

**UNIVERSIDADE DE SOROCABA
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA, EXTENSÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROCESSOS TECNOLÓGICOS E
AMBIENTAIS**

Vitor Rogério Pires

**UTILIZAÇÃO DO SUBSTRATO DE CULTIVO DO COGUMELO *LENTINULA*
EDODES COMO ADITIVO APLICADO AO CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND**

**Sorocaba/SP
2019**

Vitor Rogério Pires

**UTILIZAÇÃO DO SUBSTRATO DE CULTIVO DO COGUMELO *LENTINULA*
EDODES COMO ADITIVO APLICADO AO CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND**

Dissertação apresentada à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Processos Tecnológicos e Ambientais da Universidade de Sorocaba, como exigência parcial para Exame de Defesa do Mestrado em Processos Tecnológicos e Ambientais.

Orientadora: Prof^a. Dra. Valquíria Miwa Hanai Yoshida

**Sorocaba/SP
2019**

Ficha Catalográfica

P747u Pires, Vitor Rogério
Utilização do substrato de cultivo do cogumelo Lentinula edodes
como aditivo aplicado ao concreto de cimento Portland / Vitor
Rogério Pires. – 2019.
73 f. : il.

Orientadora: Profa. Dra. Valquíria Miwa Hanai Yoshida
Dissertação (Mestrado em Processos Tecnológicos e Ambientais)
– Universidade de Sorocaba, Sorocaba, SP, 2019.

1. Concreto - Aditivos. 2. Cogumelos. 3. Cimento Portland. I.
Yoshida, Valquíria Miwa Hanai, orient. II. Universidade de Sorocaba.
III. Título.

Vitor Rogério Pires

**UTILIZAÇÃO DO SUBSTRATO DE CULTIVO DE COGUMELO *LENTINULA*
EDODES COMO ADITIVO APLICADO AO CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Processos Tecnológicos e Ambientais da Universidade de Sorocaba.

Aprovado em: ___ de agosto de 2019

BANCA EXAMINADORA:

Profa. Dra. Valquíria Miwa Hanai Yoshida
Universidade de Sorocaba

Prof. Dr. Norberto Aranha
Universidade de Sorocaba

Prof. Dr. José Roberto Garcia
Universidade de Sorocaba

Este trabalho é dedicado ao meu filho
Miguel, que me mostrou o quão somos
insignificante sem amor: amor ao próximo,
amor à vida, amor a nós mesmos.
Miguel, *love of my life*.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer às pessoas que colaboraram com a realização desta dissertação:

Meu pai José Carlos, que é meu orgulho e exemplo de vida, por tantas vezes me cobrou resultado e foi meu maior incentivador neste curso.

Minha mãe Ivone Valéria e minha esposa Francine Guedes, que compreenderam minha ausência ao lado delas no dia a dia, nunca me deixaram desistir e sempre tiveram palavras de apoio e carinho pra me dizer.

Meu primo Prof. Ms. Eduardo Munhoz, ao qual me inspiro por sua dedicação e prazer na arte de lecionar, sempre me incentivando a estudar.

Minha Profa. Dra. Valquíria Yoshida, que carinhosamente estendeu suas mãos durante o curso para me auxiliar. Sua orientação foi essencial na organização das ideias, na elaboração e obtenção dos resultados aqui apresentados, sempre de forma objetiva e respeitosa.

Ao Sr. Iwao Akamatsu, proprietário da empresa Yuri Cogumelos, e à Daiane Cristovam, que nos auxiliaram por meio de reuniões e visitas na empresa.

Meus amigos Prof. Ms. Gustavo Coppio e Profa. Esp. Miriam Luama, pela dedicação e ajuda nos ensaios laboratoriais, e apoio na conclusão deste curso.

À Eng^a. Jaqueline Mendes Tenório, por sua presteza e dedicação em ajudar nesta pesquisa.

Meus amigos Prof. Ms. Rafael Fonseca Beccari e Profa. Ms. Cibeli Nieri, seus ensinamentos e incentivos auxiliaram na minha vida docente e pessoal.

Meus familiares e colegas de trabalho pela compreensão, amor e carinho.

Para acessarmos a criatividade, teremos que ignorar grande parte dos processos conhecidos, passando por uma reciclagem daquilo que já existe, para finalizarmos descobrindo aquilo que irá existir.

(Ivan Teorilang)

RESUMO

Vários estudos foram realizados para a reutilização pós-cultivo do substrato de cogumelo *Lentinula edodes* (Shiitake), mas existem casos em que ele é descartado no meio ambiente, poluindo e servindo de criadouro de insetos e outras pragas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a aplicação do substrato como aditivo do concreto, estudar sua constituição química e avaliar os corpos de prova. O *Design of Experiments (DoE)* foi adotado como método multivariado para estudar os efeitos dos fatores, concentração do substrato e tipo de concreto, sobre resistência à compressão mecânica dos corpos de prova ao longo do tempo, assim como avaliar a absorção de água. Os blocos de substrato foram selecionados aleatoriamente, secos em estufa, moídos e preparados para análise química e para moldagem dos corpos de prova de concreto com cimento Portland. Nos corpos de prova foram realizados ensaio de resistência à compressão mecânica, na prensa hidráulica, e ensaio de absorção de água no tanque de imersão. Na análise elementar das amostras de substrato, realizada por meio de Fluorescência por Raios-X, o substrato sem produção (SSP) apresentou diminuição das concentrações médias de cálcio (66,18 %), silício (82,20 %), fósforo (46,24 %), manganês (36,26 %) e zinco (36,93%) quando comparado com os outros dois tipos de substratos, em início de produção (SIP) e em fim de produção (SFP). Os traços de concreto 1:1,5:2,2 e 1:2:3, quando aditivados com 5 % de substrato, resultaram aos 28 dias após moldagens em resistências média à compressão de 0,19 MPa e 0,30 MPa, e média de absorção de água de 10,17 % e 9,03 %, respectivamente. Porém, aditivado a 1 % apresentou resistências média à compressão de 18,87 MPa e 21,57 MPa, com média de absorção de água de 5,58 % e 6,44 %, respectivamente, e sem aditivo valores de 28,62 MPa e 17,28 MPa para resistências à compressão e de 6,23 % e 5,44 % para absorção de água, respectivamente. Através do *DoE* foi possível calcular a interação entre tipo de concreto e as concentrações de substrato, sendo que no estudo em 14 dias foi significativa ($t_{4xs}(\text{efeito})=1,83$ e interação de $7,74\pm 3,87$). Concluímos que o substrato de Shiitake pode ser utilizado como aditivo na construção civil em pisos drenantes ou impermeabilizantes de paredes.

Palavras-chave: Aditivo. Substrato. *Lentinula edodes*. Concreto.

ABSTRACT

Several studies have been conducted for post-cultivation reuse of *Lentinula edodes* (Shiitake) mushroom substrate, but there are cases where it is discarded into the environment, polluting and serving as a breeding ground for insects and other pests. The objective of this work was to evaluate the substrate application as a concrete additive, study its chemical constitution and evaluate the specimens. Design of Experiments (DoE) was adopted as a multivariate method to study the effects of factors, substrate concentration and concrete type on the mechanical compressive strength of specimens over time, as well as to evaluate water absorption. The substrate blocks were randomly selected, kiln dried, ground and prepared for chemical analysis and for casting the Portland cement concrete specimens. In the specimens were performed mechanical compressive strength test, in the hydraulic press, and water absorption test in the immersion tank. In the elemental analysis of substrate samples, performed by X-Ray Fluorescence, the substrate without production (SSP) presented a decrease in the average concentrations of calcium (66,18 %), silicon (82,20 %), phosphorus (46,24 %), manganese (36,26 %) and zinc (36,93 %) when compared to the other two types of substrates, beginning of production (SIP) and end of production (SFP). The concrete traces 1:1,5:2,2 and 1:2:3, when additive with 5 % substrate, resulted at 28 days after molding in average compressive strengths of 0,19 MPa and 0,30 MPa, and average water absorption of 10,17 % and 9,03 %, respectively. However, 1 % additive presented average compressive strengths of 18,87 MPa and 21,57 MPa, with average water absorption of 5,58 % and 6,44 %, respectively, and without additive values of 28,62 MPa. and 17,28 MPa for compressive strengths and 6,23 % and 5,44 % for water absorption, respectively. Through DoE it was possible to calculate the interaction between concrete type and substrate concentrations, and in the 14-day study it was significant ($t_{4xs}(\text{effect}) = 1,83$ and interaction of $7,74 \pm 3,87$). We conclude that Shiitake substrate can be used as a building additive in drainage or waterproofing floors.

Keywords: Additive. Substrate. *Lentinula edodes*. Concrete.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma do processo a seco para a fabricação do cimento Portland .	18
Figura 2 – Ilustração do descarte da biomassa SMS após produção do cogumelo Shiitake	25
Figura 3 – Blocos de substrato durante ensaio de estresse térmico	30
Figura 4 – Moagem do substrato no moinho de bolas	31
Figura 5 – Ensaio de tamisação para padronização do tamanho de partícula dos substratos.....	31
Figura 6 – Deformação do bloco de substrato após ensaio de compressão	32
Figura 7 – Imagens da moldagem das pastilhas para posterior ensaio de Fluorescência por Raios-X	33
Figura 8 – Secagem dos agregados em estufa de circulação de ar para eliminar a umidade dos materiais	37
Figura 9 – Identificação e cura dos corpos de prova	39
Figura 10 – Armazenamento dos corpos de prova em tanques de imersão	40
Figura 11 – Corpos de prova recém retirados do tanque de imersão e prontos para ensaio de resistência à compressão mecânica	41
Figura 12 – Prensa mecânica hidráulica em funcionamento durante ensaio à compressão dos corpos de prova	41
Figura 13 – Preenchimento de água em 1/3 do volume dos corpos de prova dentro do recipiente para ensaio de absorção de água.....	43
Figura 14 – Gráficos de interações dos efeitos para a variável força aplicada (FA) em 7, 14 e 28 dias nos ensaios dos corpos de prova sem e com substrato a 5 %.....	51
Figura 15 – Gráficos de interações dos efeitos nas respostas médias da variável resistência adquirida (RA) em 7, 14 e 28 dias para os corpos de prova com substrato a 1 e 5 %.....	56
Tabela 1 – Dados das propriedades físicas do cimento CP V-ARI segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT	19
Tabela 2 – Propriedades e características químicas do cimento Portland CP V-ARI segundo dados fornecidos pelo fabricante	36
Tabela 3 – Quantidade de materiais nos diferentes traços de concreto para moldagem dos corpos de prova	38
Tabela 4 – Determinação qualitativa e quantitativa de elementos químicos em amostras de substrato de Shiitake	46
Tabela 5 – Resistência dos corpos de prova (CPs) em três diferentes tempos de análise (n=2)	48
Tabela 6 – Resultados do planejamento fatorial 2 ² completo em duplicata para estudar os efeitos do tipo de concreto (cim:ar:br) e da concentração de substrato (0 e 5 %), sobre a força necessária para a ruptura dos corpos de prova	50
Tabela 7 – Resultados da ANOVA quanto aos efeitos do tipo de concreto e da concentração de substrato, além da interação destes fatores sobre a força necessária para a ruptura dos corpos de prova sem e com substrato a 5 %.....	53
Tabela 8 – Resultados do planejamento fatorial 2 ² completo em duplicata para estudar os efeitos do tipo de concreto (cimento:areia:brita) e da concentração de substrato (1 e 5 %) sobre a força aplicada (FA) e a resistência adquirida (RA) do corpo de prova	54

Tabela 9 – Resultados da ANOVA quanto aos efeitos do tipo de concreto e da concentração de substrato, além da interação destes fatores sobre a resistência adquirida (RA) para a ruptura dos corpos de prova com substrato a 1 e 5 %	58
Tabela 10 – Resultados do ensaio de absorção de água dos corpos de prova (CPs) para os diferentes tipos de concreto e concentrações de substrato.....	59

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
a/c	Relação água/cimento
ar	Areia
ASTM	American Society for Testing and Materials
br	Brita
cim	Cimento
CP	Corpo de prova
f_{ck}	Resistência característica à compressão do concreto
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma Mercosul
RCS	Resíduo de cultivo do Shiitake
SFP	Substrato em fim de produção
SIP	Substrato em início de produção
SMS	Biomassa residual do pós-cultivo dos cogumelos comestíveis
SSP	Substrato sem produção
γ_a	Peso específico da areia
γ_b	Peso específico da brita
γ_c	Peso específico do cimento

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	Concreto	15
2.1.1	Cimento (aglomerante)	17
2.1.2	Agregados	20
2.1.3	Água de amassamento	22
2.1.4	Aditivos	22
2.2	Shiitake e seu substrato	24
2.3	Reutilização do substrato	26
3	OBJETIVO	28
4	MATERIAL E MÉTODOS	29
4.1	Obtenção do substrato	29
4.2	Resistência à compressão dos blocos de substrato	31
4.3	Análise elementar das amostras de substrato	32
4.4	Preparação dos corpos de prova de concreto	36
4.4.1	Cimento Portland	36
4.4.2	Moldagem dos corpos de prova.....	36
4.5	Delineamento experimental	40
4.5.1	Ensaio de resistência à compressão mecânica	40
4.5.2	Ensaio de absorção de água por imersão	42
4.6	Análise estatística	44
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
5.1	Ensaio de compressão dos blocos de substratos	45
5.2	Resultados da análise elementar	45
5.3	Resultados do planejamento fatorial 2² completo em duplicata	47
5.3.1	Estudo dos resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova.....	47
5.3.2	Estudo dos efeitos principais e de interação sobre os corpos de prova sem e com adição de substrato a 5 %	49
5.3.3	Estudo dos efeitos principais e de interação sobre os corpos de prova com substrato a 1 e 5 %	54
5.4	Resultados da determinação da absorção de água por imersão	58
6	CONCLUSÃO	60
	REFERÊNCIAS	61
	APÊNDICE A – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE FLUORESCÊNCIA POR RAIOS-X PARA AMOSTRAS DE SUBSTRATO	66

APÊNDICE B – MODELO DE REGRESSÃO LINEAR PARA OS RESULTADOS QUANTO A FORÇA APLICADA AOS CORPOS DE PROVA COM 1 E 5 % DE SUBSTRATO	70
APÊNDICE C – RESULTADO COMPLETO DO ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA DOS CORPOS DE PROVA.....	73

1 INTRODUÇÃO

A história conta que o concreto teve início com o surgimento da própria civilização humana, a partir da necessidade básica de se obter moradia e local de proteção onde os primórdios buscavam na natureza materiais e formas para se abrigarem. Pode-se dizer que o primeiro concreto foi gerado há milhões de anos atrás pela própria natureza com as rochas sedimentares (KAEFER, 1998).

O concreto tem sido amplamente utilizado para construção de diversas formas e estruturas. A intensa busca por tecnologia ao longo dos anos trouxe grandes melhorias e inovações para obtenção e diversificação no uso deste material. As propriedades do concreto podem ser alteradas com a presença de aditivos em seu interior, atividade frequente na construção civil. Muitas vezes, a presença de aditivo em sua composição é a única maneira de se obter um determinado efeito, que pode ou não ser conhecido, necessitando assim de ensaios cautelosos (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Atualmente muito se fala sobre os sistemas construtivos existentes, a metodologia de construção e sua geração de entulhos com descartes volumosos e impactantes ao meio ambiente. Devido às inovações tecnológicas, muitos materiais alternativos estão sendo utilizados na construção civil, substituindo os materiais destrutivos e causadores de descartes. Estudos são realizados constantemente para mudar a idéia de que a edificação seja uma construção “destrutiva”, ou seja, constrói para posterior destruição.

Infelizmente não são apenas os resíduos da construção civil que causam descarte irregular e poluição. Existem outros materiais descartados após utilização que geram entulhos e impactam o meio ambiente.

Em fevereiro de 2017, o Jornal Cruzeiro do Sul destacou a produção do cogumelo Shiitake na região de Sorocaba, representando uma fonte de renda para muitas famílias e empresas.

