

**CENTRO UNIVERSITÁRIO
ANTÔNIO EUFRÁSIO DE TOLEDO
DE PRESIDENTE PRUDENTE**

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**INVESTIGAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS/IMPERMEABILIZANTES
DE CONCRETO OBTIDO DO CIMENTO PORTLAND CP II-F-32 ATRAVÉS DA
ADIÇÃO DE BIODIESEL E SEU DERIVADO DE HIDRÓLISE ÁCIDO LINOLEICO**

WALTER VINICIUS REGO FERREIRA

Orientador: Prof. Me. Murillo da Silva Paiano

Presidente Prudente/SP

2020

**INVESTIGAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS/IMPERMEABILIZANTES
DE CONCRETO OBTIDO DO CIMENTO PORTLAND CP II-F-32 ATRAVÉS DA
ADIÇÃO DE BIODIESEL E SEU DERIVADO DE HIDRÓLISE ÁCIDO LINOLEICO**

Monografia apresentada como requisito parcial de conclusão de curso para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação do Prof. Me. Murillo da Silva Paiano.

WALTER VINICIUS REGO FERREIRA

Presidente Prudente/SP

2020

**INVESTIGAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS/IMPERMEABILIZANTES
DE CONCRETO OBTIDO DO CIMENTO PORTLAND CP II-F-32 ATRAVÉS DA
ADIÇÃO DE BIODIESEL E SEU DERIVADO DE HIDRÓLISE ÁCIDO LINOLEICO**

Trabalho de Curso aprovado como
requisito parcial para obtenção do
Grau de Bacharel em Engenharia
Civil

Prof. Me. Murillo da Silva Paiano
Toledo Prudente Centro Universitário

Prof. Dr. Elton Aparecido Prado Reis
Toledo Prudente Centro Universitário

Prof. Me. Yan Fraga da Silva
Toledo Prudente Centro Universitário

Presidente Prudente/SP

2020

RESUMO

O presente trabalho analisou os efeitos na resistência mecânica e impermeabilização no concreto via inserção de Biodiesel e um dos seus derivados de hidrólise (ácido linoleico), porque os ácidos graxos tem propriedades hidrofugantes. O traço do concreto e a dosagem de aditivos foram inspirados pela metodologia utilizada pela empresa VEDACIT para concepção de concretos impermeáveis. A confecção dos corpos de provas e os ensaios foram realizados em laboratório, o amassamento do concreto foi feito utilizando brita 1, areia média, cimento CP II-F-32, água potável e misturados com colher de pedreiro em um balde de aço, seguindo a NBR 12655:2015. Foram feitos 18 corpos de provas sendo 6 sem aditivo, 6 aditivados com biodiesel e 6 aditivados com ácido linoleico e posteriormente submetidos a ensaios de compressão e absorção para analisarmos a interferência do uso desses aditivos na resistência e na impermeabilidade do concreto. Os ensaios de compressão axial indicaram uma redução na resistência à compressão do concreto com a inserção dos aditivos, sendo de 43,17% com a adição de biodiesel e de 48,22% com a adição de ácido linoleico, efeito possivelmente causado pela relação água/cimento de 0,50 (quantidade de água da mistura, medida em relação à massa de cimento) utilizada durante a mistura. Por outro lado, a adição do biodiesel reduziu a absorção de água pelos corpos de prova em 5,26%, configurando melhoria nesse quesito tomando como base a NBR 6136.

Palavras-chave: Aditivo impermeabilizante. Concreto. Biodiesel. Ácido linoleico. Ensaio de compressão. Ensaio de absorção.

ABSTRACT

This work aimed to analyze the effect of biodiesel and linoleic acid (obtained from hydrolysis of biodiesel) acting as waterproofing admixtures for concrete, due the fatty acids show water repellent properties. The concrete mix and the dosage of admixtures were inspired by the methodology used by the company VEDACIT for the design of impermeable concrete. The specimens were made and the tests were carried out in the laboratory, the concrete was kneaded using gravel 1, medium sand, CP II-F-32 cement, potable water and mixed with a trowel in a steel bucket, following to NBR 12655: 2015. 18 specimens were made, 6 without admixtures, 6 with biodiesel and 6 with linoleic acid and subsequently submitted to compression and absorption tests to analyze the interference of the use of these additives in the concrete's resistance and impermeability. The axial compression tests indicated a reduction in the compressive strength of concrete with the addition of admixtures, 43.17% with the addition of biodiesel and 48.22% with the addition of linoleic acid, an effect caused by the use of water/cement ratio of 0.50 (amount of water in the mixture, measured in relation to the cement mass) during mixing. On the other hand, the addition of biodiesel reduces the water absorption by the specimens by 5.26%, configuring improvement in this regard based on NBR 6136.

Keywords: Waterproofing admixture. Concrete. Biodiesel. Linolenic acid. Compression test. Absorption test.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CP II-F-32 – Cimento Portland composto com filler

NBR – Norma Brasileira

FIGURAS

FIGURA 1 - Comportamento do concreto sem o uso de aditivo hidrofugante.....	12
FIGURA 2 – Comportamento do concreto mediante sua mistura com aditivo hidrofugante.	13
FIGURA 3 – Exemplo de uma molécula típica de triglicerídeo (óleo vegetal) com as cadeias graxas aleatórias evidenciadas. Cada cadeia de uma cor dá origem a uma molécula de biodiesel através da transesterificação.	14
FIGURA 4 - Representação da reação de transesterificação.	14
FIGURA 5 - Estrutura de uma micela. A cabeça hidrofílica se refere à porção polar do ácido graxo ou do éster graxo (biodiesel), enquanto a cauda hidrofóbica se refere a porção apolar (ação repelente).	15
FIGURA 6 - Moldagem dos corpos de prova.....	18
FIGURA 7 - Ruptura dos corpos de prova.....	19
FIGURA 8 - Gráfico de barras com o resultado da resistência à compressão axial média dos corpos de prova	22
FIGURA 9 - Gráfico de absorção de água, por imersão, dos corpos de prova aditivados com Biodiesel e das amostras sem aditivação.....	26

TABELAS

TABELA 1 – Quantitativos dos materiais utilizados para fazer três corpos de prova de concreto.....	17
TABELA 2 - Leitura da força de ruptura de corpo de prova sem aditivo.	21
TABELA 3 - Leitura da força de ruptura de corpo de prova aditivado com biodiesel.21	
TABELA 4 - Leitura da força de ruptura de corpo de prova aditivado com ácido linoleico.	21
TABELA 5 - Massa dos corpos de prova antes da secagem medidas em triplicata..	23

