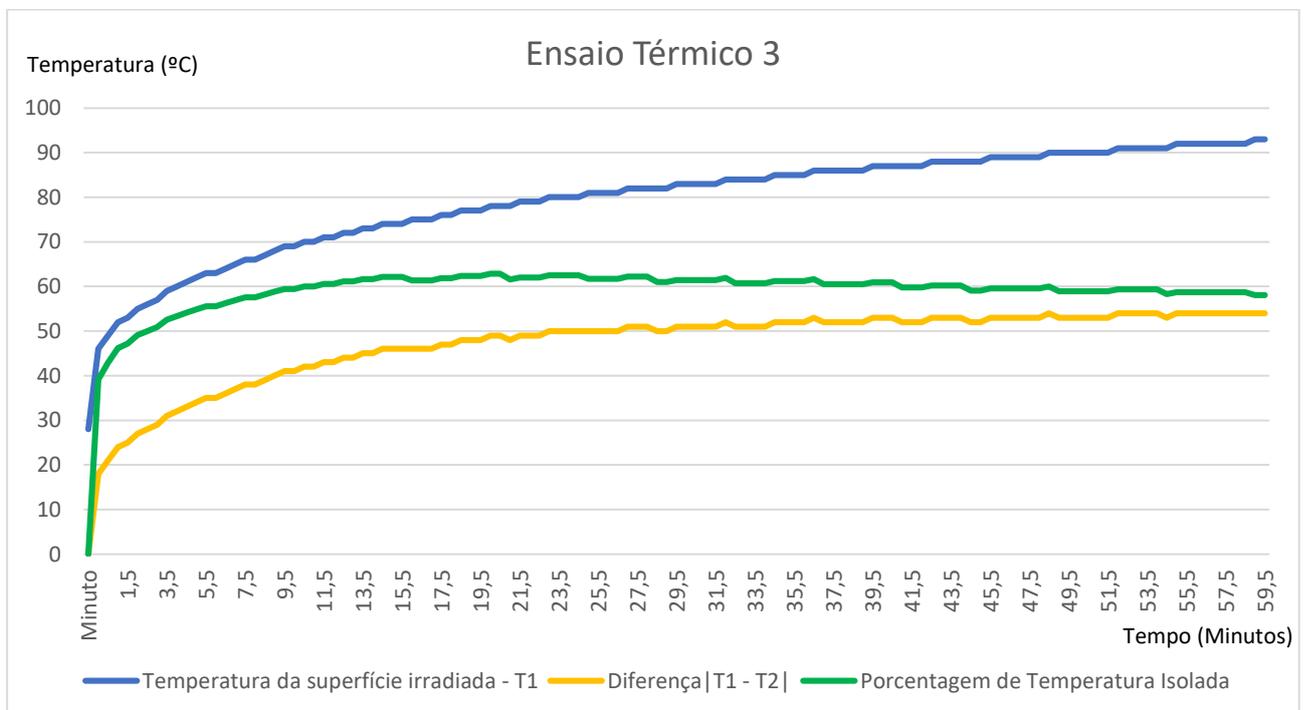


Gráfico 6 - Diferença de temperatura e a porcentagem da temperatura isolada no ensaio térmico 3