Segundo Siqueira et al. (2015):

Após a colheita dos cogumelos é gerado um subproduto, que é um misto de biomassa microbiana (micélio fúngico) e biomassa vegetal. Essa biomassa vegetal (substratos para o cultivo) é parcialmente degradada ou desconstruída por ações enzimáticas dos macrofungos. Este subproduto é denominado em inglês de *Spent Mushroom Substrate* (SMS), que poderia ser traduzido livremente como a biomassa residual do pós-cultivo dos cogumelos comestíveis.

O SMS, que normalmente é descartado sem controle a céu aberto, vem gerando grande preocupação quanto a seus impactos ambientais. Tem sido usado como cobertura orgânica dos solos, produção de adubo orgânico, processo de biorremediação e produção de biocombustíveis (FONSECA et al., 2017).

O presente estudo avaliou a reutilização do substrato de cogumelo *Lentinula edodes* como aditivo em dois traços distintos de concreto, e posterior análise comparativa das alterações de suas propriedades, através dos ensaios de resistência à compressão mecânica e de absorção de água. Assim determinaremos a concentração ideal de aditivo do substrato na mistura do concreto com cimento Portland, verificaremos a viabilidade da utilização deste novo concreto na construção civil com o aumento da sua resistência e absorção de água, comparado com o concreto convencional. Além disso, teremos um produto não destrutivo contribuindo com menor impacto ao meio ambiente e à saúde humana, por meio da diminuição de descartes deste substrato e do próprio material de construção civil.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Concreto

O concreto é o material mais importante e mais consumido na Engenharia Civil com suas aplicações diversas como: pavimento, estruturas, fundações, alvenarias, canalizações, revestimentos, acabamentos e outros. O concreto é uma mistura de cimento, agregados (miúdo e graúdo) e água. Quando os componentes são misturados, o concreto fresco precisa obter boa plasticidade para facilitar o manuseio e preenchimento de fôrmas sem segregação. A mistura dos componentes do concreto é realizada em máquinas com tambores rotativos conhecidas como betoneiras, ou ainda manualmente de acordo com a norma ABNT NBR 6118:2014, quando as obras são muito pequenas (AMBROZEWICZ, 2012, p. 126).

“O concreto de cimento Portland tem provado ser o material de construção mais adequado para estruturas, superando com larga vantagem outras alternativas viáveis, como madeira, aço ou alvenaria” (HELENE, 1992, p. 15).

O concreto pode contar ainda com a presença de aditivos, pigmentos, fibras, agregados especiais e adições minerais, materiais cada vez mais frequentes nas misturas. A utilização destes constituintes é buscada para atender as propriedades mecânicas, físicas e de durabilidade requerida, além da trabalhabilidade no transporte, adensamento e lançamento do concreto (ISAIA, 2017, p. 982).

A consistência do concreto é obtida através do ensaio de abatimento de cone, conhecido como *slump test*, e especificado na norma da ABNT NBR NM 67:1998. Este ensaio procura medir a possibilidade de o concreto não apresentar espaços vazios (bicheiras) e obter um espalhamento ideal dentro da fôrma e entre as armaduras. Alguns fatores que influenciam para um bom resultado de espalhamento do concreto é a quantidade de água por metro cúbico, granulometria adequada dos agregados da mistura, e utilização de aditivos plastificantes (BOTELHO; MARCHETTI, 2013, p. 207).

A proporção dos componentes que serão misturados para a obtenção do concreto em relação à quantidade de cimento é que indicará o traço do concreto, sempre respeitando a ordem do componente mais fino até o mais graúdo e por último a relação água/cimento (cim:ar:br:a/c). A dosagem destes componentes na determinação da mistura mais econômica deve apresentar características para

atender todas as condições de serviço na qual será submetido este concreto, e esta dosagem pode ser feita de forma experimental e empírica ou não experimental (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2006, p. 61).

O traço do concreto pode ser apresentado quanto à massa colocando a quantidade de cada componente em quilograma (1:ar:br:a/c), ou quanto ao volume, onde o volume dos componentes serão divididos pela sua respectiva massa unitária ($1/\gamma_c:a/\gamma_a:b/\gamma_b:a/c$) (AMBROZEWICZ, 2012, p. 120).

Independente do método de dosagem experimental utilizado, ao final da mistura com aditivo tem-se a proporção em massa dos diversos constituintes em relação à massa de cimento (1:cim:ar:br:a/c:adt₁¹ %). Esta proporção é denominada TUM – traço unitário em massa (ISAIA, 2017, p. 988).

A seleção dos ensaios realizados nos corpos de prova de concreto depende da utilização desta mistura na construção civil. O concreto usado em uma aplicação específica precisa ter uma capacidade de suportar a força aplicada (chamada de tensão quando se calcula por unidade de área), sofrendo deformação pela mudança do seu comprimento (MEHTA; MONTEIRO, 2014, p. 16).

A resistência mecânica por compressão é a principal propriedade do concreto, uma vez que ele não possui valores tão desejáveis quanto à tração, flexão e ao cisalhamento da estrutura. Em média, o concreto resiste à compressão dez vezes mais que à tração. Para o aumento destas outras resistências, é utilizado armaduras de aço devidamente calculadas e projetadas dentro da mistura, denominando-o assim de concreto armado (BOTELHO; MARCHETTI, 2013, p. 24).

“Com uma cura adequada, a resistência à ruptura dos concretos é substancialmente favorecidas”. A cura úmida melhora a resistência final, embora os valores saturados sejam mais baixos que os valores secos (BAUER, 2013, p. 260).

A esta resistência mecânica por compressão do concreto é dado o nome de f_{ck} ² e é utilizado nos cálculos estruturais. Seu menor resultado para concreto estrutural é de 20 MPa, podendo ser utilizado um f_{ck} de 15 MPa para fundações diretas, como tubulões e sapatas, onde as tensões de trabalho são baixas (BOTELHO; MARCHETTI, 2013, p. 204).

¹ adt₁ é a relação entre a massa de aditivo e a massa de cimento, em percentual.

² Feature Compression Know (f_{ck}) conceito para calcular com exatidão a medida de material com relação à estrutura que será utilizada.

A absorção de água dos agregados influencia na aderência entre eles e na mistura de cimento. É determinada pela perda de massa de uma amostra saturada após secagem em estufa por 24 h. Na mistura do concreto, a quantidade de água absorvida depende da ordem de colocação dos componentes na betoneira (NEVILLE; BROOKS, 2013, p. 54).

2.1.1 Cimento (aglomerante)

A palavra cimento vem do latim *caementu* (união). Sua origem remonta há cerca de 4500 anos com a construção de monumentos do Egito antigo, do Panteão na Grécia e do Coliseu em Roma (ISAIA, 2017, p. 761).

Existem dois tipos de cimento: os cimentos não-hidráulicos ou aéreos são materiais não resistentes à água, seus aglomerantes são resultantes da calcinação da gipsita ou carbonatos de cálcio; já os cimentos hidráulicos não apenas endurecem pela reação com água, como também formam um produto resistente à água. “Comparado aos aglomerantes de gesso e cal, o cimento Portland e suas várias modificações são os principais cimentos usados atualmente para a produção do concreto estrutural” (METHA; MONTEIRO, 2014, p. 216).

O cimento Portland foi criado por um construtor inglês chamado Joseph Aspdin e patenteado em 1824. Nesta época as construções na Inglaterra eram com pedras de cor acinzentadas, originárias ao sul do país, na ilha de Portland. Pela semelhança na cor e dureza, Joseph patenteou sua descoberta com o nome de cimento Portland (AMBROZEWICZ, 2012, p. 76).

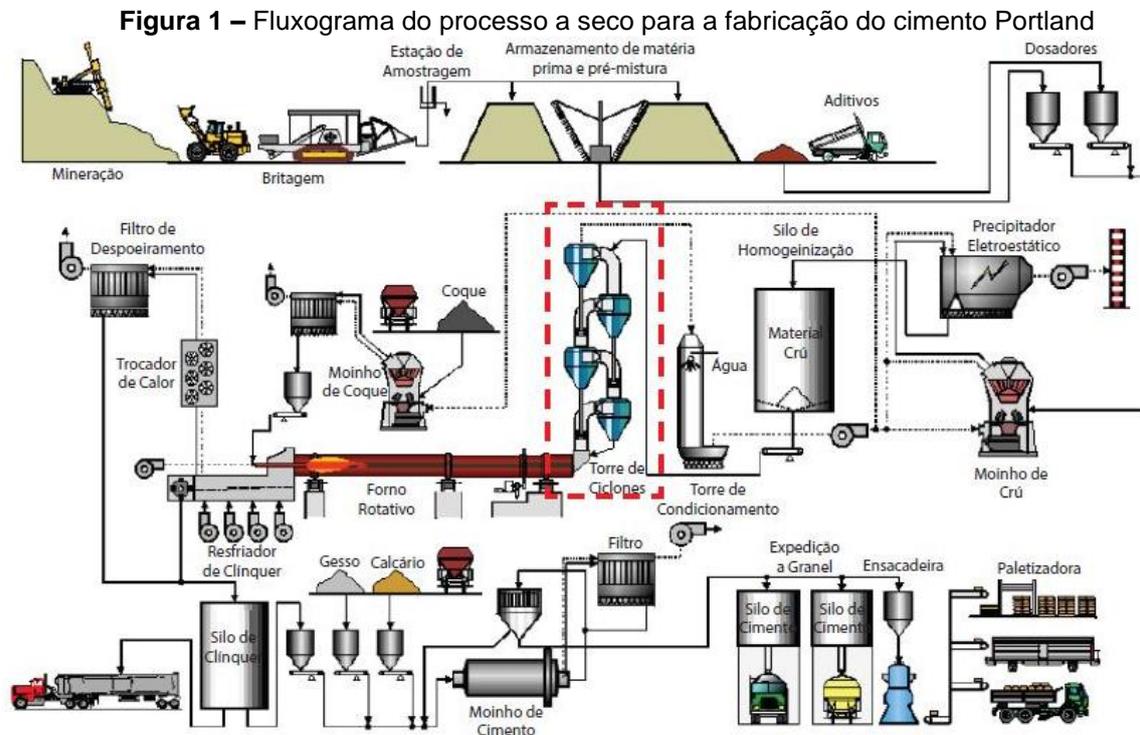
O cimento Portland é um cimento hidráulico (resistente à água para aplicações estruturais), formada por uma substância sílico-calcária que é produzida pela pulverização dos *clinkers* ou clínqueres³ (Figura 1). A principal função do cimento é provocar reações químicas no concreto, propiciando coesão e endurecimento da mistura (BORGES, 2010, p. 11).

De acordo com Metha e Monteiro (2014, p. 218):

A etapa principal do processo é a operação de clinquerização realizada em um forno rotativo, que consiste em um cilindro de aço inclinado revestido com tijolos refratários. A farinha pré-aquecida e parcialmente calcinada entra pela extremidade superior do forno em rotação contínua e é

³ Nódulos de 5 a 25 mm de diâmetro de material sinterizado que é produzido quando uma mistura de matérias-primas é aquecida sob altas temperaturas.

transportada para a parte inferior a uma velocidade controlada pela inclinação e velocidade de rotação do forno. Carvão pulverizado, óleo, ou gás combustível é injetado pela extremidade inferior da zona de calcinação, onde temperaturas de 1450 a 1550 °C podem ser atingidas e as reações químicas envolvendo a formação dos compostos do cimento Portland são completadas.



Fonte: Brancão, L. O. Fluxograma de fabricação do cimento Portland. Blog: BLOG DO CIMENTO, 2015. Disponível em: <http://blogdocimento.blogspot.com/2015/09/fluxogramas-de-fabricacao-de-cimento.html>. Acesso em 04 jun. 2019.

Assim que ocorrer a mistura da água com o cimento, é gerado liberação de calor. Por isso esta reação, conhecida como sendo exotérmica, eleva a temperatura da massa (PINHEIRO; CRIVELARO, 2016, p. 63).

No Brasil temos oito opções de cimento que atendem aos mais variados tipos de obra com igual desempenho, segundo norma da ABNT NBR 16697:2018. Estão diferenciados pela proporção de clínquer e sulfatos de cálcio, material carbonático e de adições como escória, pozzolanas e calcário (ISAIA, 2017, p. 767).

Segundo Pinheiro e Crivelaro (2016):

- a) Cimento Portland comum (CP I) ou com adição (CP I-S);
- b) CP II – Cimento Portland composto:
 - CP II-Z – Cimento Portland composto com pozzolana;
 - CP II-E – Cimento Portland composto com escória;

- CP II-F – Cimento Portland composto com fíler⁴.
- c) CP III – Cimento Portland de alto forno;
- d) CP IV – Cimento Portland pozzolânico;
- e) CP V-ARI – Cimento Portland de alta resistência inicial;
- f) CP-RS – Cimento Portland resistente a sulfatos;
- g) BC – Cimento Portland de baixo calor de hidratação;
- h) CPB – Cimento Portland branco.

O processo de endurecimento do material por hidratação é a principal propriedade química do cimento, se desenvolvendo basicamente na dissolução da água, precipitações de cristais e gel com hidrólises e hidratações dos componentes do cimento (BAUER, 2013, p. 46).

Neste trabalho, para a moldagem dos corpos de prova, foi utilizado o cimento Portland CP V-ARI. A escolha por este tipo específico de material é que na produção do clínquer deste cimento possui uma dosagem diferenciada de argila e calcário, além de uma moagem mais fina do cimento, o que reage mais facilmente com a água adquirindo elevadas resistências logo nos primeiros dias de aplicação. Segundo o fabricante: “É largamente utilizado em produção industrial de artefatos, onde se exige desforma rápida” (CIMENTO.ORG, 2010).

Seus índices recomendados pela ABNT estão descritos na Tabela 1

Tabela 1 – Dados das propriedades físicas do cimento CP V-ARI segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT

Propriedades Físicas	Especificações da ABNT dos índices recomendados	
Blaine (cm ² /g)	≥ 3000	NBR NM 76
Tempo de início de pega (h:min)	≥ 1,0	NBR NM 65
Tempo de fim de pega (h:min)	≤ 10,0	NBR NM 65
Finura na peneira # 200 (%)	≤ 6,0	NBR 11579
Finura na peneira # 325 (%)	–	NBR 9202
Expansibilidade a quente (mm)	≤ 5,0	NBR 11582
Consistência normal (%)	–	NBR NM 43
Resistência à compressão 1 dia (MPa)	≥ 14,0	NBR 7215
Resistência à compressão 3 dias (MPa)	≥ 24,0	NBR 7215
Resistência à compressão 7 dias (MPa)	≥ 34,0	NBR 7215
Resistência à compressão 28 dias (MPa)	–	NBR 7215

Fonte: CIMENTO.ORG. CP V-ARI – Cimento Portland de alta resistência inicial. Brasília, 2010.
Disponível em: <https://cimento.org/cp-v-ari-cimento-portland-de-alta-resistencia-inicial/>

⁴ Matéria-prima obtida através da moagem fina de calcário, basalto e materiais carbonáticos.

2.1.2 Agregados

Agregado é um material sem volume ou forma definida, granular, de atividade química geralmente inerte. É utilizado na produção de argamassa e concreto, e seu custo é relativamente baixo (AMBROZEWICZ, 2012, p. 38).

Aproximadamente 75 % do volume do concreto são ocupados por agregados, o que demonstra a importância da qualidade destes materiais. Os agregados naturais são formados pelo intemperismo e desgaste de grandes blocos de rocha, o que justifica estes materiais apresentarem propriedades e características das rochas. Estas propriedades influenciam na qualidade do concreto fresco e endurecido (NEVILLE; BROOKS, 2013, p. 41).

Os agregados minerais naturais constituem a classe mais importante de agregados para a produção de concreto com cimento Portland. Aproximadamente metade do total de agregados graúdos utilizados nos Estados Unidos se constitui de pedregulho; o restante é, na maioria, oriundo de rocha britada. As rochas carbonáticas respondem por cerca de 2/3 dos agregados britados; arenito, granito, diorito, gabro e basalto compõem o restante. A areia de sílica natural é predominantemente utilizada como agregado miúdo, mesmo na maioria dos concretos leves. Agregados minerais naturais derivam de rochas de vários tipos, e a maioria das rochas é composta de vários minerais (MEHTA; MONTEIRO, 2014, p. 276).