TABELA 6 - Massa dos corpos de prova após 72 horas na estufa medidas em triplicata.....	24
TABELA 7 - Massa dos corpos de prova após 72 horas imergidos na água medidas em triplicata.....	24
TABELA 8 – Médias das massas usadas para os cálculos de determinação da absorção de água dos corpos de prova sem aditivo.	24
TABELA 9 - Médias das massas usadas para os cálculos de determinação da absorção de água dos corpos de prova aditivados com biodiesel.	25

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	9
2.1 Cimento Portland	9
2.2 Concreto com e sem aditivação	10
2.3 Aditivos clássicos para concreto, suas propriedades e classificações	10
2.3.1 Aditivos hidrofugantes	12
2.4 O biodiesel e seus derivados de hidrólise como possíveis aditivos para concreto	13
2.4.1 Hidrólise do biodiesel para obtenção de ácidos graxos	16
3 METODOLOGIA	16
3.1 Preparo dos corpos de prova	17
3.2 Procedimento de ensaio de resistência à compressão	18
3.3 Procedimento de ensaio de absorção total	19
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.1 Ensaio de compressão	20
4.2 Ensaio de determinação de absorção de água	23
5 CONCLUSÃO	27
REFERÊNCIAS	28

1 INTRODUÇÃO

Atualmente o emprego de novos materiais à construção civil está intimamente atrelado a uma ideologia sustentável. Baseando-se neste tema sabe-se que é de suma importância a destinação correta de alguns resíduos, bem como o estudo de sua reutilização.

O biodiesel sendo encarado como um material – não como um combustível – oriundo de fontes renováveis tem sido estudado para diversas aplicações. Há uma carência significativa de estudos que insiram o biodiesel na aplicação de materiais para construção civil, sendo assim, o oportunismo tomado, fruto da soma de uma ideia com o conhecimento de algumas propriedades físicas e químicas (por exemplo hidrofobicidade, toxicidade, composição) de ambos os protagonistas do trabalho (biodiesel e concreto), cria expectativas positiva de resultados favoráveis, bem como fomentar estudos futuros diferenciados nesta realidade.

Este trabalho teve como objetivo buscar alternativas de redestinação do biodiesel no ramo da construção civil, em especial, a sua empregabilidade como aditivo para concreto, a partir de levantamentos bibliográficos de aditivos análogos ao biodiesel e ao seu produto derivado de hidrólise, o ácido linoleico, tal como o VEDACIT. O propósito da utilização do biodiesel e do ácido linoleico como aditivos é verificar as mudanças que ocorrem, e se ocorrem, na resistência e impermeabilidade dos corpos de prova de concreto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Cimento Portland

De acordo com o fundador da Falcão Bauer Centro Tecnológico de Controle e Qualidade, Bauer (2015, Ed.5, p. 35):

O Cimento Portland é o produto obtido pela pulverização de clínquer constituído essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio, com uma certa proporção de sulfato de cálcio natural, contendo eventualmente, adições de certas substâncias que modificam suas propriedades ou facilitam seu emprego.

O clínquer é um produto de natureza granulosa, resultante da calcinação de uma mistura daqueles materiais, conduzida até a temperatura de sua fusão incipiente.

Os constituintes fundamentais do cimento Portland são a cal (CaO), a sílica (SiO₂), a alumina (Al₂O₃), o óxido de ferro (Fe₂O₃), certa proporção de magnésia (MgO) e uma pequena porcentagem de anidrido sulfúrico (SO₃), que é adicionado após a calcinação para retardar o tempo de pega do produto. Tem ainda, como constituintes menores, impurezas, óxido de sódio (Na₂O), óxido de potássio (K₂O), óxido de titânio (TiO₂) e outras substâncias de menor importância. Os óxidos de potássio e sódio constituem os denominados álcalis do cimento.

2.2 Concreto com e sem aditivação

De acordo com doutor em engenharia de produção, Ambrozewicz (2012, Ed.1, p. 120):

O concreto é um material de construção resultante da mistura, em quantidades racionais, de aglomerante (cimento), agregados (pedra e areia) e água. Logo após a mistura o concreto fresco deve possuir plasticidade suficiente para as operações de manuseio, transporte e lançamento em fôrmas. As propriedades definidas para este momento são: consistência, textura, trabalhabilidade, integridade da massa, poder de retenção de água e massa específica. Em alguns casos são adicionados aditivos que modificam suas características físicas e químicas.

Para se obter um concreto resistente, durável, econômico e de bom aspecto, deve-se estudar:

- As propriedades de cada um dos materiais componentes
- As propriedades do concreto e os fatores que podem alterá-las
- O proporcionamento correto e execução cuidadosa da mistura
- O modo de executar o controle do concreto durante a fabricação e após o endurecimento.

Concreto aditivado é o nome dado ao concreto que tem em sua mistura (além de cimento, água e agregados) aditivos, que “[...] são substâncias que se adicionam ao concreto para melhorar suas características, porém não corrigem defeitos provenientes de um concreto mal dosado ou mal feito “ (AMBROZEWICZ, 2012, p. 106).

2.3 Aditivos clássicos para concreto, suas propriedades e classificações

Segundo Bauer (2015, Ed.5, p. 135):

Pode-se definir como ADITIVO todo produto não indispensável à composição e finalidade do concreto, que colocado na betoneira imediatamente antes ou

durante a mistura do concreto, em quantidades geralmente pequenas e bem homogeneizadas, faz aparecer ou reforça certas características.

A classificação dos aditivos pode ser baseada na ação ou nos efeitos.

O critério baseado na ação é mais científico e distingue apenas as ações puramente química, física ou físico-química.

Entende-se por ação química aquela que modifica a solubilidade dos compostos do cimento.

[...]

Por ação física entende-se aquela que, por forças de absorção de Vander Waals de natureza tensoativa, modifica a tensão superficial da fase líquida e ainda, a tensão interfacial entre esta e as fases sólidas ou gasosas. Em outras palavras, pode-se dizer que os tensoativos fazem com que as moléculas de água nas interfaces 'água – ar' e 'água – sólido' tenham menor coesão. Assim sendo, aumentam a capacidade de molhabilidade (umectação) da água, bem como seu poder de penetração.

As moléculas dos tensoativos têm um radical hidrófobo e apolar e outro radical hidrófilo e polar.

Por ação físico-química, entende-se aquela que por efeito físico modifica a tensão superficial ou interfacial água – 'água x ar' e 'água x sólido' -, e por efeito químico, modifica a cinética do processo de hidratação.