Fonte: Autor



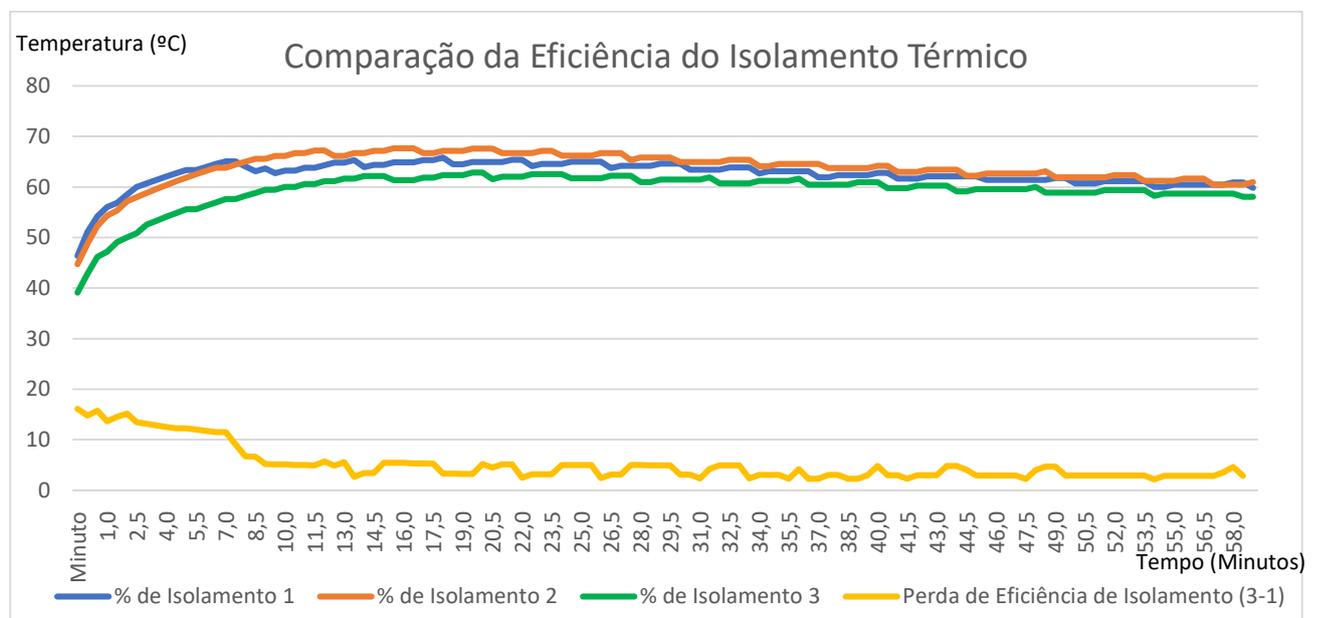
Verifica-se que a diferença de temperatura é crescente em função da temperatura irradiada, até o patamar da diferença de 50°C, sendo que a acima desta diferença o

isolamento é aproximadamente constante. Por outro lado, a maior eficiência deste isolamento térmico é verificada quando as temperaturas irradiadas são mais baixas e no início dos ensaios, assumindo comportamento aproximadamente constante, levemente decrescente com o tempo. Os intervalos de eficiência decrescente estão entre 65% e 58%, para todos os todos os ensaios realizados com o corpo de prova de concreto translúcido.

A redução da eficiência é mais pronunciada no terceiro ensaio, em especial nos primeiros dez minutos, apesar da redução da eficiência do isolamento ser observada durante toda a duração dos ensaios, como é ilustrado no gráfico 7.

Gráfico 7 - Comparação da eficiência do isolamento térmico dos 3 ensaios

Fonte: Autor



A perda de eficiência térmica é um pouco mais alta no começo (linha em amarelo) e depois ela fica abaixo dos 10% e estabiliza.

5. Considerações Finais ou Conclusão

A partir da comparação dos ensaios mecânicos realizados no bloco de concreto convencional e no bloco de concreto translúcido é possível concluir que as fibras no concreto diminuem sua resistência a tração na flexão em aproximadamente 50%, assim, é recomendado a realização de um número maior de ensaios para aferir esse valor, visando verificar a sua viabilidade para fins estruturais e não apenas como elemento de vedação.

Já no ensaio térmico realizado no bloco de concreto translúcido verificou-se a partir de 10 minutos da transmissão de calor, um aumento da eficiência do isolamento térmico do bloco, porém é necessário realizar o ensaio do bloco sem a fibra para ratificarmos essa conclusão.

O concreto translúcido é um material inovador, que agrega valor estético, sustentável e promissor no mercado, espera-se que com mais pesquisas sobre esse material o concreto translúcido seja fabricado industrialmente.

Para pesquisas futuras se recomenda:

- A comparação da eficiência térmica e da fadiga entre o bloco de concreto convencional e translúcido;
- Comparação da resistência a compressão entre corpos de prova cilíndricos do concreto convencional e translúcido.
- Análise de ensaio luminotécnico do concreto translúcido.

6. Referência bibliográfica

RESTREPO, L. M. C. - *Concreto translúcido: estudo experimental sobre a fabricação de painéis de concreto com fibra ótica e as suas aplicações na arquitetura* (2013).

URIBE, L.J.M. - *Desenvolvimento e avaliação de argamassa translúcida com fibra ótica polimérica* (2010).

AMORIM, R. S. S. - *Análise teórica e experimental da condutividade térmica e transmitância em blocos de concreto translúcido* (2018).

SANTOS, F. G. dos - *Análise da aplicação de blocos de concreto translúcido em edificações* (2019).