Areia natural (agregado miúdo)

A areia é um elemento inconsolidado com diâmetros limites entre 4,8 mm até 0,075 mm. É um material extraído de jazidas de rio, jazidas de cava, jazidas de dunas e praias (AMBROZEWICZ, 2012, p. 44).

A areia é um agregado miúdo utilizada na construção civil, por isso precisa ter grãos formados por materiais consistentes, não necessariamente quartzosos (BAUER, 2013, p. 79).

A areia preenche os espaços vazios deixados pelos agregados graúdos. Em geral tem a mesma origem natural que os agregados graúdos, e possui um formato mais arredondado de tanto rolar (BOTELHO; MARCHETTI, 2013, p. 221).

A NBR 7211:2009 classifica as areias em 4 faixas, denominadas muito fina, fina, média e grossa. Se manuseada de forma correta, pode aumentar sua densidade aparente através do rearranjo da distribuição dos grãos, caracterizando uma maior compacidade deste material. Com relação aos ensaios, usa-se como padrão de comparação uma areia que, além de curva granulométrica bem definida,

satisfaça às exigências quanto a impurezas conforme NBR 7214:2015 (BAUER, 2013, p. 82).

O agregado miúdo utilizado neste estudo foi areia natural. A justificativa para a escolha deste material foi à facilidade de se encontrar o produto nas principais lojas de material de construção, sem a necessidade de qualquer outro aditivo e/ou processo de preparo dele, como o peneiramento e secagem em estufa.

Pedra ou Brita (agregado graúdo)

A pedra ou brita é um agregado decorrente da decomposição ou fragmentação controlada da rocha maciça, encontrada em jazidas (BAUER, 2013, p. 64).

A extração da brita através da mineração de rochas não traz grandes danos ambientais, quando comparadas com a extração de minerais metálicos. Para a perfuração da rocha é utilizada perfuratrizes hidráulicas e, no desmonte, explosivos ou emulsão bombeada (PINHEIRO; CRIVELARO, 2016, p. 59).

A brita 1 pode ser encontrada facilmente nas lojas de material de construção e é classificada comercialmente entre os limites granulométricos de 9,5mm a 19,0mm (AMBROZEWICZ, 2012, p. 46), embora a norma da ABNT NBR 7225:1993 classifica a pedra britada nº 1 nos limites granulométricos entre 1,8 mm e 12,5 mm (BAUER, 2013, p. 67).

A pedra britada se caracteriza por diversos tamanhos de grãos e é subdividida em diferentes faixas granulométricas conforme as normas da ABNT NBR 5564:2014 e NBR 7211:2009 (BAUER, 2013, p. 66).

“A brita é o agregado industrializado mais utilizado na construção civil”, podendo ser aplicada em concreto de cimento Portland, aterros e drenos, lastro de estradas de ferro, pavimentos rodoviários, enrocamentos⁵, correção de solos, entre outros (AMBROZEWICZ, 2012, p. 45 e 47).

A escolha por este tipo de material, nos estudos deste presente trabalho, foi que a brita 1 é a pedra britada mais utilizada no concreto de cimento Portland, em geral, por possuir propriedades físicas bem características como a resistência alta à compressão e à abrasão.

⁵ Maciço de pedras jogadas ou arrumadas para proteger estruturas e aterros de solo da erosão.

2.1.3 Água de amassamento

A água é usada em diversos tipos de serviços na engenharia, mas de maneira geral este líquido não é visto como um material de construção. A água não é incluída na composição dos custos dos serviços, mas é tratada como componente de argamassas e concreto e como ferramenta de limpeza, resfriamento e cura do concreto (AMBROZEWICZ, 2012, p. 102).

Os sais solúveis presentes na água podem causar eflorescência⁶ nos revestimentos e acelerar a pega da argamassa. A água do mar contém alto teor destes sais e outras substâncias nocivas, por isso não se pode empregar nas misturas. O ideal mesmo é a água potável da rede pública de abastecimento e ficar atento à norma da ABNT NBR 15900-1:2009, no caso de utilizar água não tratada nas argamassas e no concreto (ISAIA, 2017, p. 963).

“Aumentando um pouco o teor de água de uma mistura dos outros componentes, ganhamos na trabalhabilidade do concreto, mas perdemos na resistência e durabilidade”. As dosagens do concreto determinam e fixam as proporções a serem usadas de agregados (miúdo e graúdo), água e cimento. Limitar o máximo de líquido utilizado na relação água/cimento garante durabilidade e trabalhabilidade da mistura, mantendo o f_{ck} na medida necessária utilizada na construção (BOTELHO; MARCHETTI, 2015, p. 54).

2.1.4 Aditivos

A norma ASTM C 125-19 define aditivo como qualquer material (exceto água, agregados, cimento hidráulico ou fibra) usado como ingrediente do concreto que é adicionado antes ou durante a mistura.

De acordo com Andolfato (2002), “Os aditivos para concreto são em geral explorados comercialmente por fabricantes especializados, cujos catálogos contêm informações pormenorizadas sobre seu melhor emprego.”

As normas NBR 11768 e a ASTM C494-10 especificam os requisitos dos aditivos químicos destinados ao concreto de cimento Portland.

Os aditivos plastificantes e superplastificantes podem constituir maior fluidez no seu manuseio, sem perder a resistência do concreto. Existem ainda aditivos

⁶ Manchas de sais precipitados na superfície dos revestimentos, contribuindo para sua desagregação.

retardadores de pega (transportes do concreto à grande distância), aditivos aceleradores de pega (endurecimento rápido do concreto, que melhora o seu tempo de desforma), aditivos impermeabilizantes (locais úmidos ou imersos – pilares de pontes), entre outros (BOTELHO; FERRAZ, 2018, p. 192).

Os tensoativos (surfactantes⁷) são os aditivos usados como incorporadores de ar e redutores de água, que aumenta a consistência da mistura sem adição de cimento ou água, atingindo resistências à compressão mais altas logo nas primeiras idades após a mistura (MEHTA; MONTEIRO, 2014, p. 308).

Outros tipos de aditivos estão sendo utilizados para obtenção de propriedades específicas do concreto nos dois estados, fresco e endurecido.

A adição de resíduos de poli (tereftalato de etileno) diminuiu a resistência à compressão mecânica do concreto, em relação ao padrão. Porém este material com aditivo PET pode ser aplicado na Construção Civil na fabricação de artefatos não estruturais (MODRO et al., 2009).

A cinza de casca de arroz, produzido pela queima da palha de arroz por combustão controlada em fornos, contem grande proporção de minerais de sílica não cristalina e em uma microestrutura celular. Este mineral conduz a efeitos benéficos nas propriedades do concreto principalmente na durabilidade das misturas de cimento Portland, muito semelhante à sílica ativa (MEHTA; MONTEIRO, 2014, p. 341).

Os resíduos de borracha de pneus foram adicionados à mistura de cimento Portland CP V-ARI, areia, pedrisco, aditivo (Rheomix 610-Lubricrete) e água para fabricação de blocos de concreto com função estrutural utilizáveis em alvenaria, o que demonstra ser um material viável para construção civil reutilizando borracha descartada no meio ambiente (FIORITI; AKASAKI, 2004, p. 156).

Segundo Helene (1992, p. 28), “Considera-se como aditivo todo produto adicionado até o máximo de 5 % em relação à massa de cimento. Acima dessa porcentagem deve ser considerado como adição e ter tratamento distinto.”

O aditivo utilizado neste estudo foi o substrato de cogumelo *Lentinula edodes*. A escolha justificativa pela escolha do substrato foi à facilidade de se encontrar este material devido ao seu grande volume de descarte, gerando impacto ambiental e à saúde.

⁷ composto de moléculas orgânicas de cadeia longa.

2.2 Shiitake e seu substrato

O Shiitake (*Lentinula edodes*) é um cogumelo comestível nativo do leste da Ásia. A espécie é o segundo cogumelo comestível mais consumido no mundo. Seu nome de origem japonesa significa *shii* (uma árvore parecida com carvalho) e *take* (cogumelo) (FLORIOS, 2016).

O Shiitake é um basidiomiceto (fungo) pertencente ao grupo dos saprófitas lignocelulolíticos. Este fungo converte resíduos agroindustriais em cogumelos gastronômicos e com importância funcional. “O basidiomiceto *Lentinula edodes* tem sua atividade enzimática relacionada, principalmente, ao tipo de resíduo agroindustrial utilizado como substrato (BUSWELL; CHANG, 1993 apud REGINA et. al, 2009).

A possibilidade de usar resíduos agroindustriais, como fonte de produção para cogumelos, gera oportunidade de reciclagem, conseqüentemente, benefícios ao ambiente. Desta forma, outras técnicas de cultivo são aplicadas, na tentativa de otimizar o tempo do processo de formação de basidiomas, baseando-se na experiência adquirida com o cultivo de outros cogumelos comestíveis e testando diversos substratos, à base de resíduos agroindustriais (GOMES-DA-COSTA; COIMBRA; SILVA, 2008).

A produção do Shiitake é realizada através da formulação de substratos lignocelulósicos – prensagem de resíduos agroindustriais como a palha de arroz, capins, serragens e cascas de eucalipto – que são muitas vezes enriquecidos com sais minerais. O resultado é a formação de pequenos blocos que são inoculados com o fungo, fazendo com que este material seja colonizado através do desenvolvimento do micélio pela degradação da própria madeira e outros nutrientes presentes (AZEVEDO, 2000).

O substrato vai perdendo nutrientes, forma e volume, conforme irá cultivando os cogumelos, que são extraídos um a um assim que atingem o tamanho ideal para consumo. O substrato produz cogumelo Shiitake por volta de cinco meses, segundo Iwao Akamatsu da empresa Yuri Cogumelos, Brasil.

A biomassa residual proveniente do pós-cultivo do cogumelo Shiitake é o subproduto denominado SMS (*Spent Mushroom Substrate*), material rico em carboidratos, proteínas microbianas, enzimas e bioativos, caracterizando-o como um subproduto com grande potencial de aplicação na área biotecnológica (SIQUEIRA et al., 2015).

O Shiitake passa a maior parte do seu ciclo de vida na forma de micélio secundário. Neste estágio vegetativo o micélio coloniza e decompõe a madeira, secretando enzimas que hidrolisam os materiais existentes na madeira que, de outra forma, seriam insolúveis. Isto acontece com a celulose e hemiceluloses que se transformam em açúcares simples que são absorvidos pelas células, sendo estas as principais fontes de carbono e de energia para o Shiitake (MATHEUS; OKINO, 1998 apud ANDRADE, 2007).

Os substratos do cogumelo *Lentinula edodes* apresentam baixos teores de nitrogênio, necessitando por diversas vezes de uma suplementação para aumentar a colonização do fungo no substrato, como “uréia agrícola, esterco bovino e farelo de cereais (MINOTTO, 2009; PEDRA e MARINO, 2006 apud PERES et al., 2018).

A reciclagem do SMS é uma alternativa bastante adequada, principalmente em termos ambientais. Podendo este, depois que encerrar a produção do Shiitake, ser utilizado como camada de cobertura orgânica de solos, ter na sua queima geração de energia elétrica nas próprias fazendas de cultivo do cogumelo *Lentinula edodes*, ou ainda ser descartado em lixões conforme Figura 2 (SIQUEIRA et al., 2015).

Figura 2 – Ilustração do descarte da biomassa SMS após produção do cogumelo Shiitake



Fonte: Elaboração própria

“Os resíduos de madeira e sabugos de milho quando queimados em locais inadequados poluem o ar e as sobras do processo de queima contaminam o solo e a água” (IBGE, 2006; OKANO et al., 2006; FERREIRA-LEITÃO et al., 2010 apud BENTO; CASARIL, 2012).

2.3 Reutilização do substrato

No intuito do aproveitamento e reciclagem de matérias-primas provenientes de produtos agroindustriais, o SMS (*Spent Mushroom Substrate*) gerado de uma ou mais colheitas tem sido objeto de vários estudos em países como China, Estados Unidos e Holanda, evitando assim o descarte desse material de forma inapropriada (FONSECA et al., 2017).

Em lugares onde as legislações ambientais são mais rigorosas, o SMS passa por um processo de esterilização ou pasteurização, encarecendo ainda mais o processo de descarte. O custo estimado de descarte do SMS nos Estados Unidos é de 7 milhões de dólares anualmente, sendo a reciclagem deste material uma alternativa adequada em termos econômicos e ambientais (SIQUEIRA et al., 2015).

Vários estudos foram realizados para a reutilização do substrato de Shiitake pós-cultivo, como mostra a seguir:

- O resíduo de cultivo do Shiitake (RCS) seco, no processo de pirólise na temperatura de 350 °C por conversão termoquímica, forma o biocarvão (BC350) com grande potencial energético mediante à menor quantidade de cinzas e maior quantidade de materiais voláteis, carbono fixo, poder calorífico e rendimento gravimétrico. “O RCS apresentou características que permitiram concluir que esse resíduo possui um grande valor para ser utilizado como um potencial recurso para a geração de bioenergia” (VIOTTO, 2016);

- O RCS pode ser incluído em diferentes níveis na ração de aves. Este resíduo pode ser adicionado na alimentação dos frangos de corte e de galinhas poedeiras comerciais em até 2 %, não afetando a qualidade dos ovos e desempenho. Pode ser incluído na dieta dos frangos de corte entre 0,15 e 0,30 %, sem diminuição de desempenho. “A utilização do RCS é indicada, como alternativa para descarte correto deste resíduo, reduzindo assim, o impacto ambiental” (FERREIRA NETTO, 2018);

- O bloco de substrato com aditivos e nutrientes, decorrente de resíduos agrícolas, é utilizado como uma alternativa biotecnológica no processo de fermentação submersa para a produção de inoculantes em grãos. Assim, este processo “possibilitou a produção de um inoculante em alginato de cálcio de qualidade em menor tempo que o inoculante tradicional, com viabilidade alta,

utilizando aditivos para preparar o metabolismo fúngico e com grande potencial para produção” (TARGHETTA, 2015);

- No cultivo dos tomates é utilizado um elicitador⁸ por meio de frações polissacarídicas, obtidas a partir de basidiocarpos descartados da produção do cogumelo *Lentinula edodes* (PSHII), com o intuito de controlar as manchas bacterianas presentes nesta planta. Este elicitador obteve indícios de ação sobre as manchas com a redução das colônias do patógeno, muito devido ao potencial antioxidante. “O estudo traz informações de apelo sustentável para o uso de polissacarídeos obtidos a partir de resíduos de origem fúngica, capazes de conferir proteção em cultivares de tomateiro contra a mancha” (AGUIAR, 2016);

- O SMS é usado na agricultura como substrato para cultivo de micro-organismo solubilizante de fósforo, produzindo um biofertilizante que melhora o crescimento de soja (SIQUEIRA et al., 2015).

Na área médica, resultados positivos foram verificados com a utilização de *L. edodes* no combate a patógenos humanos, e também na ativação do sistema imunológico e na melhora de problemas de saúde como o colesterol, a asma e a úlcera. Entre as substâncias caracterizadas, destaca-se a lentinana, uma β -glucana isolada do basidiocarpo por extração aquosa. A lentinana possui a capacidade de recuperar ou aumentar a resposta das células hospedeiras a substâncias biologicamente ativas, por estimular a maturação, diferenciação ou proliferação de células envolvidas nos mecanismos de defesa, aumentando a resistência do hospedeiro contra vários tipos de câncer e doenças infecciosas (PICCININ; DI PIERO; PASCHOLATI, 2010).

⁸ Molécula ligada às proteínas receptoras presentes nas membranas celulares das plantas, para reduzir os danos e aumentar a resistência a pragas, doenças ou estresse ambiental.