Segundo o Instituto Brasileiro de Impermeabilização (s.d, Ed.1, pg. 7-8), a Associação Brasileira de Normas técnicas, na NBR 11768 (ABNT, 2011), normatizou a classificação dos aditivos como:

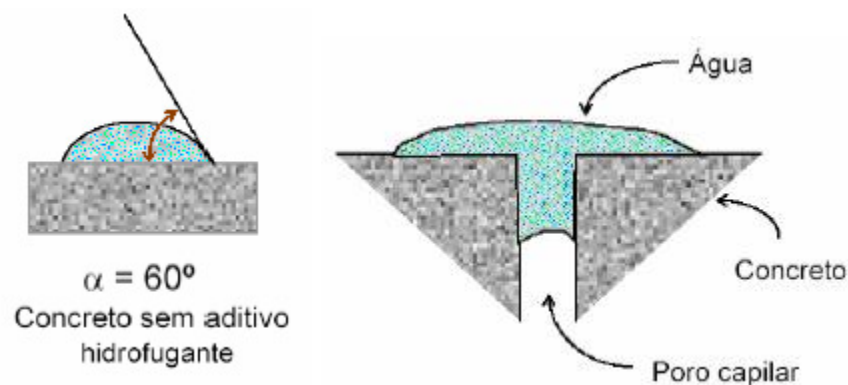
- **Aditivo redutor de água / plastificante:** aditivo que, sem modificar a consistência do concreto no estado fresco, permite a redução do conteúdo de água de um concreto; ou que, sem alterar a quantidade de água, modifica a consistência do concreto, aumentando o abatimento ou fluidez; ou ainda, aditivo que produz os dois efeitos simultaneamente. Podem apresentar funções secundárias de retardo de pega (plastificante retardador – PR) e aceleração de pega (plastificante acelerador – PA), ou não possuir função secundário sobre a pega (plastificante – PN).
- **Aditivo de alta redução de água / superplastificante tipo I:** aditivo que, sem modificar a consistência do concreto no estado fresco, permite elevada redução no conteúdo de água de um concreto; ou que, sem alterar a quantidade de água, aumenta consideravelmente o abatimento e a fluidez do concreto; ou, ainda, aditivo que produz esses dois efeitos simultaneamente. Podem apresentar funções secundárias de retardo de pega (superplastificante tipo I retardador) – SPI-R) e aceleração de pega (superplastificante tipo I acelerador – SPI-A), ou não possuir função secundária sobre a pega (superplastificante tipo I – SPI-N).
- **Aditivo de alta redução de água / superplastificante tipo II:** aditivo que, sem modificar a consistência do concreto no estado fresco, permite uma elevadíssima redução no conteúdo de água de um concreto; ou que, sem alterar a quantidade de água, aumenta consideravelmente o abatimento e a fluidez do concreto; ou, ainda, aditivo que produz esses dois efeitos simultaneamente. Podem apresentar funções secundárias de retardo de pega (superplastificante tipo-II retardador – SPII-R) e aceleração de pega (superplastificante tipo-II acelerador – SPII-A), ou não possuir função secundária sobre a pega (superplastificante tipo II – SPII-N).
- **Aditivo incorporador de ar (IA):** aditivo que permite incorporação, durante o amassamento do concreto, uma quantidade controlada de pequenas bolhas de ar, uniformemente distribuídas, que permanecem no material no estado endurecido.

- **Aditivo acelerador de pega (AP):** aditivo que diminui o tempo de transição do concreto do estado plástico para o estado endurecido.
 - **Aditivo acelerador de resistência (AR):** aditivo que aumenta a taxa de desenvolvimento das resistências iniciais do concreto, com ou sem modificação do tempo de pega.
 - **Aditivo retardador de pega (RP):** aditivo que aumenta o tempo de transição do concreto do estado plástico para o estado endurecido.
- Outras nomenclaturas usuais no mercado:
- **Aditivos polifuncionais / multifuncionais:** são aditivos químicos redutores de água/plastificantes, que permitem dosagens superiores aos plastificantes convencionais, conferindo maior trabalhabilidade e/ou redução de água.
 - **Hiperplastificantes:** são aditivos definidos na NBR 11768 (ABNT, 2011) – Aditivo de alta redução de água / superplastificante Tipo II.

2.3.1 Aditivos hidrofugantes

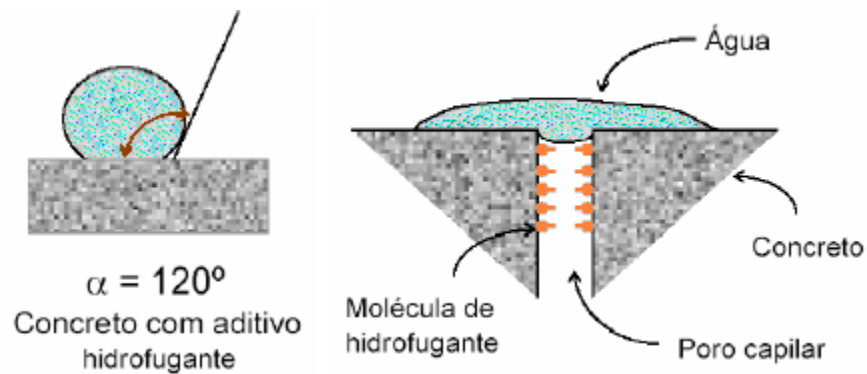
Atualmente existem várias marcas de aditivos que são usados para impermeabilizar o concreto, e dentro desta categoria estão os aditivos hidrofugantes, que segundo o professor Júnior (2018) tem a função de repelir a água reduzindo a penetração da mesma. As figuras a seguir mostram o comportamento do concreto sem o uso de aditivo hidrofugante (Figura 1) e mediante a mistura de aditivo hidrofugante (Figura 2).

FIGURA 1 - Comportamento do concreto sem o uso de aditivo hidrofugante.



Fonte: José de Almendra Freitas Júnior, 2018 (apud VANDERLEI, 2008).

FIGURA 2 – Comportamento do concreto mediante sua mistura com aditivo hidrofugante.