Figueiredo, A. D. de - *Concreto com fibras* (2005).

Metha, P.K.; Monteiro, P, J, M. - *Concreto - Microestrutura, propriedades e materiais* (2014).

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

NM 248:2001 - *Agregados - Determinação da composição granulométrica.*

Site: <https://cimento.org/concreto/> (acessado em 19 de agosto de 2019).

https://www.crq4.org.br/qv_fibrasopticas (acessado em 19 de agosto de 2019).

MB - 3483 - *Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão em corpos de prova prismáticos* (1991).

OLIVEIRA, - *Determinação do Coeficiente de Condutividade Térmica de Compósitos Constituídos a partir da Fibra de Coco* (2015).

NBR 6118 - *Projeto de estruturas de concreto - Procedimento* (2004).

NBR NM 67 - *Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone* (1998)

NBR NM - 45 - *Agregados-determinação-da-massa-unitária-e-do-volume-de-vazios* (2006),

NBR 9776 - *Agregados - Determinação da massa específica Chapman* (1997).

ANEXO I
DADOS E CALCULOS DO ENSAIO TÉRMICO

Ensaio térmico 1

Minuto	Termopas		temp ambiente	Diferença $ T1 - T2 $	Porcentagem de Temperatura Isolada
	Temperatura da superfície irradiada - T1	Temperatura da superfície oposta -T2	Temperatura ambiente interno - T3		
0,0	22	22	20,9	0	-
0,5	41	22	20,9	19	46,34
1,0	45	22	20,9	23	51,11
1,5	48	22	20,9	26	54,17
2,0	50	22	20,9	28	56,00
2,5	51	22	20,9	29	56,86
3,0	53	22	21,0	31	58,49
3,5	55	22	21,0	33	60,00
4,0	56	22	21,0	34	60,71
4,5	57	22	21,0	35	61,40
5,0	58	22	21,0	36	62,07
5,5	59	22	21,0	37	62,71
6,0	60	22	21,0	38	63,33
6,5	60	22	21,0	38	63,33
7,0	61	22	21,0	39	63,93
7,5	62	22	21,0	40	64,52
8,0	63	22	21,0	41	65,08
8,5	63	22	21,0	41	65,08
9,0	64	23	21,0	41	64,06
9,5	65	24	21,1	41	63,08

10,0	66	24	21,2	42	63,64
10,5	67	25	21,2	42	62,69
11,0	68	25	21,2	43	63,24
11,5	68	25	21,2	43	63,24
12,0	69	25	21,2	44	63,77
12,5	69	25	21,2	44	63,77
13,0	70	25	21,2	45	64,29
13,5	71	25	21,2	46	64,79
14,0	71	25	21,2	46	64,79
14,5	72	25	21,2	47	65,28
15,0	72	26	21,2	46	63,89
15,5	73	26	21,2	47	64,38
16,0	73	26	21,2	47	64,38
16,5	74	26	21,2	48	64,86
17,0	74	26	21,3	48	64,86
17,5	74	26	21,3	48	64,86
18,0	75	26	21,3	49	65,33
18,5	75	26	21,3	49	65,33
19,0	76	26	21,3	50	65,79
19,5	76	27	21,3	49	64,47
20,0	76	27	21,3	49	64,47
20,5	77	27	21,3	50	64,94
21,0	77	27	21,3	50	64,94
21,5	77	27	21,4	50	64,94
22,0	77	27	21,4	50	64,94

22,5	78	27	21,4	51	65,38
23,0	78	27	21,4	51	65,38
23,5	78	28	21,4	50	64,10
24,0	79	28	21,4	51	64,56
24,5	79	28	21,4	51	64,56
25,0	79	28	21,4	51	64,56
25,5	80	28	21,4	52	65,00
26,0	80	28	21,4	52	65,00
26,5	80	28	21,5	52	65,00
27,0	80	28	21,5	52	65,00
27,5	80	29	21,5	51	63,75
28,0	81	29	21,5	52	64,20
28,5	81	29	21,5	52	64,20
29,0	81	29	21,5	52	64,20
29,5	81	29	21,5	52	64,20
30,0	82	29	21,5	53	64,63
30,5	82	29	21,6	53	64,63
31,0	82	29	21,6	53	64,63
31,5	82	30	21,6	52	63,41
32,0	82	30	21,6	52	63,41
32,5	82	30	21,6	52	63,41
33,0	82	30	21,6	52	63,41
33,5	83	30	21,7	53	63,86
34,0	83	30	21,7	53	63,86
34,5	83	30	21,7	53	63,86