3 OBJETIVO

OBJETIVO GERAL

Avaliar a aplicação do substrato de cultivo de cogumelo *Lentinula edodes* como aditivo do concreto com cimento Portland na construção civil.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar a constituição química do substrato de cultivo de cogumelo *Lentinula edodes*, pela técnica de Fluorescência por Raio-X;
- Avaliar os corpos de prova usando *Design of Experiments (DoE)* como método multivariado para estudar os efeitos dos fatores, concentração do substrato e tipo de concreto, sobre resistência à compressão mecânica dos corpos de prova ao longo do tempo, assim como avaliar a absorção de água por eles;
- Avaliar estatisticamente os resultados do trabalho.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Todas as metodologias utilizadas neste presente trabalho foram realizadas nos laboratórios técnicos específicos, em diferentes Instituições. Na Universidade de Sorocaba (UNISO), sede Cidade Universitária, contemplada pelo Laboratório de Materiais de Construção, Núcleo de Estudos Ambientais (NEAS), Laboratório de Física Nuclear Aplicada da Universidade de Sorocaba (LAFINAU). No Laboratório de Nanotecnologia da Universidade de Sorocaba (LABNUS), sede Parque Tecnológico. No Laboratório de Solos, Laboratório de Concreto e Laboratório de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP), campus Itapetininga.

4.1 Obtenção do substrato

Os blocos de substrato para cultivo do cogumelo *Lentinula edodes* (Shiitake), utilizados neste estudo, foram produzidos pela Empresa Yuri Cogumelos Ltda., na cidade de Sorocaba-SP.

Vinte e sete blocos de substrato foram utilizados em três diferentes estágios de cultivo: 9 blocos inoculados que se encontram prontos para início de produção e são encaminhados para produtores (SIP), identificados pelo lote 983 (11/02/2017), lote 985 (25/02/2017) e um terceiro lote sem identificação e data desconhecida; 9 blocos inoculados que por alguma razão desconhecida não serão capazes de produzir (SSP), nomeados na empresa como “blocos suspeitos”, identificados pelo lote 981 (21/01/2017), lote 979 (14/01/2017) e um terceiro lote sem identificação e data desconhecida; 9 blocos inoculados em final de produção (SFP), com 10 semanas em média da data de inoculação com o esporo do fungo, sem identificação dos lotes.

Os blocos tipos SSP e SFP são os geradores de descartes. Após a coleta dos blocos descartados, os mesmos foram pesados em balança de precisão (Urano, mod. US 20/2 POP-S), medidos com trena metálica de 5 m (Starrett) e devidamente etiquetados com fita crepe da 3M[®].

Para interromper a produção do Shiitake nos blocos de substratos, foi necessária a realização do estresse térmico onde a temperatura do local de

armazenamento destes blocos foi controlada e aumentada, conforme mostrado na Figura 3.

Figura 3 – Blocos de substrato durante ensaio de estresse térmico



Fonte: Elaboração própria

Para avaliação do estresse térmico foi utilizada a exposição à temperatura ambiente durante 14 dias (máxima de 30 °C e umidade relativa do ar média de 52 %, protegido de chuva e sereno); desidratação a 50 °C durante 30 min e 150 °C durante 120 min em estufa para secagem e esterilização (Deleo). Em seguida houve desidratação a 40 °C durante 144 h em estufa com circulação e renovação de ar (Marconi, mod. MA035). Os blocos de substratos foram novamente pesados, antes e após o término do estresse térmico, na balança de precisão (Micheletti, mod. MIC-15), para verificação da quantidade de umidade perdida com o acréscimo de temperatura.

Os blocos foram armazenados, após este processo, em local seco e limpo para a retirada das quantidades necessárias no ensaio mecânico (resistência à compressão) e nos ensaios físicos (Fluorescência por Raios-X e absorção de água).

Os blocos foram triturados manualmente e moídos no moinho de bolas (*made in house*) durante 3 h, conforme Figura 4.

Depois os substratos moídos foram peneirados na peneira n.8 (malha com abertura de 2,36 mm conforme classificação ABNT NBR NM ISO 3310-1:2010), para homogeneidade da granulometria, e retirada de materiais que não foram moídos, e pesados na balança de precisão (Urano, mod. US 20/2 POP-S), conforme Figura 5. Os blocos de substrato moídos foram embalados, lacrados e identificados individualmente.

Figura 4 – Moagem do substrato no moinho de bolas



Fonte: Elaboração própria

Figura 5 – Ensaio de tamisação para padronização do tamanho de partícula dos substratos



Fonte: Elaboração própria

4.2 Resistência à compressão dos blocos de substrato

Como teste preliminar qualitativa, vinte e sete blocos de substratos foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão (Figura 6) em prensa manual (Ribeiro, mod. P30T), e em prensa eletro hidráulica (Viatest, mod. VC-715). Os

materiais ensaiados foram identificados e armazenados em local adequado para posterior utilização.

Figura 6 – Deformação do bloco de substrato após ensaio de compressão



Fonte: Elaboração própria

4.3 Análise elementar das amostras de substrato

Um bloco de cada tipo de substrato (SIP, SSP e SFP) foi escolhido, aleatoriamente, para separar suas amostras em duas embalagens diferentes e posterior análise elementar no equipamento Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva (EDXRF) (Amptek, Bedford MA, U.S.A.). Sendo este um sistema compacto composto por um detector de silício (Silicon Drift Detector), com 25 mm² de área por 500 µm de espessura e protegido por uma janela de 12,5 µm de Berílio. A fonte de Raios-X usada na excitação das amostras consiste em um minitubo de Raios-X, que opera com tensão e corrente máximas de 30 kV e 5 µA, respectivamente. O tubo de Raios-X utiliza alvo de Ag. Os softwares utilizados na

aquisição e análise dos dados de fluorescência foram o Dpp MCA (Versão: 1.0.0.12, www.amptek.com) e XRF-FP (Versão: 5.2.9, www.amptek.com), respectivamente.

As medidas de fluorescência foram realizadas na superfície das amostras. O sistema de fluorescência foi calibrado usando-se padrões contendo quantidades conhecidas dos elementos de interesse, além da moldagem também dos corpos de prova com concreto.

Todo o processo de preparo das amostras é mostrado na Figura 7, onde uma massa de 300 mg das amostras distintas foi transferida para o pastilhador (molde) (Figura 7a), promoveu-se o vácuo no pastilhador e prensou-se a 90 kN por 10 min (Shimadzu, Kobe, Japan) (Figura 7b) e posteriormente desformadas do molde. As pastilhas foram mantidas sob vácuo em dessecador até o momento da análise. O ácido bórico foi triturado em gral e pistilo (Figura 7c), a pó fino, pesado em balança analítica e reservado em estufa a 80 °C (Figura 7d), resultando 300 mg de ácido bórico para cada pastilha que foi utilizada como linha base para as análises.

Foram moldadas 4 pastilhas (Figura 7e), sendo 2 amostras do tipo SFP, 1 amostra do tipo SIP e 1 amostra do tipo SSP.

Figura 7 – Imagens da moldagem das pastilhas para posterior ensaio de Fluorescência por Raios-X



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Fonte: Elaboração própria

4.4 Preparação dos corpos de prova de concreto

4.4.1 Cimento Portland

O cimento Portland CP V-ARI, utilizado nos ensaios de moldagem dos corpos de prova, foi comprado em uma loja que segue criteriosamente a NBR 16697:2018 sobre as especificações de armazenamento e estocagem das embalagens de cimento. O material estava dentro do prazo de validade e foi utilizado no mesmo dia da compra não sendo necessário seu armazenamento no laboratório. A sobra da embalagem foi doada para o mesmo laboratório e utilizada em outro trabalho da Instituição.

A composição química e as propriedades do material, anotados na embalagem, são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Propriedades e características químicas do cimento Portland CP V-ARI segundo dados fornecidos pelo fabricante

Composição química	Porcentagem (%)
Óxido de Silício – SiO ₂	17,64
Óxido de Alumínio – Al ₂ O ₃	4,52
Óxido de Ferro – Fe ₂ O ₃	2,70
Óxido de Cálcio – CaO	59,43
Óxido de Magnésio – MgO	6,32
Trióxido de Enxofre – SO ₃	2,94
Óxido de Potássio – K ₂ O	1,03
Óxido de Sódio – Na ₂ O	0,28
Cloretos – Cl ⁻	0,01
Anidrido Carbônico – CO ₂	2,34
Cal livre	0,69
Propriedade	Valor
Fator de saturação da Cal	105,2
Módulo de Sílica	2,4
Módulo de Alumina	1,7
Perda ao fogo	3,33 %
Resíduo insolúvel	0,93 %

Fonte: Cimento Liz (2017)

4.4.2 Moldagem dos corpos de prova

A preparação dos corpos de prova foi realizada conforme norma ABNT NBR 5738:2016 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.

Foram confeccionados 10 corpos de prova em formato cilíndrico de 100 x 200 mm para cada variação estudada neste programa experimental.

Como os materiais estavam armazenados em local aberto sujeito às chuvas e intempéries, e no intuito de eliminar a presença de umidade dos agregados que poderia interferir na relação água/cimento do traço definido, todos eles foram secos em estufa com circulação e renovação de ar (Marconi, modelo MA035), a uma temperatura de $105 (\pm 5) ^\circ\text{C}$ até atingir massa constante, conforme Figura 8. Embora não sendo necessário no caso da areia devido às suas propriedades, conforme comentado no item 2.1.2.

Figura 8 – Secagem dos agregados em estufa de circulação de ar para eliminar a umidade dos materiais



Fonte: Elaboração própria

Após a secagem em estufa, os agregados foram resfriados naturalmente até atingirem a temperatura ambiente. Depois disso, já prontos para utilização, os materiais foram armazenados separadamente em um local seco e seguro próximos ao local de uso.

Para preparo dos corpos de prova, foram utilizados 2 traços de concreto medidos em massa (1:1,5:2,2 e 1:2:3). Para cada traço de concreto foram utilizadas 3 dosagens diferentes de aditivo, com 0 %, 1 % e 5 %, conforme mostrado na Tabela 3, sempre em função da quantidade de cimento. Foi preparado ainda o concreto com mesmo traço 1:1,5:2,2 sem aditivo, mas com alteração do fator água/cimento para verificação da resistência à compressão do material, sobre influência da quantidade de água na mistura.

Tabela 3 – Quantidade de materiais nos diferentes traços de concreto para moldagem dos corpos de prova

Traço em volume	Cimento (kg)	Areia (kg)	Pedra (kg)	Relação a/c	Aditivo (kg)	Numeração dos corpos de prova
1:1,5:2,2	8,00	12,00	17,60	0,47	0,00	101 ao 110
1:1,5:2,2	8,00	12,00	17,60	0,51	0,40	111 ao 120
1:2:3	7,00	14,00	21,00	0,55	0,00	121 ao 130
1:2:3	7,00	14,00	21,00	0,55	0,35	131 ao 140
1:1,5:2,2	8,00	12,00	17,60	0,51	0,00	141 ao 150
1:2:3	7,00	14,00	21,00	0,55	0,07	151 ao 160
1:1,5:2,2	8,00	12,00	17,60	0,51	0,08	161 ao 170

Fonte: Elaboração própria

Todos os materiais utilizados na moldagem dos corpos de prova foram separados e pesados individualmente em balança de precisão (Marte, LS200). As fôrmas cilíndricas receberam óleo desmoldante em seu interior para facilitar a desforma do corpo de prova depois de curado.

Para a fabricação do concreto, foi utilizada uma betoneira (Motomil, MB-400L Super) na mistura de todos os materiais e da quantidade ideal de água de amassamento, além do aditivo (substrato de Shiitake).

Foi iniciado o processo da mistura com a imprimação (nata de cimento) por um período de 1 min. Em seguida, o agregado graúdo foi lançado à betoneira com a adição de 50 % da água de amassamento por 3 min e, depois de transcorrido este tempo, foi adicionado o agregado miúdo misturando-se por mais 3 min. Por fim, foi incorporado o cimento, lançando-se os 50 % restantes da água de amassamento. O concreto permaneceu em processo de mistura na betoneira por mais 5 min, formando-se uma massa homogênea, conforme prescreve a norma técnica da ABNT NBR 12655:2015.

Após o término da mistura, foi realizado o *slump test* (abatimento de cone, ensaio para verificação da consistência do concreto fresco), com os equipamentos descritos na norma da ABNT NBR NM 67:1998.

Os corpos de prova foram moldados, identificados e armazenados em local seco e seguro para serem curados (Figura 9). Devido à grande quantidade de corpos de prova a serem utilizados, foram necessários dois modelos diferentes de moldes, pois o laboratório não tinha a quantidade necessária para um único modelo.

Figura 9 – Identificação e cura dos corpos de prova



Fonte: Elaboração própria

Conforme NBR 5738:2016, após 24 h decorrentes da moldagem dos corpos de prova, os mesmos foram cuidadosamente retirados das fôrmas e armazenados imersos no tanque em água saturada de cal (Figura 10).

Após a desforma, todos os moldes foram levados em área externa para retirada com uma espátula do excesso de concreto endurecido, presente na base e nas bordas. O processo foi realizado manualmente e com muito zelo para não danificar o molde. Depois foram lavados com água corrente e sabão, secos com pano limpo e armazenados no laboratório para posterior utilização.

Figura 10 – Armazenamento dos corpos de prova em tanques de imersão



Fonte: Elaboração própria

Os corpos de prova se mantiveram constantes no tanque de água durante todo o período de estudo, sendo retirados da imersão apenas para realização dos ensaios de resistência à compressão e de absorção de água.

4.5 Delineamento experimental

4.5.1 Ensaio de resistência à compressão mecânica

O ensaio de resistência à compressão mecânica foi realizado conforme a norma da ABNT NBR 5739:2018 – Concreto – Ensaio de compressão em corpos de prova cilíndricos.

Os corpos de prova foram retirados da imersão em tanque apenas quando os ensaios foram realizados, conforme Figura 11, os quais aconteceram em ordem aleatória para evitar ocorrência de distorção estatística nos resultados.

Para este ensaio foi utilizada uma prensa mecânica hidráulica (Emic, GR045) com célula de carga de 2000 kN, como mostra a Figura 12.

Esta prensa mecânica hidráulica verifica a máxima resistência à compressão que o material ensaiado pode obter antes de ocorrer a sua ruptura.

Figura 11 – Corpos de prova recém retirados do tanque de imersão e prontos para ensaio de resistência à compressão mecânica



Fonte: Elaboração própria

Figura 12 – Prensa mecânica hidráulica em funcionamento durante ensaio à compressão dos corpos de prova



Fonte: Elaboração própria

Os corpos de prova podem apresentar pequenas imperfeições na sua superfície da base e topo, seja pelo armazenamento dos moldes em regiões irregulares durante o processo de cura, seja pela presença de materiais graúdos na superfície, seja pelo arremate do concreto na superfície do molde com ferramentas incorretas no momento da moldagem, ou até mesmo decorrentes de pequenas pancadas que o molde pode sofrer com o concreto ainda fresco no momento da

desforma. Para evitar que os corpos de prova fiquem irregulares (inclinados) na prensa, que pode provocar possíveis desvios nas cargas recebidas e alterações nos valores apresentados, são colocados pequenos discos de espuma em ambas as superfícies do corpo de prova, no intuito de regularizar o componente estudado com a base da prensa distribuindo igualmente a carga sobre toda a área de aplicação.

Para analisar a resistência à compressão dos corpos de prova foi selecionado o planejamento fatorial 2^2 completo em duplicata (Barros Neto *et al.*, 2010) como método multivariado (*Design of Experiments – DoE*). Neste planejamento foram estudados os efeitos dos fatores (concentração do substrato e tipo de concreto) sobre resistência adquirida em 7, 14 e 28 dias após o preparo do corpo de prova.

Como a análise da resistência do corpo de prova é destrutiva, foram necessários 6 unidades para cada parâmetro em estudo, ou seja, ensaio em duplicata para cada data de moldagem.

4.5.2 Ensaio de absorção de água por imersão

O ensaio de absorção de água por imersão foi realizado conforme a norma da ABNT NBR 9778:2009 – Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Neste ensaio foram utilizados 3 corpos de prova para cada dosagem de concreto, totalizando 21 amostras.

Para isso, quando os corpos de prova atingiram 28 dias após a moldagem, foram transferidos do tanque de imersão para a estufa à temperatura controlada de $105 (\pm 5) ^\circ\text{C}$ até a obtenção de uma massa seca constante. Em seguida as amostras foram retiradas, armazenadas em local seco e limpo, e resfriadas naturalmente à temperatura ambiente.