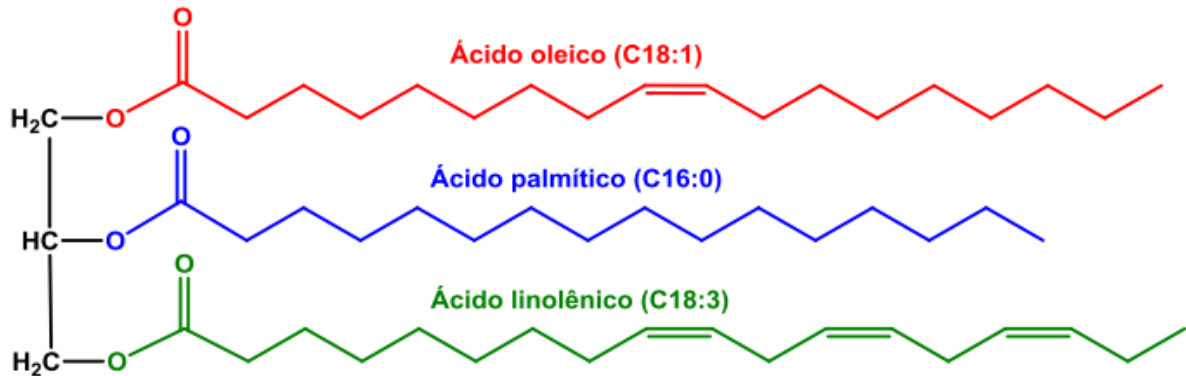


Fonte: José de Almendra Freitas Júnior, 2018 (apud VANDERLEI, 2008).

2.4 O biodiesel e seus derivados de hidrólise como possíveis aditivos para concreto

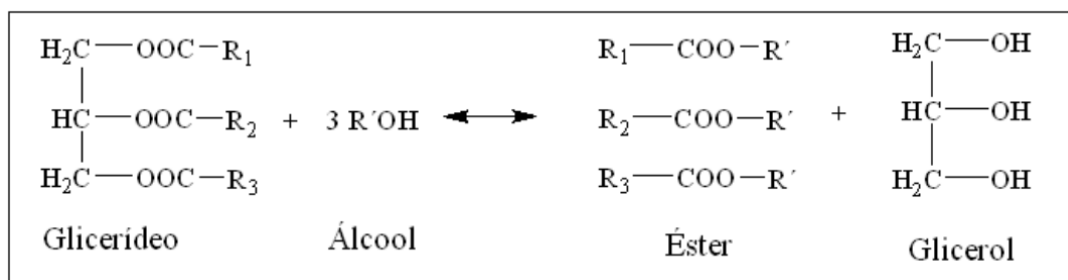
O biodiesel é comumente obtido através da reação de transesterificação entre um álcool de cadeia curta (metanol ou etanol) e um triglicerídeo (óleo vegetal) levando a formação de uma composição mista de ésteres de ácidos graxos e glicerol. É considerado por muitos como o sucessor limpo do diesel convencional devido às suas semelhanças e a sua baixa toxicidade quando comparado ao diesel (PAIANO, 2015). A reação de transesterificação, demonstrada na Figura 4, é uma reação química entre um éster e um álcool gerando como produto outros éster e álcool, pode ser classificada como alcoólise se os reagentes forem álcool e éster, acidólise se os reagentes forem éster e ácido carboxílico, e interesterificação se a reação for entre dois ésteres.

FIGURA 3 – Exemplo de uma molécula típica de triglicerídeo (óleo vegetal) com as cadeias graxas aleatórias evidenciadas. Cada cadeia de uma cor dá origem a uma molécula de biodiesel através da transesterificação.



Fonte: Paiano, 2015.

FIGURA 4 - Representação da reação de transesterificação.



Fonte: Hellen Sonego Costenaro apud Expedito José de Sá Parente, 2009.

O biodiesel tem outras aplicações além de ser utilizado como combustível. De acordo com Moraes (2015) o biodiesel pode ser utilizado para obter álcoois graxos, que são utilizados como surfactantes em materiais de limpeza, lubrificantes biodegradáveis (ésteres de cadeia ramificada). Além disso:

[...] os ésteres de alguns óleos podem ser utilizados em outras finalidades, como matéria-prima para síntese de compostos como resinas, poliuretanas, polióis, epóxidos e polímeros. No entanto, esta capacidade sucede de um dos maiores problemas para a utilização do biodiesel como combustível, que são as duplas ligações de sua cadeia carbônica. Estas ligações reagem facilmente para formar outros compostos, mas quando o éster metílico é usado como combustível, esta alta reatividade é indesejada, pois diminui a estabilidade à oxidação (MORAES, 2015).

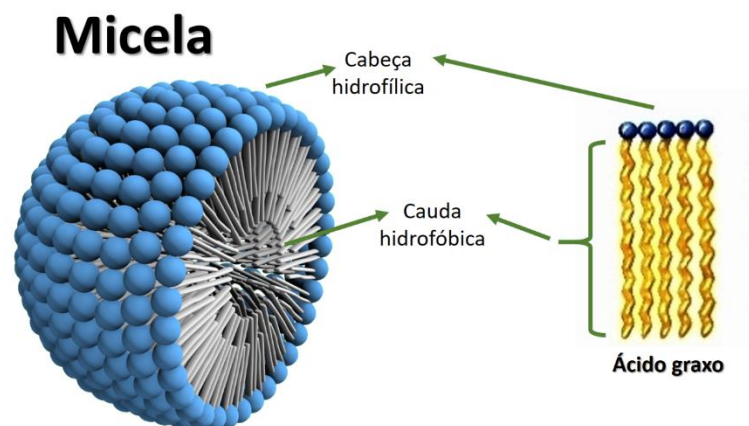
Hoje existem aditivos à base de resina natural (para impermeabilizar o concreto por hidrofugação), aditivos à base de ácidos graxos (capaz de reduzir a

permeabilidade e absorção por capilaridade) e à base de ácido oleico e silicato de sódio (reduzidor de permeabilidade para concreto e argamassas, que age por hidrofugação do sistema capilar e permite a respiração dos materiais). (MARIA WESTRUP, FLÁVIA; G. PAVEI ANTUNES, ELAINE). São hoje os exemplos que mais se aproximam em estrutura química do biodiesel.

O comportamento de moléculas análogas aos ácidos graxos frente a composição do concreto tem grande possibilidade de assemelhar-se a um surfactante. Ou seja, as porções hidrofílicas dos ésteres graxos (biodiesel) podem interagir com a superfície dos compostos puramente iônicos da estrutura cimentícia criando um tipo de “revestimento” no qual as caudas hidrofóbicas¹ externas agem como um repelente às moléculas de água, trazendo parcialmente a capacidade hidrofugante necessária.

Outra vertente a ser investigada é que micelas² podem coexistir neste sistema aditivado, no qual moléculas de água são aprisionadas por solvatação via interação das porções polares do biodiesel. Tais micelas podem contribuir no balanço de hidratação da estrutura cimentícia, reduzindo o excesso de água. A figura a seguir demonstra a estrutura de uma micela:

FIGURA 5 - Estrutura de uma micela. A cabeça hidrofílica se refere à porção polar do ácido graxo ou do éster graxo (biodiesel), enquanto a cauda hidrofóbica se refere a porção apolar (ação repelente).