35,0	83	31	21,7	52	62,65
35,5	84	31	21,7	53	63,10
36,0	84	31	21,7	53	63,10
36,5	84	31	21,7	53	63,10
37,0	84	31	21,8	53	63,10
37,5	84	31	21,8	53	63,10
38,0	84	32	21,8	52	61,90
38,5	84	32	21,8	52	61,90
39,0	85	32	21,9	53	62,35
39,5	85	32	21,9	53	62,35
40,0	85	32	21,9	53	62,35
40,5	85	32	21,9	53	62,35
41,0	86	32	21,9	54	62,79
41,5	86	32	21,9	54	62,79
42,0	86	33	22,0	53	61,63
42,5	86	33	22,0	53	61,63
43,0	86	33	22,0	53	61,63
43,5	87	33	22,0	54	62,07
44,0	87	33	22,1	54	62,07
44,5	87	33	22,1	54	62,07
45,0	87	33	22,1	54	62,07
45,5	87	33	22,1	54	62,07
46,0	87	33	22,2	54	62,07
46,5	88	34	22,2	54	61,36
47,0	88	34	22,2	54	61,36

47,5	88	34	22,2	54	61,36
48,0	88	34	22,2	54	61,36
48,5	88	34	22,3	54	61,36
49,0	88	34	22,3	54	61,36
49,5	88	34	22,3	54	61,36
50,0	89	34	22,4	55	61,80
50,5	89	34	22,4	55	61,80
51,0	89	35	22,4	54	60,67
51,5	89	35	22,4	54	60,67
52,0	89	35	22,4	54	60,67
52,5	90	35	22,5	55	61,11
53,0	90	35	22,5	55	61,11
53,5	90	35	22,5	55	61,11
54,0	90	35	22,6	55	61,11
54,5	90	35	22,6	55	61,11
55,0	90	36	22,6	54	60,00
55,5	90	36	22,6	54	60,00
56,0	91	36	22,7	55	60,44
56,5	91	36	22,7	55	60,44
57,0	91	36	22,7	55	60,44
57,5	91	36	22,7	55	60,44
58,0	91	36	22,7	55	60,44
58,5	91	36	22,8	55	60,44
59,0	92	36	22,8	56	60,87
59,5	92	36	22,8	56	60,87

60,0	92	37	22,9	55	59,78
------	----	----	------	----	-------

Ensaio Térmico 2

Minuto	Termopas		temp ambiente	Diferença T1 - T2	Porcentagem de Temperatura Isolada
	Temperatura da superfície irradiada - T1	Temperatura da superfície oposta -T2	Temperatura ambiente interno - T3		
0	21	21	19,9	0	-
0,5	38	21	19,9	17	44,74
1	41	21	19,9	20	48,78
1,5	44	21	19,9	23	52,27
2	46	21	19,9	25	54,35
2,5	47	21	19,9	26	55,32
3	49	21	19,9	28	57,14
3,5	50	21	19,9	29	58,00
4	51	21	19,9	30	58,82
4,5	52	21	19,9	31	59,62
5	53	21	19,9	32	60,38
5,5	54	21	19,9	33	61,11
6	55	21	19,9	34	61,82
6,5	56	21	19,9	35	62,50
7	57	21	19,9	36	63,16
7,5	58	21	19,9	37	63,79
8	58	21	19,9	37	63,79

8,5	59	21	19,9	38	64,41
9	60	21	19,9	39	65,00
9,5	61	21	19,9	40	65,57
10	61	21	19,9	40	65,57
10,5	62	21	19,9	41	66,13
11	62	21	19,9	41	66,13
11,5	63	21	19,9	42	66,67
12	63	21	19,9	42	66,67
12,5	64	21	19,9	43	67,19
13	64	21	20	43	67,19
13,5	65	22	20	43	66,15
14	65	22	20	43	66,15
14,5	66	22	20	44	66,67
15	66	22	20	44	66,67
15,5	67	22	20	45	67,16
16	67	22	20	45	67,16
16,5	68	22	20	46	67,65
17	68	22	20	46	67,65
17,5	68	22	20	46	67,65
18	69	23	20	46	66,67
18,5	69	23	20	46	66,67
19	70	23	20	47	67,14
19,5	70	23	20	47	67,14
20	70	23	20	47	67,14
20,5	71	23	20	48	67,61