Depois de resfriados, os corpos de prova foram identificados, pesados em balança de precisão (Bel Engineering, mod. M5202) e colocados em um recipiente com nível d'água correspondente a $1/3$ de seu volume imerso nas primeiras 4 h (Figura 13). Em seguida, o nível foi aumentado para $2/3$ do volume das amostras por mais 4 h, sendo totalmente submersos durante 64 h, totalizando 72 h de submersão após o início da primeira imersão neste ensaio.

Figura 13 – Preenchimento de água em 1/3 do volume dos corpos de prova dentro do recipiente para ensaio de absorção de água



Fonte: Elaboração própria

O recipiente com as amostras foi mantido coberto e em local seguro, para que não houvesse interferências nos resultados pela alteração do volume de água através da sua evaporação com a elevação da temperatura ambiente, ou ainda pela incidência de chuva.

Foi verificada a massa de cada corpo de prova na balança de precisão após 4, 8, 24, 48 e 72 h de imersão no recipiente. Em seguida, foi calculada sua absorção de água pela Equação 1:

$$A = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

A = Absorção por imersão (%);

M_s = Massa do corpo de prova seco em estufa (g);

M_{sat} = Massa do corpo de prova saturado (g).

4.6 Análise estatística

Quanto ao *DoE*, os efeitos dos fatores principais e os efeitos de interação foram calculados no software Action Stat 3.1 (ESTATCAMP, 2014), assim como a análise ANOVA, efeito, variância, erro-padrão, erro-padrão de um efeito e teste de independência do modelo, proporcionando dados suficientes para a interpretação dos resultados. Com o erro-padrão podemos construir intervalos de confiança para os valores dos efeitos, usando a distribuição Student (Equação 2):

$$\hat{\eta} - t_v \times s(\text{efeito}) < \eta < \hat{\eta} + t_v \times s(\text{efeito}) \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

η = representa o verdadeiro valor de um efeito, isto é, populacional;

$\hat{\eta}$ = indica a estimativa desse valor obtido no experimento;

t_v = liberdade na distribuição t ;

s = erro-padrão do efeito.

De acordo com esta equação, só consideramos estatisticamente significativo com 95 % de confiança, um efeito cujo valor absoluto for superior a: $t_4 \times s(\text{efeito})$.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Ensaio de compressão dos blocos de substratos

Os vinte e sete blocos de substrato não apresentaram nenhuma resistência no ensaio à compressão, tanto na prensa eletro hidráulica quanto na prensa manual, o que demonstra ser um material muito frágil e altamente deformável, pois com pouca força aplicada sobre eles, os mesmos obtiveram grande deformação plástica.

O bloco de substrato apresenta muitos espaços vazios em seu interior que são ocupados por água. Quando secos estes vazios são preenchidos por ar e no momento que forem submetidos às forças de compressão, as partes sólidas deste bloco preenchem facilmente as partes vazias, fenômeno este conhecido como acomodação das partículas. Ocorreu achatamento do bloco de substrato, conforme observado na Figura 6, demonstrando uma característica elástica do material.

Embora o bloco de substrato apresente maior rigidez depois de seco, ainda assim não obtém resistência à compressão suficiente para sua utilização como estrutura na construção civil.

5.2 Resultados da análise elementar

Os resultados dos ensaios de Fluorescência por Raios-X, foram compilados na Tabela 4 que apresenta as concentrações dos elementos quantificados nas pastilhas da amostra 1 (SSP), amostra 2 (SIP), amostra 3 (SFP) e amostra 4 (SFP). Os resultados completos de cada amostra podem ser observados no Apêndice A.

Pela Tabela 4 verificou-se que a maioria dos componentes químicos da amostra do substrato SSP obteve suas quantidades diminuídas em relação às outras amostras (SIP e SFP). Alguns componentes químicos obtiveram diminuições significativas, como é o caso do cálcio (Ca), silício (Si), fósforo (P) e manganês (Mn). Os blocos improdutivos de substrato não são comercializados com os produtores de cogumelo *Lentinula edodes*, sendo mantidos na empresa para produção própria, ou ainda descartados no meio ambiente juntamente com os blocos de substrato no fim de produção. O tipo de substrato SSP é denominado de “bloco suspeito” pelo seu fabricante, pois a superfície do bloco não foi preenchida na sua totalidade pelo micélio, possivelmente pela contaminação de colônias de bactérias no momento da

sua fabricação. Desta forma, o bloco suspeito de substrato não irá produzir ou produzirá uma quantidade menor de cogumelo Shiitake em relação aos outros blocos de substrato, pois a colônia de bactéria irá consumir boa parte dos componentes químicos presentes no bloco, deixando o Shiitake com escassez de nutrientes, o que prejudicará seu desenvolvimento e produção adequada.

Tabela 4 – Determinação qualitativa e quantitativa de elementos químicos em amostras de substrato de Shiitake

Elemento	Amostra de substrato de Shiitake (Concentração ± erro (ppm))			
	SSP	SIP	SFP	SFP
Ca	1540 ± 38	4496 ± 81	4799 ± 85	4366 ± 79
Fe	406 ± 8	792 ± 11	106 ± 1	54 ± 1
Ti	124 ± 9	69 ± 6	204 ± 11	35 ± 5
Si	655 ± 142	3561 ± 317	6068 ± 374	1413 ± 195
P	1009 ± 72	1730 ± 109	2266 ± 132	1635 ± 91
S	252 ± 68	314 ± 49	321 ± 63	290 ± 40
K	449 ± 21	515 ± 23	685 ± 26	595 ± 23
Mn	58 ± 3	86 ± 3	83 ± 3	104 ± 4
Zn	37 ± 3	60 ± 3	54 ± 3	62 ± 3
Rb	11 ± 2	9 ± 5	7 ± 3	9 ± 6
Bi	116 ± 49	212 ± 45	115 ± 28	146 ± 39
Y	10 ± 2	9 ± 2	6 ± 2	10 ± 2

Fonte: Elaboração própria

Mesmo entre as amostras 3 e 4 do mesmo tipo de substrato SFP, os resultados dos componentes químicos em ambas apresentaram diversificações nas quantidades, o que mostra a ausência de homogeneização na produção dos blocos mesmo utilizando equipamentos avançados na maior parte deste processo.

O manuseio dos blocos nas prateleiras e a hidratação manual sem padronização durante sua produção em câmara refrigerada podem influenciar no crescimento diferenciado do cogumelo Shiitake pela desigualdade na absorção dos componentes entre os blocos. Outro fator que pode interferir na produção do substrato é a sua proximidade com a abertura de portas, trazendo para o interior da câmara refrigerada o calor do ambiente externo, mesmo que de forma momentânea, mas constante durante seu período produtivo. Contudo, é mais relevante a presença qualitativa da composição química que o quantitativo de cada elemento nos blocos de substrato.

Os componentes químicos apresentados na Tabela 4 e suas quantidades nas 4 amostras de substrato, em nada interferem na deterioração de uma armadura qualquer que venha a ser incorporada nestes 2 tipos de concretos e nas

concentrações de aditivos estudadas, sendo mais fácil ocorrer corrosão da armadura por influências externas ao concreto (infiltração, fissuras, maresias, retração, etc).

5.3 Resultados do planejamento fatorial 2² completo em duplicata

5.3.1 Estudo dos resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova

Os resultados de força aplicada (FA) e de resistência física adquirida (RA⁹) dos corpos de prova (CPs), obtidos em 7, 14 e 28 dias após sua moldagem e imersos em água, foram tabulados e são exibidos na Tabela 5.

A adição de 5 % do substrato, em ambos tipos de concreto, obteve uma diminuição significativa nas resistências à compressão mecânica (f_{ck}) quando comparadas aos mesmos concretos sem aditivo, o que tornou o concreto com substrato mais frágil, isto é, rompendo-se com pouca força aplicada sobre ele.

Com a adição de 1 % do substrato, o concreto com traço 1:1,5:2,2 apresentou uma pequena diminuição nos valores de f_{ck} comparado com este mesmo traço sem aditivo. Já no concreto com traço 1:2:3, com o mesmo 1 % de adição do substrato, os valores apresentados foram próximos da resistência à compressão (f_{ck}) deste concreto sem aditivo.

Foi demonstrado que o aumento da quantidade de água no concreto enfraquece a sua resistência à compressão. A relação água/cimento (a/c) da mistura é outro índice que influenciou nos resultados obtidos de resistência à compressão do concreto (f_{ck}), principalmente nos primeiros dias após a moldagem dos corpos de prova. A mistura com menor relação a/c (0,47) obteve valores maiores de f_{ck} nos primeiros dias de moldagem, comparada com a outra mistura (a/c = 0,51) do mesmo traço (1:1,5:2,2) de concreto com cimento CP V-ARI.

A adição de 5 % do substrato enrijeceu mais a mistura, absorvendo mais água da relação a/c e gerou menor trabalhabilidade do concreto, comparada à mistura com 1 % de aditivo. Isto pode ser observado no abatimento do tronco de cone onde, com 5 % de aditivo nos 2 traços da mistura (1:1,5:2,2 e 1:2:3), as

⁹ Máxima resistência que um determinado material suporta antes de se romper no ensaio de compressão

medidas obtidas de *slump* foram 7 e 3 cm, enquanto que na mistura com 1 % de aditivo os valores ensaiados foram 18 e 5 cm, respectivamente.

Tabela 5 – Resistência dos corpos de prova (CPs) em três diferentes tempos de análise (n=2)

CP	TRAÇO cim:ar:br	Relação a/c	<i>Slump</i>	Substrato (%)	Força aplicada (kgf)	Resistência (MPa)					
						7 dias	14 dias	28 dias			
101					15871	19,82					
102					19979	24,95					
103	1:1,5:2,2	0,47	10 cm	0	26398		32,96				
104					22583		28,20				
105					12237			15,28			
106					19506			24,36			
111								0	0,00		
112								95	0,12		
113	1:1,5:2,2	0,51	7 cm	5	112		0,14				
114					112		0,14				
115					137			0,17			
116					163			0,20			
121								19309	24,11		
122								14488	18,09		
123	1:2:3	0,55	6,5 cm	0	18561		23,18				
124					15064		18,81				
125					14488			18,09			
126					13190			16,47			
131								95	0,12		
132								198	0,25		
133	1:2:3	0,55	3 cm	5	198		0,25				
134					146		0,18				
135					266			0,33			
136					215			0,27			
141								15433	19,27		
142								17736	22,15		
143	1:1,5:2,2	0,51	15 cm	0	19197		23,97				
144					18870		23,56				
145					20159			25,17			
146					25685			32,07			
151								16499	20,60		
152								15674	19,57		
153	1:2:3	0,55	5 cm	1	14746		18,41				
154					10930		13,65				
155					16748			20,91			
156					17805			22,23			
161								16585	20,71		
162								13362	16,68		
163	1:1,5:2,2	0,51	18 cm	1	19326		24,13				
164					14840		18,53				
165					16198			20,23			
166					14024			17,51			

Fonte: Elaboração própria

Com exceção dos corpos de prova com concentração de 5 % de aditivo do substrato de cogumelo *Lentinula edodes*, todos os outros obtiveram alta resistência à compressão nos ensaios realizados 7 dias após suas moldagens. Isto ocorreu devido a presença do cimento CP V-ARI na composição do traço do concreto, que

proporciona alta resistência da mistura logo nos primeiros dias. O crescimento da resistência dos corpos de prova no decorrer das idades (ensaios com 14 e 28 dias), é proveniente das reações químicas presentes no concreto durante seu tempo de cura, apresentando diminuição gradativa de crescimento até a mistura obter resistência máxima.

5.3.2 Estudo dos efeitos principais e de interação sobre os corpos de prova sem e com adição de substrato a 5 %

Como resultado dos ensaios dos corpos de prova com 0 e 5 % de aditivo, obtém-se a Tabela 6, onde os efeitos significativos da força aplicada e da resistência adquirida para os fatores A (tipo de concreto) e B (concentração de substrato), e da interação AB estão destacados em negrito.

A Tabela 6 mostra que, para 7 dias de moldagem, houve interação apenas no tipo de concreto, tanto para força aplicada $[34,63 \pm 1,58]$ tf quanto para a resistência adquirida $[43,24 \pm 1,98]$ MPa, não havendo interação sobre a concentração de substrato.

A ocorrência desta interação se deve ao cimento utilizado (CP V-ARI) que proporciona alta resistência inicial na mistura, interferindo diretamente sobre o traço do concreto.

Houve interação aos 14 dias do preparo sobre a força aplicada, com os valores de $[7,62 \pm 1,29]$ tf para o tipo de concreto e $[24,38 \pm 0,91]$ tf para a concentração de substrato, com interação entre os dois de $[7,74 \pm 3,87]$ tf. Sobre a resistência adquirida os resultados apresentados em módulo foram $[51,22 \pm 1,62]$ MPa para o tipo de concreto e $[9,59 \pm 1,14]$ MPa para a concentração de substrato, com interação entre os dois de $[9,66 \pm 1,62]$ MPa.

Já aos 28 dias da mistura, houve interação apenas sobre a concentração de substrato para a força aplicada $[15,72 \pm 1,31]$ tf e apenas no tipo de concreto para a resistência adquirida $[36,62 \pm 2,31]$ MPa.

Como o substrato reage diretamente com o cimento na mistura, sua alta concentração na mistura interfere na força aplicada sobre a mesma, diminuindo-a quando comparada com as amostras sem substrato.

Tabela 6 – Resultados do planejamento fatorial 2^2 completo em duplicata para estudar os efeitos do tipo de concreto (cim:ar:br) e da concentração de substrato (0 e 5 %), sobre a força necessária para a ruptura dos corpos de prova

Fatores:				(-)	(+)	
A: Tipo de concreto (cimento:areia:brita)				1:1,5:2,2 (A)	1:2:3 (B)	
B: Concentração de substrato (%)				0	5	
<i>i</i>	A	B	AB	Média da Força aplicada (tf)		
				7 dias	14 dias	28 dias
1	-	-	+	17,93	24,49	15,87
2	-	+	-	0,05	0,11	0,15
3	+	-	-	16,90	16,90	13,84
4	+	+	+	0,15	0,17	0,24
Efeitos:				FA7d±s(efeito) (tf)	F14d±s(efeito) (tf)	FA28d±s(efeito) (tf)
A	Principal			-34,63±1,58	-7,62±1,29	-1,94±1,85
B	Principal			-1,03±1,12	-24,38±0,91	-15,72±1,31
AB	De interação			1,13±1,58	7,74±3,87	2,12±1,85
$t_4 \times s$ (efeito)				2,24	1,83	2,61
<i>i</i>	A	B	AB	Médias da Resistência (MPa)		
				7 dias	14 dias	28 dias
1	-	-	+	22,39	30,58	19,82
2	-	+	-	0,06	0,14	0,19
3	+	-	-	21,10	21,00	17,28
4	+	+	+	0,19	0,22	0,30
Efeitos:				RA7d±s(efeito) (MPa)	RA14d±s(efeito) (MPa)	RA28d±s(efeito)(MPa)
A	Principal			-43,24±1,98	-51,22±1,62	-36,62±2,31
B	Principal			-1,29±1,40	-9,59±1,14	-2,54±1,63
AB	De interação			1,41±1,98	9,66±1,62	2,66±2,31
$t_4 \times s$ (efeito)				2,80	2,28	3,26

Legenda: Ensaio experimental (*i*), Força aplicada (FA), Resistência adquirida (RA) e estimativa, com 4 graus de liberdade na distribuição *t* de Student e com 95 % de confiança, do erro-padrão de um efeito ($t_4 \times s$ (efeito)).