Fonte: Bioquímica da água, 2019.

¹ Caudas hidrofóbicas – Termo utilizado para se referir à estrutura do ácido graxo formada por uma sequência de átomos de carbono ligados a átomos de hidrogênio.

² Micelas – Pequena esfera de camada única que podem ser formadas por fosfolípidios de caudas pequenas.

2.4.1 Hidrólise do biodiesel para obtenção de ácidos graxos

O Biodiesel, por ser um éster de ácidos graxos, teve que sofrer uma hidrólise ácida tendo o ácido sulfúrico como catalisador para que fossem obtidos os ácidos e fosse feito o experimento proposto por este trabalho, porém não se obteve êxito na realização do experimento, o que não atrapalhou a realização do trabalho porque adquiriu-se um de seus derivados de hidrólise, o ácido linoleico, através da doação fornecida pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. A hidrólise ácida é uma reação química de quebra das ligações éster com água catalisada em meio ácido.

3 METODOLOGIA

Este presente trabalho adotou como metodologia o uso de biodiesel e seu derivado de hidrólise, o ácido linoleico, como aditivos hidrofugantes para concreto e explorou suas propriedades na utilização no Cimento Portland CP II-F-32 (cimento de uso geral que tem em sua composição silicatos de cálcio, alumínio e ferro, sulfato de cálcio, filler carbonático e pozolana). O agregado graúdo utilizado foi a brita 1 proveniente de rochas basálticas, com dimensão de 12,5 milímetros, o agregado miúdo usado foi a areia média. A água utilizada segue as especificações da NBR 15900-1:2009, que aprova ser correta a utilização de água potável como água para amassamento do concreto (REVISTA DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA, 2013).

Através do biodiesel pode-se obter ácidos graxos que são comumente encontrados em aditivos impermeabilizantes. Partindo dessa premissa, foi usada a metodologia de aplicação de aditivos já existentes no mercado, dentre eles o escolhido foi o VEDACIT:

VEDACIT é um aditivo impermeabilizante para concretos e argamassas, que age por hidrofugação do sistema capilar e permite a respiração dos materiais, mantendo os ambientes salubres (Otto Baumgart Ind. e Com. S/A, 2019).

Utilizando as recomendações do uso do aditivo VEDACIT para concreto impermeável, foi aplicado o traço comumente usado para concreto impermeável 1:2:3, obedecendo a uma relação água-cimento de, no máximo, 0,50, ou seja, 25 litros de água para 50 kg de cimento, como mostra a Tabela 1. Em seguida foi introduzido o

biodiesel e o ácido linoleico na quantidade de 4% sobre a massa de cimento em misturas diferentes (500 mL de biodiesel para 50 kg de cimento e 500 mL ácido linoleico para 50 Kg de cimento). Essa quantidade de biodiesel e de ácido linoleico foi adicionada nos primeiros 2/3 da água de amassamento do concreto. Posteriormente, completados com 1/3 restante da água. Seguiu-se, cuidadosamente, o adensamento e a cura do concreto para se obter um concreto impermeável (Otto Baumgart Ind. e Com. S/A, 2019).

TABELA 1 – Quantitativos dos materiais utilizados para fazer três corpos de prova de concreto.

TRAÇO 1:2:3	CIMENTO	AREIA MÉDIA	BRITA 1
Volume (m³)	1400 x 10 ⁻⁶	2800 x 10 ⁻⁶	4200 x 10 ⁻⁶
Massa específica (μ)	1400 Kg/m ³	1500 Kg/m ³	1300 Kg/m ³
Massa (Kg)	1,96	4,2	5,46

Fonte: Autor, 2020.

3.1 Preparo dos corpos de prova

Foram moldados 18 corpos de prova cilíndricos com 10 centímetros de diâmetro e 20 centímetros de altura, sendo 6 com adição de biodiesel, 6 corpos de prova sem adição de biodiesel e 6 corpos de prova com adição de biodiesel hidrolisado a fim de comparar suas propriedades.

FIGURA 6 - Moldagem dos corpos de prova.



Fonte: Autor, 2019.

O adensamento do concreto foi efetuado manualmente, os corpos de prova foram desformados após 24 horas. Após serem desformados, o tempo de cura foi de 28 dias e depois foram submetidos a ensaios de compressão e absorção total.

3.2 Procedimento de ensaio de resistência à compressão

Três corpos de prova cilíndricos (10 cm x 20 cm), de cada tipo de composição, foram rompidos a compressão aos 28 dias, em prensa hidráulica, de acordo com a NBR 5739:2018. Para a realização dos ensaios utilizou-se as dependências do laboratório da instituição de ensino Toledo Prudente Centro Universitário, a qual dispõe de uma prensa hidráulica da marca EMIC com células de carga modelo CCE1MN.

FIGURA 7 - Ruptura dos corpos de prova.



Fonte: Autor, 2019.

3.3 Procedimento de ensaio de absorção total

Os materiais utilizados foram recipientes para imersão das amostras e estufa de circulação e renovação de ar da marca SPlabor modelo SP-102/27 com capacidade para 27 litros. Os corpos de prova foram mantidos na estufa e submetidos à secagem a uma temperatura de 105 °C durante 72 horas, em seguida foram medidas as massas das amostras determinando-se a massa seca (m_s) conforme a Tabela 6. Depois deu-se início a etapa de saturação imergindo as amostras em água à temperatura de 23 °C, mantendo-as assim durante 72 horas. Por fim, as amostras foram secadas com pano úmido e novamente colocadas na balança para medir suas massas saturadas (m_{sat}) de acordo com a Tabela 7 na seção de resultados e discussão.

Três corpos de prova cilíndricos (10 cm x 20 cm) de cada tipo de composição, foram analisados quanto à absorção total após os mesmos 28 dias. Foram utilizados os parâmetros prescritos na NBR 9778:2005 (Versão Corrigida

2:2009). Os corpos, inicialmente foram secos em estufa e posteriormente imergidos em água. Suas massas foram medidas a cada 48 horas. O excesso de água foi retirado com pano seco e depois foi feita a medição até a constância ser obtida, e depois foi calculada a absorção de todos os corpos de prova através da equação a seguir:

$$A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

m_{sat} = Massa saturada.

m_s = Massa seca.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados são apresentados a seguir. Os resultados obtidos após a ruptura dos corpos de prova são discutidos primeiramente e, posteriormente, são abordadas as análises realizadas após o ensaio de determinação de absorção de água.