21	71	23	20	48	67,61
21,5	71	23	20	48	67,61
22	72	24	20	48	66,67
22,5	72	24	20,1	48	66,67
23	72	24	20,1	48	66,67
23,5	72	24	20,1	48	66,67
24	73	24	20,1	49	67,12
24,5	73	24	20,1	49	67,12
25	74	25	20,1	49	66,22
25,5	74	25	20,1	49	66,22
26	74	25	20,1	49	66,22
26,5	74	25	20,1	49	66,22
27	75	25	20,1	50	66,67
27,5	75	25	20,2	50	66,67
28	75	25	20,2	50	66,67
28,5	75	26	20,2	49	65,33
29	76	26	20,2	50	65,79
29,5	76	26	20,2	50	65,79
30	76	26	20,2	50	65,79
30,5	76	26	20,2	50	65,79
31	77	27	20,2	50	64,94
31,5	77	27	20,2	50	64,94
32	77	27	20,2	50	64,94
32,5	77	27	20,3	50	64,94
33	77	27	20,3	50	64,94

33,5	78	27	20,3	51	65,38
34	78	27	20,3	51	65,38
34,5	78	27	20,3	51	65,38
35	78	28	20,3	50	64,10
35,5	78	28	20,3	50	64,10
36	79	28	20,3	51	64,56
36,5	79	28	20,4	51	64,56
37	79	28	20,4	51	64,56
37,5	79	28	20,4	51	64,56
38	79	28	20,4	51	64,56
38,5	80	29	20,4	51	63,75
39	80	29	20,4	51	63,75
39,5	80	29	20,5	51	63,75
40	80	29	20,5	51	63,75
40,5	80	29	20,5	51	63,75
41	81	29	20,5	52	64,20
41,5	81	29	20,5	52	64,20
42	81	30	20,5	51	62,96
42,5	81	30	20,5	51	62,96
43	81	30	20,6	51	62,96
43,5	82	30	20,6	52	63,41
44	82	30	20,6	52	63,41
44,5	82	30	20,6	52	63,41
45	82	30	20,6	52	63,41
45,5	82	31	20,6	51	62,20

46	82	31	20,6	51	62,20
46,5	83	31	20,7	52	62,65
47	83	31	20,7	52	62,65
47,5	83	31	20,7	52	62,65
48	83	31	20,7	52	62,65
48,5	83	31	20,7	52	62,65
49	83	31	20,8	52	62,65
49,5	84	31	20,8	53	63,10
50	84	32	20,8	52	61,90
50,5	84	32	20,8	52	61,90
51	84	32	20,8	52	61,90
51,5	84	32	20,9	52	61,90
52	84	32	20,9	52	61,90
52,5	84	32	20,9	52	61,90
53	85	32	20,9	53	62,35
53,5	85	32	20,9	53	62,35
54	85	32	21	53	62,35
54,5	85	33	21	52	61,18
55	85	33	21	52	61,18
55,5	85	33	21	52	61,18
56	85	33	21	52	61,18
56,5	86	33	21	53	61,63
57	86	33	21,1	53	61,63
57,5	86	33	21,1	53	61,63
58	86	34	21,1	52	60,47

58,5	86	34	21,1	52	60,47
59	86	34	21,2	52	60,47
59,5	86	34	21,2	52	60,47
60	87	34	21,2	53	60,92
61,5	87	34	21,2	53	60,92
62	87	34	21,2	53	60,92

Ensaio Térmico 3

Minuto	Termopas		temp ambiente	Diferença $ T1 - T2 $	Porcentagem de Temperatura Isolada
	Temperatura da superfície irradiada - T1	Temperatura da superfície oposta - T2	Temperatura ambiente interno - T3		
0	28	28	19,5	0	-
0,5	46	28	19,7	18	39,13
1	49	28	19,8	21	42,86
1,5	52	28	19,8	24	46,15
2	53	28	19,9	25	47,17
2,5	55	28	20	27	49,09
3	56	28	20,1	28	50,00
3,5	57	28	20,1	29	50,88
4	59	28	20,2	31	52,54
4,5	60	28	20,2	32	53,33
5	61	28	20,3	33	54,10
5,5	62	28	20,3	34	54,84
6	63	28	20,4	35	55,56