Fonte: Elaboração própria

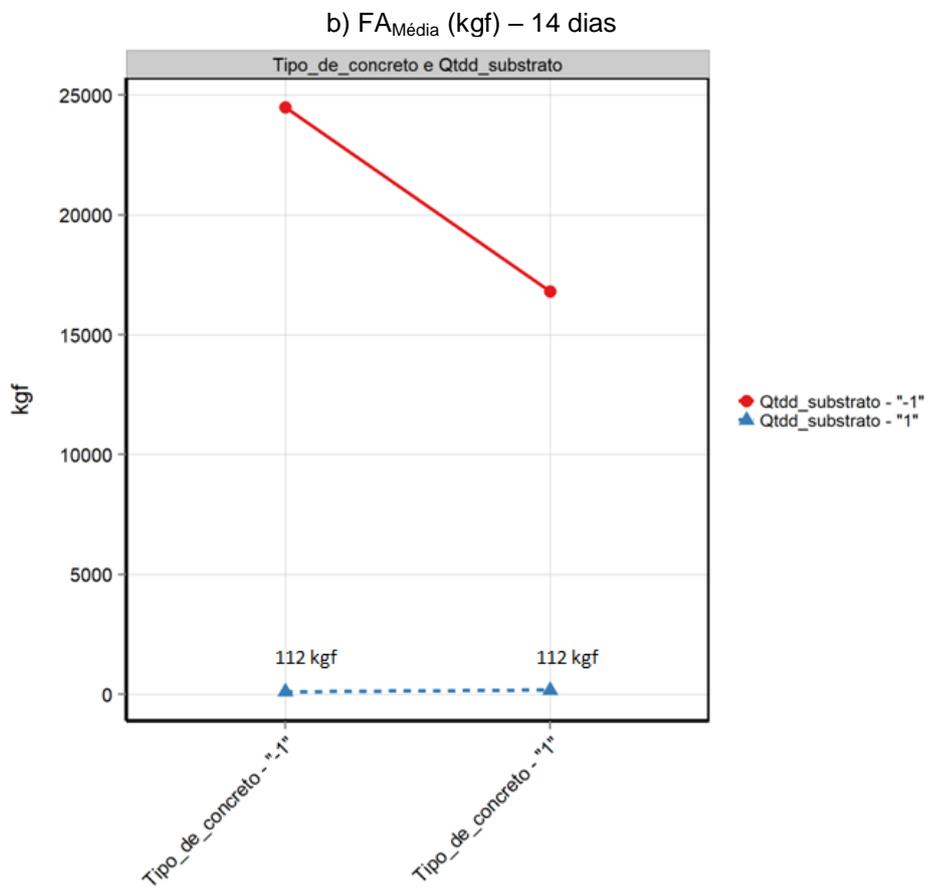
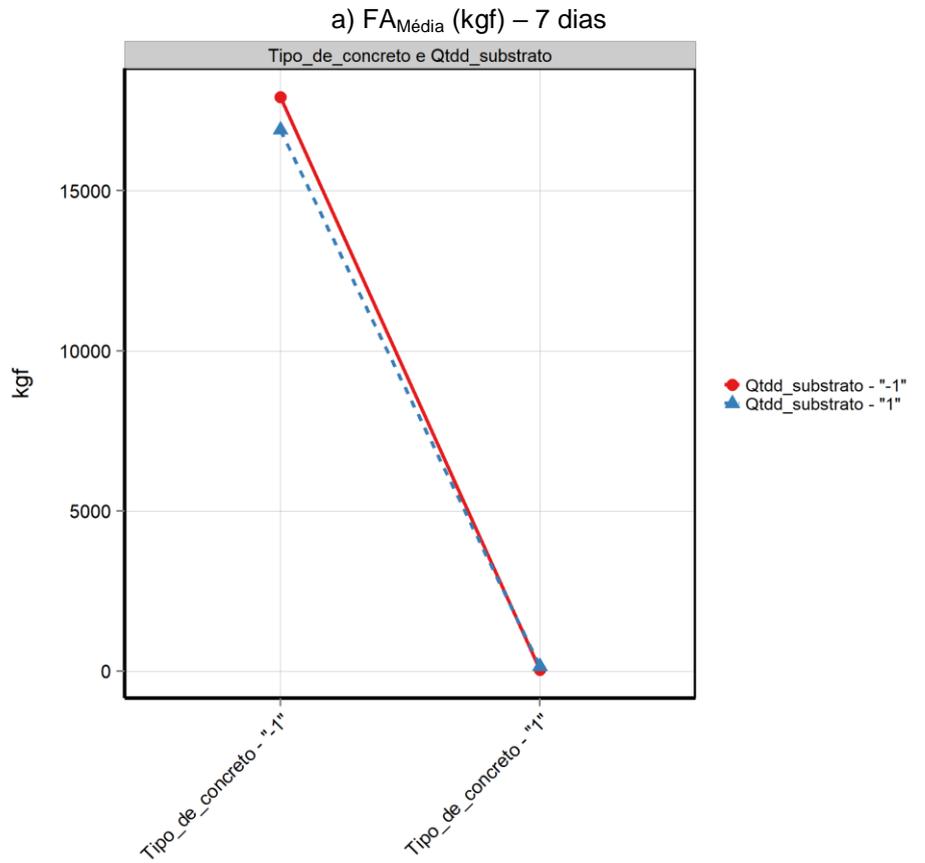
5.3.2.1 Gráficos de interações

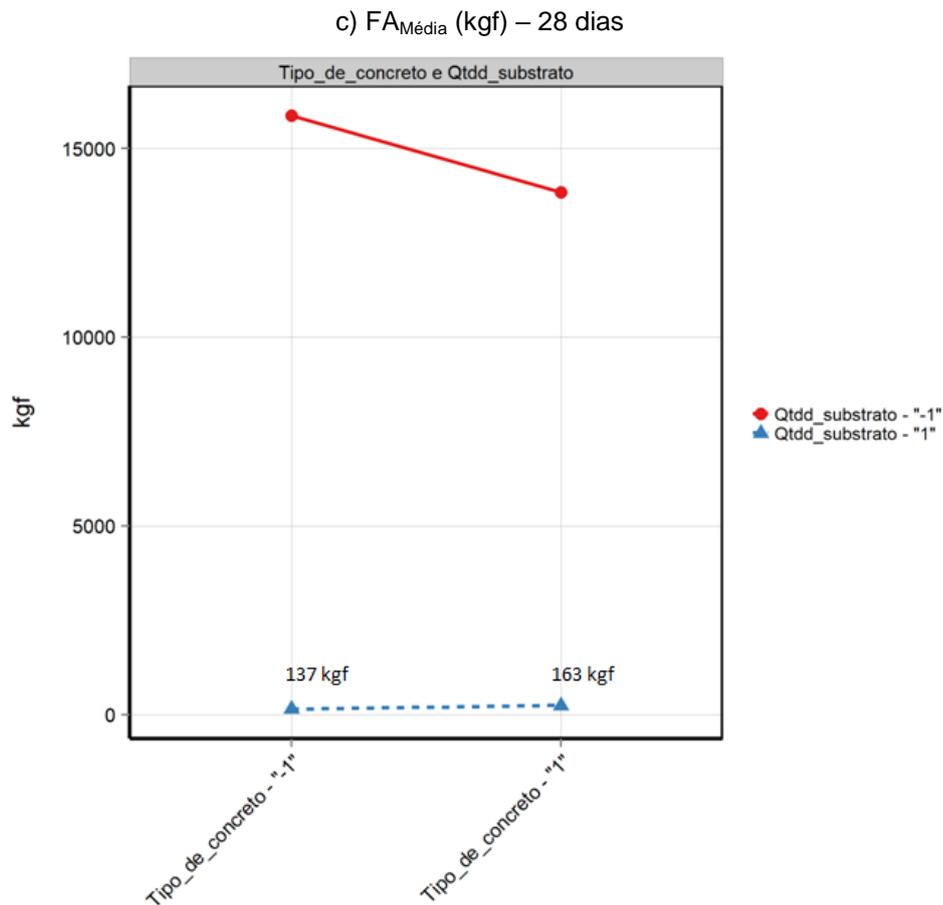
O gráfico de interações tem como função identificar visualmente se os fatores apresentam efeito conjunto ou se são independentes. A interação ocorre entre dois ou mais fatores se o efeito de um fator na resposta depende do nível dos outros fatores (YOSHIDA *et al.*, 2016).

A Figura 14 mostra os gráficos de interações nas diferentes idades de moldagem dos corpos de prova, com 7 dias (Figura 14a), 14 dias (Figura 14b) e 28 dias (Figura 14c).

Na Figura 14b a interação ocorre entre os dois fatores, pois o efeito da quantidade de substrato na resistência do material depende do tipo de concreto.

Figura 14 – Gráficos de interações dos efeitos para a variável força aplicada (FA) em 7, 14 e 28 dias nos ensaios dos corpos de prova sem e com substrato a 5 %





Fonte: Elaboração própria

Nas Figuras 14a e 14c, vemos que parece não haver interação entre os fatores tipo de concreto e quantidade de substrato, dado que as retas são aproximadamente paralelas, ou seja, quando mudamos o nível da quantidade de substrato o comportamento do tipo de concreto é parecido nos dois níveis indicando que não existe uma relação entre tipo de concreto e quantidade de substrato.

5.3.2.2 Resultados da ANOVA

A análise de variância (ANOVA) utilizada para estudar os efeitos do tipo de concreto (Fator A) e da concentração de substrato utilizada (Fator B), além da interação entre estes fatores (AB) sobre a força necessária para a ruptura e a resistência adquirida do corpo de prova ($p < 0,05$) é exibida na Tabela 7.

O modelo calculado pela regressão linear (Apêndice B) com dois fatores balanceados e com efeitos cruzados com interação, para os ensaios de força adquirida em 7, 14 e 28 dias, é dado, respectivamente, pelas equações:

$$Y_{7\text{dias}} = 7510,5 + 167,75A - 7463B - 68,75AB \quad \text{Equação 3}$$

$$Y_{14\text{dias}} = 8597,5 - 2092,5A - 8485,5B + 2152,5AB \quad \text{Equação 4}$$

$$Y_{28\text{dias}} = 7630,5 + 1128A - 7480,5B - 1037,5AB \quad \text{Equação 5}$$

Tabela 7 – Resultados da ANOVA quanto aos efeitos do tipo de concreto e da concentração de substrato, além da interação destes fatores sobre a força necessária para a ruptura dos corpos de prova sem e com substrato a 5 %

Força aplicada aos 7 dias (kgf)					
Fatores	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
A: Tipo de concreto	1	56,3x10 ³	56,3x10 ³	0,04	0,85
B: Quantidade de substrato	1	45,0x10 ⁷	45,0x10 ⁷	319,25	0,00
AB	1	9,5x10 ³	9,5x10 ³	0,01	0,94
Resíduos	4	5,6x10 ⁶	1,4x10 ⁶		
Força aplicada aos 14 dias (kgf)					
Fatores	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
A: Tipo de concreto	1	8,8x10 ⁶	8,8x10 ⁶	2,02	0,23
B: Quantidade de substrato	1	43,9x10 ⁷	43,9x10 ⁷	101,28	0,00
AB	1	9,3x10 ⁶	9,3x10 ⁶	2,14	0,22
Resíduos	4	1,7x10 ⁷	0,4x10 ⁷		
Força aplicada aos 28 dias (kgf)					
Fatores	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
A: Tipo de concreto	1	2,5x10 ⁶	2,5x10 ⁶	3,48	0,14
B: Quantidade de substrato	1	51,2x10 ⁷	51,2x10 ⁷	700,42	0,00
AB	1	2,2x10 ⁶	2,2x10 ⁶	2,95	0,16
Resíduos	4	2,9x10 ⁶	0,7x10 ⁶		

Fonte: Elaboração própria

Os resultados da ANOVA mostraram significância apenas na quantidade de substrato nos 3 diferentes tempos avaliados, onde os valores do P-valor foram 0,00 atendendo a análise ($p < 0,05$).

Quando os corpos de prova foram rompidos na prensa mecânica, verificou-se no seu interior que o aditivo colocado na mistura retardou a reação química do cimento com a água e os agregados, comprovando a análise dos resultados do planejamento fatorial 2², apresentados nas Tabelas 6 e 7, que mostram a existência de interação da concentração de substrato sobre a força necessária para a ruptura e a resistência dos corpos de prova, principalmente com 14 dias de idade da mistura. Ambos os traços de concreto apresentaram diminuição dos valores de resistência à compressão nos ensaios realizados, verificando que a quantidade de substrato

adicionada ao concreto deveria ser menor do que a utilizada. Desta forma, foram realizados novos ensaios com adição de 1 % de substrato às misturas de concreto.

5.3.3 Estudo dos efeitos principais e de interação sobre os corpos de prova com substrato a 1 e 5 %

Como resultado dos ensaios dos corpos de prova com 1 e 5 % de aditivo, obtém-se a Tabela 8, onde os efeitos significativos da força aplicada e da resistência adquirida para os fatores A, B e da interação AB estão destacados em negrito.

Tabela 8 – Resultados do planejamento fatorial 2² completo em duplicata para estudar os efeitos do tipo de concreto (cimento:areia:brita) e da concentração de substrato (1 e 5 %) sobre a força aplicada (FA) e a resistência adquirida (RA) do corpo de prova

Fatores:				(-)	(+)	
A: Tipo de concreto (cimento:areia:brita)				1:1,5:2,2 (A)	1:2:3 (B)	
B: Concentração de substrato (%)				1	5	
<i>i</i>	A	B	AB	Média da Força aplicada (tf)		
				7 dias	14 dias	28 dias
1	-	-	+	14,97	17,08	15,11
2	-	+	-	0,05	0,11	0,15
3	+	-	-	16,09	12,84	17,28
4	+	+	+	0,15	0,17	0,24
Efeitos:				FA7d±s(efeito) (tf)	F14d±s(efeito) (tf)	FA28d±s(efeito) (tf)
A	Principal			0,34±0,84	-4,19±1,47	2,26±0,60
B	Principal			-1,49±0,59	-16,97±1,04	-14,96±0,43
AB	De interação			-0,14±0,84	4,31±1,47	-2,08±0,60
<i>t</i> ₄ × s(efeito)				1,19	2,08	0,85
<i>i</i>	A	B	AB	Médias da Resistência (MPa)		
				7 dias	14 dias	28 dias
1	-	-	+	18,70	21,33	18,87
2	-	+	-	0,06	0,14	0,19
3	+	-	-	20,09	16,03	21,57
4	+	+	+	0,19	0,22	0,30
Efeitos:				RA7d±s(efeito) (MPa)	RA14d±s(efeito) (MPa)	RA28d±s(efeito) (MPa)
A	Principal			1,52±1,04	-5,23±1,84	2,85±0,76
B	Principal			-18,64±0,74	-21,19±1,30	-18,69±0,53
AB	De interação			-1,27±1,04	5,38±1,84	-2,56±0,76
<i>t</i> ₄ × s(efeito)				1,47	2,60	1,07

Legenda: Ensaio experimental (*i*), Força aplicada (FA), Resistência adquirida (RA) e estimativa, com 4 graus de liberdade na distribuição *t* de Student e com 95 % de confiança, do erro-padrão de um efeito (*t*₄ × s(efeito)).

Fonte: Elaboração própria

A Tabela 8 mostra que, para 7 dias de moldagem, houve interação apenas na concentração de substrato, tanto para força aplicada $|1,49 \pm 0,59|$ tf quanto para a resistência adquirida $|18,64 \pm 0,74|$ MPa, não havendo interação sobre o tipo de concreto para esta idade.

Aos 14 dias do preparo, houve interação sobre a força aplicada $|4,19 \pm 1,47|$ tf para o tipo de concreto e $|16,97 \pm 1,04|$ tf para a concentração de substrato, com interação entre os dois de $|4,31 \pm 1,47|$ tf, e sobre a resistência adquirida $|5,23 \pm 1,84|$ MPa para o tipo de concreto e $|21,19 \pm 1,30|$ MPa para a concentração de substrato, com interação entre os dois de $|5,38 \pm 1,84|$ MPa.

Da mesma forma, aos 28 dias da mistura, houve interação sobre a força aplicada $|2,26 \pm 0,60|$ tf para o tipo de concreto e $|14,96 \pm 0,43|$ tf para a concentração de substrato, com interação entre os dois de $|2,08 \pm 0,60|$ tf, e sobre a resistência adquirida $|2,85 \pm 0,76|$ MPa para o tipo de concreto e $|18,69 \pm 0,53|$ MPa para a concentração de substrato, com interação entre os dois de $|2,56 \pm 0,76|$ MPa.