4.1 Ensaio de compressão

Os ensaios de compressão dos corpos de prova foram feitos de acordo com a NBR 5739:2018, e tem como objetivo cotejar a resistência dos corpos de prova à compressão axial.

As resistências em MPa foram encontradas através da seguinte equação:

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

Onde:

F_c – Resistência à compressão em MPa.

F – Força máxima alcançada em newtons.

D - Diâmetro do corpo de prova em milímetros.

Os resultados obtidos após os ensaios estão indicados nas Tabelas 2, 3 e 4. Para facilitar a identificação dos corpos de prova, as amostras sem aditivos, aditivadas com biodiesel e aditivadas com ácido linoleico foram nomeadas utilizando as siglas CPS, CPB e CPA respectivamente.

TABELA 2 - Leitura da força de ruptura de corpo de prova sem aditivo.

CP	Leitura (kN)	Leitura (MPa)
CPS 1	210,73	26,831
CPS 2	227,03	28,906
CPS 3	197,48	25,144
Média	-	26,960
Desvio Padrão	-	1,884

Fonte: Autor, 2020.

TABELA 3 - Leitura da força de ruptura de corpo de prova aditivado com biodiesel.

CP	Leitura (kN)	Leitura (MPa)
CPB 1	119,02	15,154
CPB 2	103,08	13,124
CPB 3	138,92	17,688
Média	-	15,322
Desvio Padrão	-	2,287

Fonte: Autor, 2020.

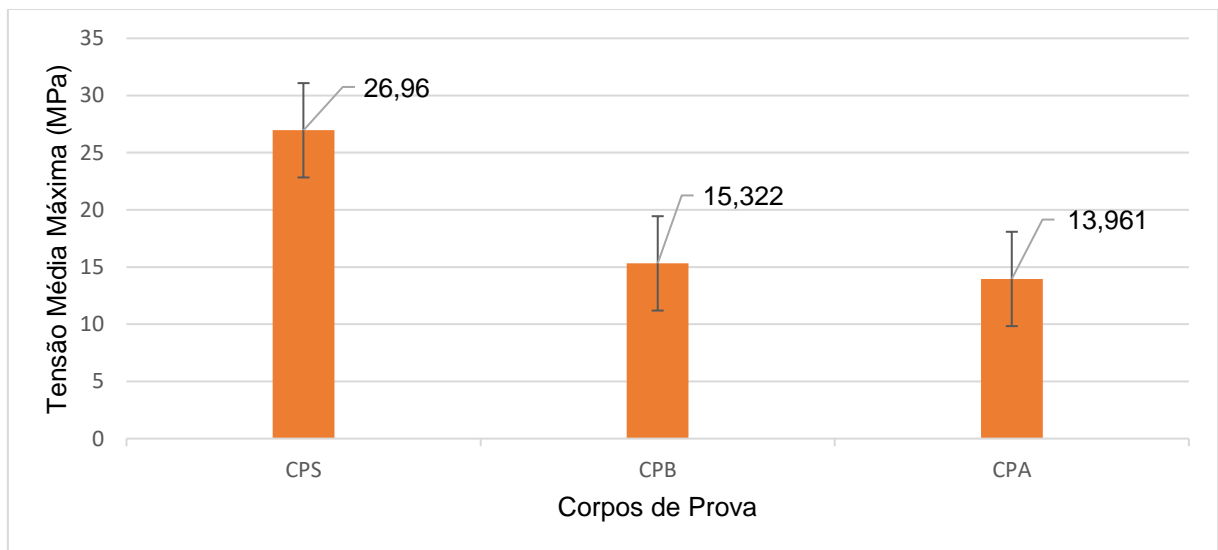
TABELA 4 - Leitura da força de ruptura de corpo de prova aditivado com ácido linoleico.

CP	Leitura (kN)	Leitura (MPa)
CPA 1	109,83	13,984
CPA 2	120,46	15,337
CPA 3	98,68	12,564
Média	-	13,961
Desvio Padrão	-	1,387

Fonte: Autor, 2020.

Como se pode observar nas Tabelas 2, 3 e 4, os valores de resistência à compressão das amostras contendo tanto biodiesel quanto ácido linoleico como aditivos, apresentaram uma tensão média inferior à tensão média dos corpos de prova sem aditivos. A partir dos resultados das tabelas, foi elaborado o gráfico (Figura 7) dos valores das tensões médias máximas de acordo com os tipos de corpo de prova.

FIGURA 8 - Gráfico de barras com o resultado da resistência à compressão axial média dos corpos de prova



Fonte: Autor, 2020.

A resistência à compressão dos corpos de prova aditivados com biodiesel apresentou uma diminuição de 43,17% em comparação com a resistência à compressão média das amostras sem aditivos. O valor da resistência à compressão média das amostras com adição de ácido linoleico apresentou uma redução de 48,22% com relação à resistência dos corpos de prova sem aditivação.

Pode-se notar uma interferência negativa dos aditivos na mistura com o concreto utilizado no experimento proposto neste trabalho, ou seja, o acréscimo desses aditivos mostrou grande influência na tensão normal. Sendo assim, como tiveram a resistência média inferior à 20 MPa, não respeitaram a NBR 8953 que estabelece como parâmetro para concreto estrutural a resistência mínima de 20 MPa.

PAIVA *et al* (2018), fizeram um estudo sobre a aplicação de um efluente, que continha ácidos graxos em sua composição, oriundo da produção de biodiesel em concreto de cimento Portland, e observaram mudanças semelhantes na resistência à compressão dos corpos de prova acarretadas pelas diferentes concentrações do

rejeito e fatores água/cimento. Na concentração de 25% do efluente, com fator água/cimento de 0,5, observou-se uma diminuição da resistência em mais de 50%. Quando aplicado nas concentrações de 25%, 50%, 75% e 100% com fator água/cimento de 0,6, notou-se a redução, também, de mais de 50% da resistência à compressão, tendo resultados positivos para todas as concentrações apenas quando alterou o fator água/cimento para 0,7.

Os autores METHA e MONTEIRO (1994) afirmam que a relação água/cimento interfere a porosidade tanto na matriz da pasta de cimento como da zona de transição entre a matriz e o agregado graúdo, diminuindo suas resistências. Tal teste não pôde ser verificado em função da logística desfavorável frente a situação de pandemia que o mundo se encontra atualmente.

4.2 Ensaio de determinação de absorção de água

Foram obtidos os resultados mostrados nas tabelas a seguir sendo que, CP/S significa corpo de prova sem aditivo e CP/B significa corpo de prova aditivado com Biodiesel. Somente a massa constante, das amostras, foi divulgada no trabalho. Os ensaios dos corpos de prova aditivados com ácido linoleico não foram feitos porque as amostras foram equivocadamente descartadas.