6,5	63	28	20,4	35	55,56
7	64	28	20,4	36	56,25
7,5	65	28	20,5	37	56,92
8	66	28	20,5	38	57,58
8,5	66	28	20,5	38	57,58
9	67	28	20,5	39	58,21
9,5	68	28	20,6	40	58,82
10	69	28	20,6	41	59,42
10,5	69	28	20,6	41	59,42
11	70	28	20,6	42	60,00
11,5	70	28	20,6	42	60,00
12	71	28	20,6	43	60,56
12,5	71	28	20,7	43	60,56
13	72	28	20,7	44	61,11
13,5	72	28	20,7	44	61,11
14	73	28	20,7	45	61,64
14,5	73	28	20,7	45	61,64
15	74	28	20,7	46	62,16
15,5	74	28	20,8	46	62,16
16	74	28	20,8	46	62,16
16,5	75	29	20,8	46	61,33
17	75	29	20,8	46	61,33
17,5	75	29	20,8	46	61,33
18	76	29	20,8	47	61,84
18,5	76	29	20,8	47	61,84

19	77	29	20,9	48	62,34
19,5	77	29	20,9	48	62,34
20	77	29	20,9	48	62,34
20,5	78	29	20,9	49	62,82
21	78	29	20,9	49	62,82
21,5	78	30	20,9	48	61,54
22	79	30	20,9	49	62,03
22,5	79	30	21	49	62,03
23	79	30	21	49	62,03
23,5	80	30	21	50	62,50
24	80	30	21	50	62,50
24,5	80	30	21	50	62,50
25	80	30	21	50	62,50
25,5	81	31	21,1	50	61,73
26	81	31	21,1	50	61,73
26,5	81	31	21,1	50	61,73
27	81	31	21,1	50	61,73
27,5	82	31	21,1	51	62,20
28	82	31	21,1	51	62,20
28,5	82	31	21,2	51	62,20
29	82	32	21,2	50	60,98
29,5	82	32	21,2	50	60,98
30	83	32	21,2	51	61,45
30,5	83	32	21,2	51	61,45
31	83	32	21,2	51	61,45

31,5	83	32	21,3	51	61,45
32	83	32	21,3	51	61,45
32,5	84	32	21,3	52	61,90
33	84	33	21,3	51	60,71
33,5	84	33	21,3	51	60,71
34	84	33	21,3	51	60,71
34,5	84	33	21,4	51	60,71
35	85	33	21,4	52	61,18
35,5	85	33	21,4	52	61,18
36	85	33	21,4	52	61,18
36,5	85	33	21,4	52	61,18
37	86	33	21,5	53	61,63
37,5	86	34	21,5	52	60,47
38	86	34	21,5	52	60,47
38,5	86	34	21,5	52	60,47
39	86	34	21,5	52	60,47
39,5	86	34	21,5	52	60,47
40	87	34	21,6	53	60,92
40,5	87	34	21,6	53	60,92
41	87	34	21,6	53	60,92
41,5	87	35	21,6	52	59,77
42	87	35	21,7	52	59,77
42,5	87	35	21,7	52	59,77
43	88	35	21,7	53	60,23
43,5	88	35	21,7	53	60,23

44	88	35	21,7	53	60,23
44,5	88	35	21,7	53	60,23
45	88	36	21,8	52	59,09
45,5	88	36	21,8	52	59,09
46	89	36	21,8	53	59,55
46,5	89	36	21,8	53	59,55
47	89	36	21,8	53	59,55
47,5	89	36	21,8	53	59,55
48	89	36	21,9	53	59,55
48,5	89	36	21,9	53	59,55
49	90	36	21,9	54	60,00
49,5	90	37	22	53	58,89
50	90	37	22	53	58,89
50,5	90	37	22	53	58,89
51	90	37	22	53	58,89
51,5	90	37	22,1	53	58,89
52	90	37	22,1	53	58,89
52,5	91	37	22,1	54	59,34
53	91	37	22,2	54	59,34
53,5	91	37	22,2	54	59,34
54	91	37	22,2	54	59,34
54,5	91	37	22,3	54	59,34
55	91	38	22,3	53	58,24
55,5	92	38	22,3	54	58,70
56	92	38	22,3	54	58,70

56,5	92	38	22,4	54	58,70
57	92	38	22,4	54	58,70
57,5	92	38	22,4	54	58,70
58	92	38	22,4	54	58,70
58,5	92	38	22,5	54	58,70
59	92	38	22,5	54	58,70
59,5	93	39	22,5	54	58,06
60	93	39	22,6	54	58,06