5.3.3.1 Gráficos de interações

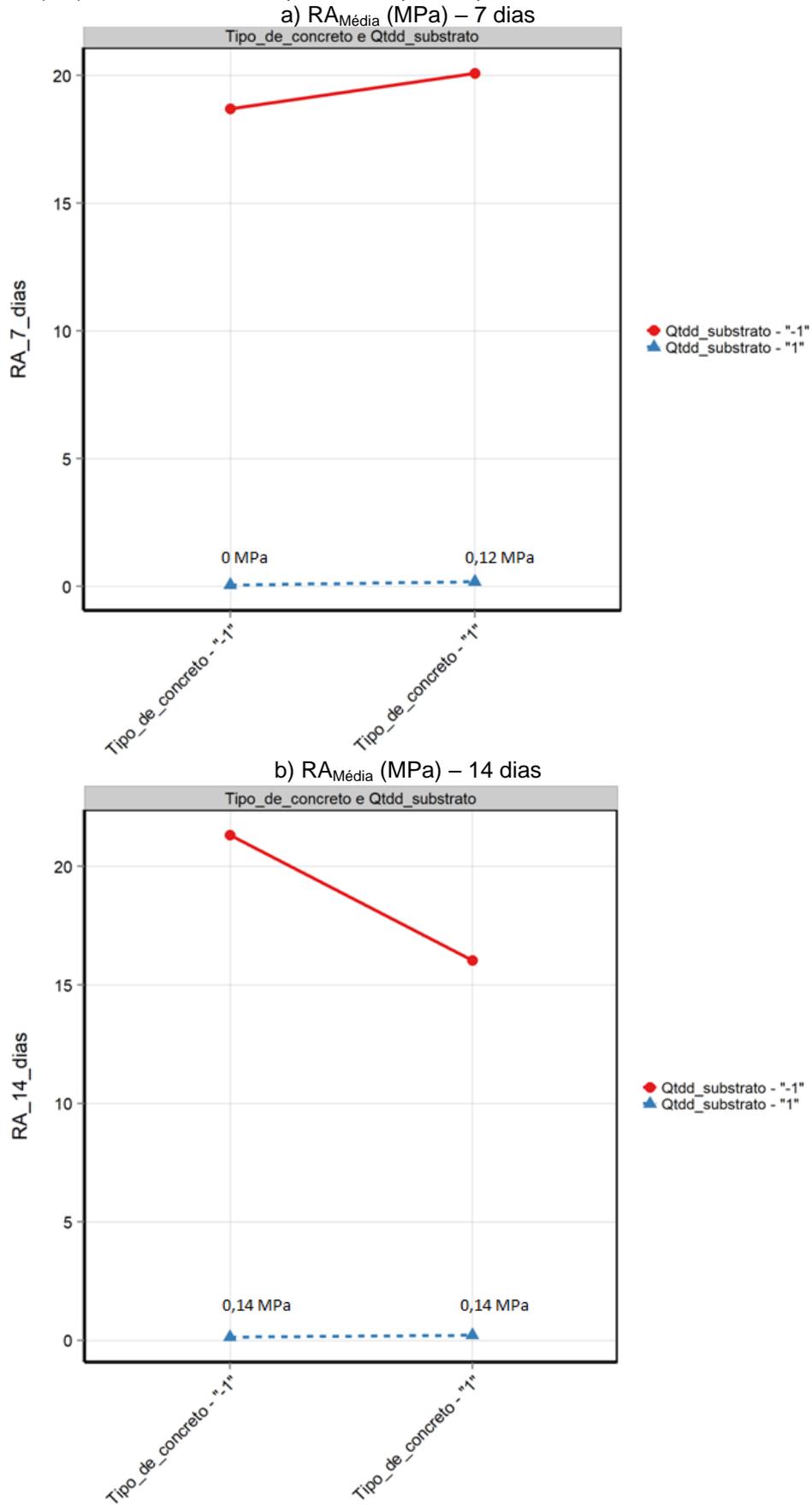
Para melhor visualização comparativa dos resultados, a Figura 15 mostra os gráficos das resistências dos corpos de prova com aditivo de substrato nas concentrações 1 e 5 % após 7 dias (Figura 15a), após 14 dias (Figura 15b) e após 28 dias (Figura 15c) de moldagem.

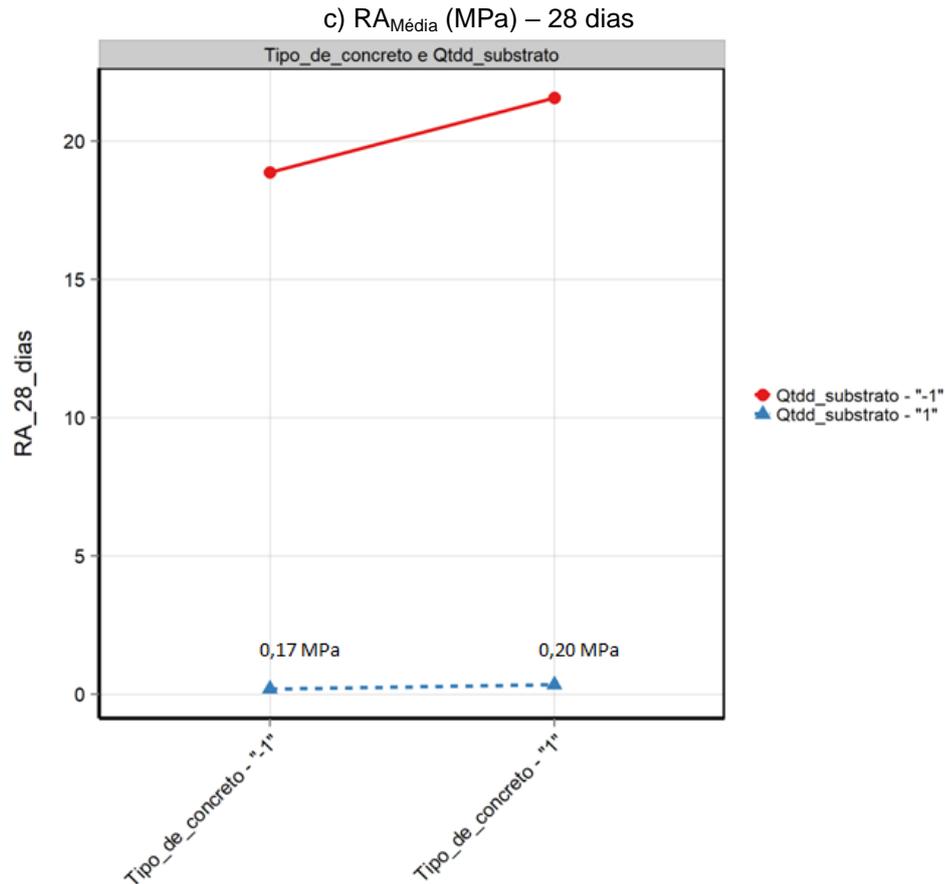
Nas Figuras 15a e 15c, vemos que parece não haver interação entre os fatores tipo de concreto e quantidade de substrato, dado que as retas são aproximadamente paralelas, ou seja, quando mudamos o nível da quantidade de substrato o comportamento do tipo de concreto é parecido nos dois níveis indicando que não existe uma relação entre tipo de concreto e quantidade de substrato.

Na Figura 15b a interação ocorre entre os dois fatores, pois o efeito da quantidade de substrato na resistência do material depende do tipo de concreto.

Os dados da Figura 14 e da Figura 15 demonstram que a força aplicada (FA) e a resistência adquirida (RA) são proporcionais no ensaio à compressão dos corpos de prova em ambos os fatores analisados, tipo de concreto e concentração de substrato.

Figura 15 – Gráficos de interações dos efeitos nas respostas médias da variável resistência adquirida (RA) em 7, 14 e 28 dias para os corpos de prova com substrato a 1 e 5 %





Fonte: Elaboração própria

5.3.3.2 Resultados da ANOVA

A análise de variância (ANOVA) utilizada para estudar os efeitos do tipo de concreto (Fator A) e da concentração de substrato (Fator B), além da interação destes fatores (AB) sobre a força necessária para a resistência adquirida do corpo de prova ($p < 0,05$) é exibida na Tabela 9.

Confirmou-se assim que realmente o substrato reage diretamente com a quantidade de cimento utilizado na mistura, ou seja, quanto menos cimento e/ou substrato, menor será as alterações de cargas e resistências do concreto.

Os resultados da ANOVA mostraram significância apenas na concentração de substrato nos 3 diferentes tempos avaliados, onde os valores do P-valor foram 0,00 atendendo a análise ($p < 0,05$).

Tabela 9 – Resultados da ANOVA quanto aos efeitos do tipo de concreto e da concentração de substrato, além da interação destes fatores sobre a resistência adquirida (RA) para a ruptura dos corpos de prova com substrato a 1 e 5 %

Resistência adquirida aos 7 dias - MPa					
Fatores	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
A: Tipo de concreto	1	1,15	1,15	0,53	0,51
B: Quantidade de substrato	1	742,47	742,47	342,68	0,00
AB	1	0,80	0,80	0,37	0,58
Resíduos	4	8,67	2,17		
Resistência adquirida aos 14 dias - MPa					
Fatores	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
A: Tipo de concreto	1	13,65	13,65	2,02	0,23
B: Quantidade de substrato	1	684,69	684,69	101,39	0,00
AB	1	14,45	14,45	2,14	0,22
Resíduos	4	27,01	6,75		
Resistência adquirida aos 28 dias - MPa					
Fatores	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
A: Tipo de concreto	1	4,05	4,05	3,54	0,13
B: Quantidade de substrato	1	797,00	797,00	697,47	0,00
AB	1	3,26	3,26	2,86	0,17
Resíduos	4	4,57	1,14		

Fonte: Elaboração própria

5.4 Resultados da determinação da absorção de água por imersão

Após ensaios de 3 corpos de prova para cada um dos 7 tipos de concretos analisados, obtém-se como resultado de absorção de água a Tabela 10. Os resultados completos e detalhados podem ser observados na Tabela do Apêndice C.

Os corpos de prova com 5 % de aditivo em sua composição absorveram mais água que os outros de diferentes composições, em ambos os traços de concreto, mostrando que a presença desta quantidade de aditivo de substrato torna a mistura mais porosa, com aumento de espaços vazios. Este acréscimo de poros pode ser decorrente da liberação de gases durante as reações químicas entre os componentes do substrato e do cimento, com a presença de água na mistura durante o processo de endurecimento e cura do concreto. Ou ainda decorrentes dos baixos valores de abatimento de cone (*slump*), que proporcionaram diminuição na trabalhabilidade da mistura durante a moldagem dos corpos de prova, gerando menor adensamento (espalhamento) do concreto.

Tabela 10 – Resultados do ensaio de absorção de água dos corpos de prova (CPs) para os diferentes tipos de concreto e concentrações de substrato

CP	TRAÇO DO CONCRETO	ADITIVO (%)	MASSA SECA (g)	MÉDIA (g)	DESVIO PADRÃO	ABSORÇÃO ÁGUA (%)	MÉDIA (%)	DESVIO PADRÃO
107			3539			5,96		
108	1:1,5:2,2	0	3549	3532	22	5,76	5,83	0,11
109			3508			5,77		
117			3165			10,09		
118	1:1,5:2,2	5	3136	3148	15	10,30	10,17	0,11
119			3142			10,12		
127			3592			5,34		
128	1:2:3	0	3587	3595	9	5,51	5,44	0,08
129			3604			5,45		
137			3064			9,28		
138	1:2:3	5	2997	3076	86	8,94	9,03	0,22
139			3168			8,87		
147			3472			6,41		
148	1:1,5:2,2	0	3523	3503	27	6,07	6,23	0,17
149			3516			6,19		
157			3416			6,54		
158	1:2:3	1	3463	3477	70	6,70	6,44	0,31
159			3553			6,09		
168			3543			5,57		
169	1:1,5:2,2	1	3529	3538	8	5,63	5,58	0,04
170			3542			5,55		

Fonte: Elaboração própria

Com 1 % de aditivo na mistura, os corpos de prova com traço 1:1,5:2,2 de concreto obtiveram menor índice de absorção de água (10,43 % em média) que o mesmo traço sem aditivo. No caso do concreto com traço 1:2:3 ocorreu o inverso, onde com o mesmo acréscimo de 1 % do substrato de Shiitake, os corpos de prova ensaiados absorveram em média 18,38 % a mais de água quando imersos no tanque.

A absorção de água $6,23 \pm 0,17$, apresentada no traço 1:1,5:2,2 sem aditivo, e a absorção de $6,44 \pm 0,31$, apresentada no traço 1:2:3 com 1 % de aditivo, não demonstraram diferença.

6 CONCLUSÃO

O presente estudo mostrou que este tipo de bloco de substrato parece não ser apropriado como um produto estrutural individualizado na construção civil, possibilitando sua utilização como vedação de vãos ou ainda como aditivo em alguma estrutura. A armadura poderá ser utilizada em ambos os tipos de concreto, verificando apenas a sua viabilidade quanto ao tipo de estrutura a ser empregada na construção. O aditivo de substrato reage quimicamente de forma direta sobre a quantidade de cimento utilizada na mistura, reduzindo o endurecimento e enrijecimento do concreto. A quantidade máxima adequada de aditivo na mistura é de 1 %, onde os materiais não apresentaram diminuições acentuadas de resistência à compressão. A concentração de 1 % de aditivo do substrato no traço 1:2:3 se torna viável na utilização em pisos drenantes, e no traço 1:1,5:2,2 esta concentração de aditivo é sugerida para paredes impermeabilizadas. Este trabalho de pesquisa obteve uma alternativa de utilização do substrato de cogumelo *Lentinula edodes* e pode ser empregada na construção civil. No entanto, há necessidade de estudos mais aprofundados, tais como, ensaios complementares e mais detalhados para a obtenção de possíveis alterações específicas em suas propriedades físicas e químicas; viabilidade de alteração na concentração deste aditivo de substrato em outros traços de concreto com cimento Portland; e aplicabilidade do substrato em outros locais na construção civil (revestimento, ornamentos, assentamentos, artefatos etc.).

REFERÊNCIAS

- ABNT. **ABNT NBR 5564**: Via férrea – Lastro ferroviário – Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2014.
- ABNT. **ABNT NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2016.
- ABNT. **ABNT NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.
- ABNT. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- ABNT. **ABNT NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.
- ABNT. **ABNT NBR 7214**: Areia normal para ensaio de cimento – Especificação. Rio de Janeiro, 2015.
- ABNT. **ABNT NBR 7225**: Materiais de pedra e agregados naturais. Rio de Janeiro, 1993.
- ABNT. **ABNT NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.
- ABNT. **ABNT NBR 11768**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2011.
- ABNT. **ABNT NBR 12655**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.
- ABNT. **ABNT NBR 15900-1**: Água para amassamento do concreto. Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2009.
- ABNT. **ABNT NBR 16697**: Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.
- ABNT. **ABNT NBR NM 67**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.
- ABNT. **ABNT NBR NM ISO 3310-1**: Peneiras de ensaio – Requisitos técnicos e verificação. Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico (ISO 3310-1, IDT). Rio de Janeiro, 2010.
- AGUIAR, Tarsis de. **Frações polissacarídicas de fungos (*Saccharomyces cerevisiae*, *Pleurotus ostreatus* e *Lentinula edodes*) na indução de resistência em tomateiro (*Solanum lycopersicon*) contra *Xanthomonas gardneri***. Tese (Doutorado em Recursos Genéticos Vegetais). Departamento de Fitotecnia. Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2016.

AMBROZEWICZ, Paulo Henrique Laporte. **Materiais de construção**. São Paulo: Pini, 2012.

ANDOLFATO, Rodrigo Piernas. **Controle tecnológico básico do concreto**. Núcleo de Ensino e Pesquisa da Alvenaria Estrutural. Ilha Solteira, 2002.