TABELA 5 - Massa dos corpos de prova antes da secagem medidas em triplicata.

	PESAGEM ANTES DA SECAGEM (g)			
	Replicata 1	Replicata 2	Replicata 3	Média
CP/S 1	3.621,0	3.619,0	3.620,0	3.620,0
CP/S 2	3.636,0	3.637,0	3.636,0	3.636,3
CP/S 3	3.737,0	3.736,0	3.736,0	3.736,3
CP/B 1	3.752,0	3.754,0	3.753,0	3.753,0
CP/B 2	3.746,0	3.747,0	3.746,0	3.746,3
CP/B 3	3.749,0	3.748,0	3.748,0	3.748,3

Fonte: Autor, 2020.

TABELA 6 - Massa dos corpos de prova após 72 horas na estufa medidas em triplicata.

	PESAGEM APÓS 72 HORAS NA ESTUFA (m_s, g)			
	Replicata 1	Replicata 2	Replicata 3	Média
CP/S 1	3.514,0	3.515,0	3.514,0	3.514,3
CP/S 2	3.527,0	3.528,0	3.528,0	3.527,7
CP/S 3	3.640,0	3.639,0	3.639,0	3.639,3
CP/B 1	3.659,0	3.658,0	3.658,0	3.658,3
CP/B 2	3.651,0	3.651,0	3.650,0	3.650,7
CP/B 3	3.659,0	3.659,0	3.659,0	3.659,0

Fonte: Autor, 2020.

TABELA 7 - Massa dos corpos de prova após 72 horas imergidos na água medidas em triplicata.

	PESAGEM APÓS 72 HORAS IMERGIDAS NA ÁGUA (m_{sat}, g)			
	Replicata 1	Replicata 2	Replicata 3	Média
CP/S 1	3.737,0	3.738,0	3.738,0	3.737,7
CP/S 2	3.758,0	3.757,0	3.757,0	3.757,3
CP/S 3	3.855,0	3.854,0	3.853,0	3.854,0
CP/B 1	3.696,0	3.695,0	3.695,0	3.695,3
CP/B 2	3.685,0	3.685,0	3.684,0	3.684,7
CP/B 3	3.698,0	3.698,0	3.696,0	3.697,3

Fonte: Autor, 2020.

Para alcançar os resultados, a média obtida das replicatas das análises de absorção foram compiladas nas tabelas 8 e 9 a seguir:

TABELA 8 – Médias das massas usadas para os cálculos de determinação da absorção de água dos corpos de prova sem aditivo.

Amostra	Massa saturada média (m_{sat}, g)	Massa seca média (m_s, g)
CP/S 1	3.737,7	3.514,3
CP/S 2	3.757,3	3.527,7
CP/S 3	3.854,0	3.639,3
Média para cálculo	3.783,0	3.560,4

Fonte: Autor, 2020.

TABELA 9 - Médias das massas usadas para os cálculos de determinação da absorção de água dos corpos de prova aditivados com biodiesel.

Amostra	Massa saturada média (m_{sat}, g)	Massa seca média (m_s, g)
CP/B 1	3.695,3	3.658,3
CP/B 2	3.684,7	3.650,7
CP/B 3	3.697,3	3.659,0
Média para cálculo	3.692,43	3.656,0

Fonte: Autor, 2020

Reforçando que o cálculo para apresentação dos resultados da determinação da absorção de água das amostras está de acordo com a NBR 9778:2005 e foi detalhado a seguir:

$$A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

m_{sat} = Massa saturada.

m_s = Massa seca.

i) Sem aditivo:

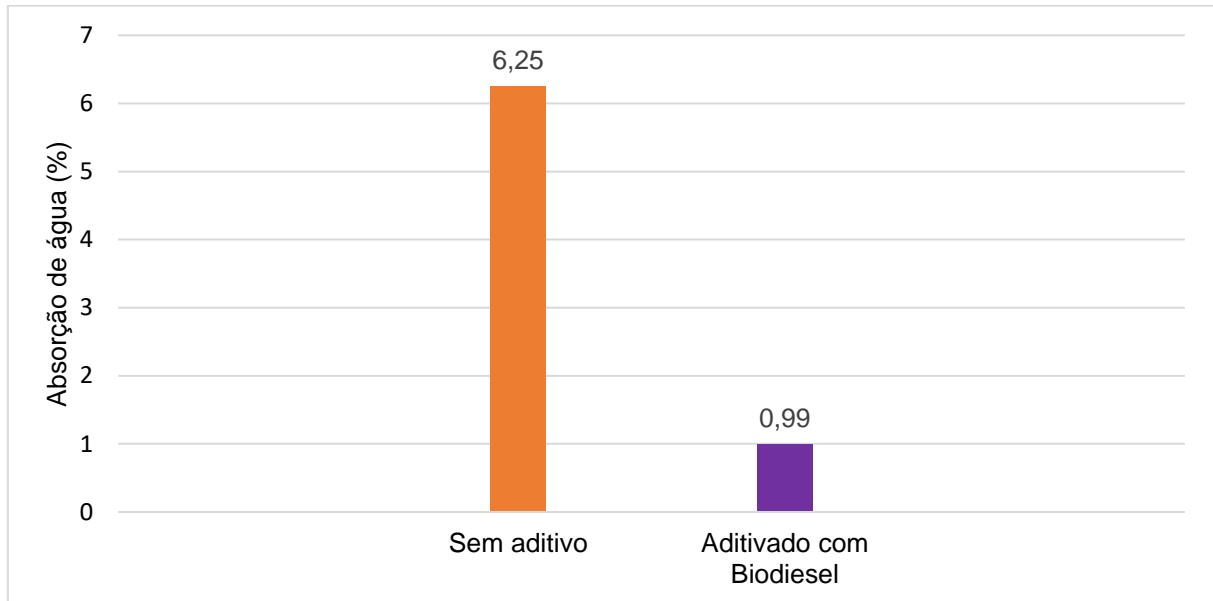
$$A = \frac{3783,0 - 3560,43}{3560,43} \times 100 = 6,25\%$$

ii) Aditivado com biodiesel:

$$A = \frac{3692,43 - 3656,0}{3656,0} \times 100 = 0,99\%$$

Verifica-se uma diminuição relevante da porcentagem de absorção de água nos corpos de prova aditivados com biodiesel de 5,26%, como se observa no gráfico da Figura 8 a seguir:

FIGURA 9 - Gráfico de absorção de água, por imersão, dos corpos de prova aditivados com Biodiesel e das amostras sem aditivação.



Fonte: Autor, 2020.

Admitindo-se que os corpos de prova demonstraram estar dentro dos parâmetros da NBR 6136:2014, a qual requiere e declara uma absorção de água do concreto menor ou igual à 10% como ideal para blocos vazados de concreto simples para alvenaria, podemos afirmar que os efeitos do Biodiesel foram satisfatórios neste quesito. De acordo com doutor, em engenharia civil, Gasparim (2007 apud MORGAN, 1992), “Morgan classifica como excelente a qualidade dos concretos com absorção, após imersão e fervura, inferior a 6%, boa entre 6% e 8%, razoável entre 8% e 9% e ruim acima de 9%.”

Comparando as médias da massa saturada e da massa seca das amostras aditivadas com biodiesel, pode-se observar pouca variação, e algumas das características que causam esse efeito é a baixa porosidade e a propriedade hidrofugante do Biodiesel, que se aproxima das características comportamentais dos aditivos hidrofugantes, como citado no item 2.4 deste trabalho.

Não foram encontrados trabalhos para efeito de comparação do uso de biodiesel na construção civil, os resultados apresentados neste item são considerados inéditos e podem abrir novos horizontes de pesquisa visando a sustentabilidade na reutilização dos ácidos graxos residuais na composição do concreto para torná-lo impermeável atendendo assim a busca pela otimização de materiais já existentes.

5 CONCLUSÃO

Com o objetivo de analisar a eficácia do biodiesel e do ácido linoleico como aditivos hidrofugantes para concreto, bem como a interferência desses materiais na resistência das amostras, foram feitos vários ensaios laboratoriais. A partir dos dados coletados dos ensaios de compressão, percebeu-se uma queda significativa na resistência à compressão axial média quando utilizados o biodiesel e o ácido linoleico como aditivos de quase 50%, tornando o resultado insatisfatório nesse quesito.

No que tange à determinação de absorção de água, observou-se um resultado positivo nos ensaios das amostras aditivadas com biodiesel em comparação com os corpos de prova sem aditivos. A absorção de água reduziu mais de 5% com relação aos corpos de prova sem aditivos, confirmando uma mudança na impermeabilidade do concreto, com a adição de biodiesel, de boa para excelente.

De acordo com os resultados obtidos através dos ensaios de absorção de água podemos concluir que, as porções hidrofílicas dos ésteres graxos (biodiesel) podem interagir com a superfície dos compostos puramente iônicos da estrutura cimentícia criando um tipo de “revestimento” no qual as caudas hidrofóbicas externas agem como um repelente às moléculas de água, trazendo a capacidade hidrofugante necessária.

Uma possível conclusão para a diminuição da resistência à compressão devido ao uso do biodiesel como aditivo é a ausência de um componente dispersante para reduzir o consumo de água durante a mistura. Observou-se, na Tabela 5, uma quantidade de massa maior nos corpos de prova aditivados com biodiesel antes da secagem devido a quantidade de água que permaneceu na amostra após a cura do concreto.

REFERÊNCIAS

AMBROZEWICZ, Paulo Henrique Laporte. **Materiais de construção**: Normas, especificações, aplicação e ensaios de laboratório. São Paulo: Pini, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12655:2015** - Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 11768:2019** - Aditivos químicos para concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15900:2009** - Água para amassamento do concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739:2018** - Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9778:2009** - Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8953:2015** - Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6136:2016** - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão (coord.). **Materiais de Construção**. Revisão: João Fernando Dias. 5. ed., rev. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

BIOQUÍMICA DA ÁGUA. **Site Biologia além dos olhos**. Disponível: <https://biologiaalemdosolhos.com/2017/05/19/bioquimica-da-agua/>. Acesso em 28 abr. 2019.

WESTRUP, Flávia Maria; ANTUNES, Elaine G. Pavei. **Estudo da influência de incorporação de distintos aditivos impermeabilizantes em placas de concreto expostas a ciclos higrotérmicos**. Artigo (requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, 2017. Disponível: <http://periodicos.unesc.net/engcivil/article/view/4351/4022>. 2017. Acesso em 15 de mai. 2019.

FAGUNDES, Fábio Pereira; FREITAS Lucas Damião Evangelista Pereira de; LUCAS, Mayra Ferreira Lima; PAIVA, Jardel Hugo Gonçalves; SILVA, José Allysson da. **POTENCIAL DE APLICAÇÃO DE EFLUENTE ORIUNDO DA PRODUÇÃO DE BIODIESEL EM CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND**. Artigo (III Congresso

Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis) – Universidade Rural do Semi-árido e Universidade Potiguar, 2018. Disponível: <http://www.editorarealize.com.br/revistas/conepetro/anais.php>. 2018. Acesso em 08 de jun. 2020.

FREITAS JÚNIOR, José de Almendra; DA COSTA, Marienne do Rocio Maron; Artigas, Laila Valduga. **Materiais de construção: Aditivos para concreto**. Disponível: http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/d/db/2_Aditivos_2018.pdf. Acesso em 15 mai. 2019.

GASPARIM, José Carlos. **Concreto projetado elaborado com cimentos especiais: análise segundo parâmetros de durabilidade**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. doi:10.11606/D.3.2007.tde-01042009-102652. Acesso em: 2020-06-04.

INSTITUTO BRASILEIRO DE IMPERMEABILIZAÇÃO. **Aditivos para concreto: manual de utilização de aditivos para concreto dosado em central**. São Paulo: [s.n.], [2013?]. Disponível: <http://www.casadagua.com/wp-content/uploads/2014/02/MANUAL-DE-ADITIVOS-PARA-CONCRETO.pdf>. Acesso em 15 mai. 2019.

METHA, P. K. & MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994.

MORAES, Danielle Costa de. **Síntese de Polímeros Oriundos do ácido oleico e derivados do biodiesel de soja e canola para revestimentos de nanopartículas de Fe₃O₄ e CoFe₂O₄**. 2015. Tese (Doutorado em química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Campus de Porto Alegre, 2015. Disponível: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/142123>. Acesso em 15 mai. 2019.

OTTO Baumgart Ind. e Com. S/A. **VEDACIT**. São Paulo, 2019. Disponível: <https://www.vedacit.com.br/produtos-e-solucoes/impermeabilizantes/vedacit#description>. Acesso em 14 de mai. 2020.

PAIANO, Murillo da Silva. **Síntese e modificação química de biodiesel para formação de epóxidos e carbonatos cíclicos com potencial biodegradabilidade**. 2015. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Materiais) – Universidade Estadual Paulista.