ANDRADE, Meire Cristina Nogueira de. **Crescimento micelial, produção e características bromatológicas do shiitake em função de linhagens e de propriedades físicas e químicas de espécies e clones de eucalipto**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Energia na Agricultura. Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP. Botucatu, 2007.

ASTM. **ASTM C125-19**, Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019.

ASTM. **ASTM C494-10**, Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010.

AZEVEDO, Cláudia Paganelli Lacerda de. **Avaliação de resíduos lignocelulósicos para a produção de *Pleurotus eryngii*, *Lentinus sajor caju* e *Lentinula edodes***. Dissertação (Pós-graduação em Microbiologia Agrícola e do Ambiente). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: Aplicações na ciência e na indústria**. 4. Bookman, 2010. 414 ISBN 978-8-577-80652-2.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de construção**. Vol.1 e 2, 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

BENTO, Cláudia Braga Pereira; CASARIL, Kérley Braga Pereira Bento. Bioconversão de resíduos agroindustriais lignocelulósicos por fungos causadores da podridão branca: uma alternativa à produção de alimentos. **Revista Faz Ciência**, vol. 14, n.19, p. 151-180, 2012.

BORGES, Alberto Nogueira. **Curso prático de cálculo em concreto armado: projetos de edifícios**. Rio de Janeiro: Imperial Novo Milênio, 2010.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos; MARCHETTI, Osvaldemar. **Concreto armado, eu te amo**. Vol. 1, 7. ed. São Paulo: Blucher, 2013.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos; MARCHETTI, Osvaldemar. **Concreto armado, eu te amo**. Vol. 2, 4. ed. São Paulo: Blucher, 2015.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos; FERRAZ, Nelson Newton. **Concreto armado, eu te amo vai para obra**. São Paulo: Blucher, 2018.

BRANCÃO, Luiz Otávio. **Fluxograma de fabricação do cimento Portland**. Blog: BLOG DO CIMENTO, 2015. Disponível em:

<http://blogdocumento.blogspot.com/2015/09/fluxogramas-de-fabricacao-de-cimento.html>. Acesso em 04 jun. 2019.

BUSWELL, J. A.; CHANG, S. T. **Edible mushrooms: attributes and applications**. In: CHANG, S.T.; BUSWELL, J. A., MILES, P. G. (Ed.). **Genetics and breeding of edible mushrooms**. Philadelphia: Gordon and Breach Scientific, 1993. p. 297-324.

CIMENTO LIZ. **Soeicom S/A – Sociedade de Empreendimentos Industriais, Comerciais e Mineiraçã**o. Vespasiano, 2017. Disponível em: <http://www.cimentosliz.com.br/empresa/perfil>

CIMENTO.ORG. **CP V-ARI – Cimento Portland de alta resistência inicial**. Brasília, 2010. Disponível em: <https://cimento.org/cp-v-ari-cimento-portland-de-alta-resistencia-inicial/>

ESTATCAMP, E. **Software Action**. São Carlos - SP, Brasil: Estatcamp - Consultoria em estatística e qualidade p. 2014.

FERREIRA-LEITÃO, V.; GOTTSCHALK, L. M. F.; FERRARA, M. A.; NEPOMUCENO, A. L.; MOLINARI, H. B. C.; BOM, E. P. S. Biomass Residues in Brazil: Availability and Potential Uses. **Waste Biomass Valor**, 1, p. 65–76, 2010.

FERREIRA NETTO, Raimundo Gonçalves. **Resíduo de colheita de shiitake (*Lentinula edodes* (Berk.) Pegler) na alimentação de frangos de corte e poedeiras comerciais**. Tese (Mestrado em Zootecnia). Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia. Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2018.

FIORITI, C.F.; AKASAKI, J.R. Fabricação de blocos estruturais de concreto com resíduos de borracha de pneus. **Holos Environment**, vol.4, n. 2, 2004, p. 156.

FLORIOS, Daia. **Shiitake: propriedades, usos e contraindicações**. 2016. Disponível em: <https://www.greenme.com.br/alimentar-se/alimentacao/2775-shiitake-propriedades-usos-e-contraindicacoes>.

FONSECA, Larissa Silva; ARAÚJO, Ana Paula Fernandes; MACHADO, Antony Enis Virginio; SIQUEIRA, Félix Gonçalves de; LEMOS, Marivane; MENDONÇA, Simone. **Caracterização química do resíduo pós-cultivo de cogumelos destoxicantes em torta de algodão**. IV Encontro de Pesquisa e Inovação da Embrapa Agroenergia. Brasília, 2017.

GOMES-DA-COSTA, Sandra Maria; COIMBRA, Ladislau Beims; SILVA, Eraldo Schunck da. Crescimento micelial de dois isolados de *Lentinula edodes* (Berk.) Pegler, em resíduos ligninocelulósicos. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, vol. 30, n. 2, 2008, p. 191-196. Universidade Estadual de Maringá.

HELENE, Paulo R.L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2 ed. São Paulo: Pini, 1992.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2006. Disponível em http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=998&id_pagina=1. Acesso em 22/02/2013.

ISAIA, Geraldo Cechella. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia dos materiais**, vol. 1 e 2, 3. ed. São Paulo: Ibracon, 2017.

KAEFER, Luiz Fernando. **A evolução do concreto armado**. São Paulo, 1998.

MINOTTO, E; WILLE, C. N; BERNARDI, E; MANZONI, C. G; NASCIMENTO, J. S. **Desenvolvimento do cogumelo shiitake (*Lentinula edodes*) em substrato a base de serragem suplementada com farelo de arroz**. Anais. XVIII CIC / XI ENPOS / I MOSTRA CIENTÍFICA, Evoluir sem extinguir: por uma ciência do devir, 2009.

MATHEUS, D. R.; OKINO, L. K. Utilização de basidiomicetos em processos biotecnológicos. In: BONONI, V. L. R. (org.). **Zigomicetos, basidiomicetos e deutericetos: noções básicas de taxonomia e aplicações biotecnológicas**. São Paulo: Instituto de Botânica; Secretaria do Estado do Meio Ambiente, 1998. cap. 4, p. 106-109.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Ibracon, 2014.

MODRO, Neilson Luiz R.; MODRO, N.R.; MODRO, Nilson R.; OLIVEIRA, A. Pedro Novaes. Avaliação de concreto de cimento Portland contendo resíduos de PET. **Revista Matéria**, vol. 14, n. 1, 2009.

NEVILLE, Adam M.; BROOKS, J.J. **Tecnologia do concreto**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

OKANO, K.; IIDA, Y.; SAMSURI, M.; PRASETYA, B.; USAGAWA, T.; WATANABE, T. Comparison of in vitro digestibility and chemical composition among sugarcane bagasses treated by four white-rot fungi. **Animal Science Journal**, 77, p. 308–313, 2006.

PEDRA, W. N.; MARINO, R. H. **Cultivo axênico de *Pleurotus spp.* em serragem da casca de coco (*Cocos nucifera*) suplementada com farelo de arroz e/ou de trigo**. Universidade Federal de Sergipe Departamento de Engenharia Agrônômica. Arq. Inst. Biol., Anais... São Paulo, v.73, n.2, p.219-225, abr./jun. 2006.

PERES, Walmor; CERESINE, Paulo; DAVID, Grace; CAMPOS, Ostenildo; MATOS, Dilânia; SANTOS, Antonio. **Seleção de substratos alternativos para cultivo de shiitake na Amazônia meridional**. VI Congresso Latino Americano. X Congresso Brasileiro. V Seminário do DF e Entorno. Brasília, 2017. Cadernos de Agroecologia – vol. 13, n.1. Julho 2018. ISSN 2236-7934.

PICCININ, Everaldo; DI PIERO, Robson Marcelo; PASCHOLATI, Sérgio Florentino. Cogumelo “shiitake” (*Lentinula edodes*) reduz o crescimento de fitopatógenos e a

severidade de manchas foliares em sorgo. **Summa phytopathol**, vol. 36, n. 1. Botucatu, 2010.

PINHEIRO, Antônio Carlos da Fonseca Bragança; CRIVELARO, Marcos. **Materiais de Construção**. São Paulo: Érica, 2016.

REGINA, Magali; BROETTO, Fernando; GIOVANNOZZI-SERMANNI, Giovanni; MARABOTINI, Rosita; PERANNI, Cláudio; LINDE, Giani Andréa; COLAUTO, Nelson Barros; PACCOLA-MEIRELLES, Luiza Doretto. Atividade de enzimas oxidativas do *Lentinula edodes* em substratos agroindustriais. **Semina: Ciências Agrárias**, vol. 30, n. 4, 2009, p. 881-888. Universidade Estadual de Londrina.

RIBEIRO, Carmen Couto; PINTO, Joana Darc da Silva; STARLING, Tadeu. **Materiais de Construção Civil**. Belo Horizonte: UFMG, 2006.

SIQUEIRA, Félix Gonçalves de; GOMES, Taisa Godoy; ARAÚJO, Ana Paula Fernandes; CUNHA, Joice Raísa Barbosa; CAMELINI, Carla Máisa; NAKAI, Diego Keiji; MENDONÇA, S. **Aplicações biotecnológicas para biomassas do pós-cultivo de cogumelos comestíveis**. VIII Simpósio internacional sobre cogumelos no Brasil. VII Simpósio nacional sobre cogumelos comestíveis. Sorocaba: Uniso, 2015.

TARGHETTA, Bianca Lucchesi. **Desenvolvimento de inoculante alternativo de *Pleurotus ostreatus* var. *florida* (Jacq.) P. Kumm. e *Lentinula edodes* (Berk.) Pegler por cultivo submerso**. Tese (Mestrado em Biotecnologia e Biociência). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2015.

VOTTO, Renata Silva. **Caracterização e avaliação do resíduo de cultivo do cogumelo shiitake - *Lentinula edodes* - para fins bioenergéticos**. Tese (Mestrado em Ciências Ambientais). Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Sorocaba, 2016.

YOSHIDA, V. M. H. et al. Development and preliminary assessment of hemoperfusion cartridge with tannic acid for toxic proteins precipitation: an *in vitro* model. **Recent Advances in Biology and Medicine**, v. 2, p. 62-70, 2016. ISSN 2378-654X.

**APÊNDICE A – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE FLUORESCÊNCIA POR RAIOS-X PARA
AMOSTRAS DE SUBSTRATO**

CrossRoads Scientific XRF Analysis Report											
File: C:\Resultados Fluorescência por Raios-x\Marli_Substrato Cogumel 18_05_17\Calibração_cc											
Stainless Steel Standard											
9:24:40 AM 25-May-17											
Layer Table =====											
#	Thick	Type	Error	Units	Density	Norm.	Total				
1	0.00	Bulk	0.00	mg/cm2	0.00	Off	8.83				
Sample Table =====											
Layer	Component	Type	Concn.	Error	Units	Mole%	Error				
1	Ca	Calc	1539.72	37.659	ppm	0.142	0.003				
1	Fe	Calc	405.64	8.257	ppm	0.027	0.001				
1	Ti	Calc	123.81	8.636	ppm	0.010	0.001				
1	Si	Calc	654.50	142.302	ppm	0.086	0.019				
1	P	Calc	1008.93	72.313	ppm	0.121	0.009				
1	S	Calc	251.54	68.379	ppm	0.029	0.008				
1	Cl	Calc	0.000	0.000	ppm	0.000	0.000				
1	K	Calc	448.94	21.446	ppm	0.043	0.002				
1	Mn	Calc	57.526	2.617	ppm	0.004	0.000				
1	Zn	Calc	37.320	3.049	ppm	0.002	0.000				
1	Rb	Calc	10.850	2.442	ppm	0.000	0.000				
1	Bi	Calc	115.63	49.233	ppm	0.002	0.001				
1	Sc	Calc	0.000	0.000	ppm	0.000	0.000				
1	Cr	Calc	0.000	0.000	ppm	0.000	0.000				
1	Ni	Calc	0.000	0.000	ppm	0.000	0.000				
1	Cu	Calc	0.000	0.000	ppm	0.000	0.000				
1	V	Calc	0.000	0.000	ppm	0.000	0.000				
1	Y	Calc	10.204	2.455	ppm	0.000	0.000				
Element Table =====											
Elmt	Line	Code	Cond	Ratio	Intensity	Error	Intensity	Conc.	Conc	Calibration	
					(c/s)	(c/s)	Method		Method	Coefficient	
Si	Ka	1	None	0.884	0.1922	0.1922	Gaussian	0.065	FP	295391600000.000	
P	Ka	1	None	8.556	0.6132	0.6132	Gaussian	0.101	FP	11324320000.000	
S	Ka	1	None	0.640	0.1739	0.1739	Gaussian	0.025	FP	105554100.000	
Cl	Ka	1	None	0.000	0.0000	0.0000	Gaussian	0.000	FP	125968900.000	
K	Ka	1	None	21.912	1.0467	1.0467	Gaussian	0.045	FP	5495522.000	
Ca	Ka	1	None	76.961	1.8623	1.8623	Gaussian	0.154	FP	2216826.000	
Sc	Ka	1	None	0.000	0.4497	0.4497	Gaussian	0.000	FP	15486660000.000	
Ti	Ka	1	None	7.206	0.5015	0.5015	Gaussian	0.012	FP	757189.600	
V	Ka	1	None	0.000	0.1824	0.1824	Gaussian	0.000	FP	13789630000.000	
Cr	Ka	1	None	0.286	0.2013	0.2013	Gaussian	0.000	FP	12691080000.000	
Mn	Ka	1	None	18.807	0.8555	0.8555	Gaussian	0.006	FP	968651.100	
Fe	Ka	1	None	88.826	1.7847	1.7847	Gaussian	0.041	FP	468437.400	
Ni	Ka	1	None	0.306	0.2890	0.2890	Gaussian	0.000	FP	12303190000.000	
Cu	Ka	1	None	3.311	0.3983	0.3983	Gaussian	0.000	FP	11632690000.000	
Zn	Ka	1	None	6.163	0.5035	0.5035	Gaussian	0.004	FP	172500.400	
Rb	Ka	1	None	1.375	0.3094	0.3094	Gaussian	0.001	FP	108243.300	
Y	Ka	1	None	1.166	0.2805	0.2805	Gaussian	0.001	FP	133742.300	
Bi	La	1	None	0.675	0.2874	0.2874	Gaussian	0.012	FP	13758.160	
Analysis Conditions =====											
#	Targ	Filter	Thick.	kV	uA	---Detector---		Thick.	Atmos	Preset	Actual
			mg/cm2			Type	Filter	mg/cm2		Time(s)	Time(s)
1	Ag	None	0.00	30.0	5.0	Si drift	None	0.0	Air	0.0	260.4
Processing Conditions =====											
#	No.	Escape	Sum	Back	C/R	Blank	----Blank----				
				Type <td>Ratio <td>Rem. <td colspan="5">----File----</td> </td></td>	Ratio <td>Rem. <td colspan="5">----File----</td> </td>	Rem. <td colspan="5">----File----</td>	----File----				
1	2	Yes	Yes	Auto	No	Yes	C:\Resultados Fluorescência por Raios-x\Marli_Substrato				

CrossRoads Scientific XRF Analysis Report

File: C:\Resultados Fluorescência por Raios-x\Marli_Substrato Cogumelos 18_05_17\Processado_Br
9:29:59 AM 25-May-17

Stainless Steel Standard

Layer Table =====
Thick Type Error Units Density Norm. Total
1 0.00 Bulk 0.00 mg/cm2 0.00 Off 8.83

Sample Table =====
Layer Component Type Conc. Error Units Mole% Error
1 Ca Calc 4496.08 80.528 ppm 0.394 0.007
1 Fe Calc 792.49 11.318 ppm 0.050 0.001
1 Ti Calc 68.674 6.445 ppm 0.005 0.000
1 Si Calc 3560.96 316.939 ppm 0.446 0.040
1 P Calc 1729.88 108.707 ppm 0.196 0.012
1 S Calc 314.38 49.178 ppm 0.034 0.005
1 Cl Calc 0.000 0.000 ppm 0.000 0.000
1 K Calc 515.43 22.621 ppm 0.046 0.002
1 Mn Calc 86.007 3.109 ppm 0.006 0.000
1 Zn Calc 59.909 3.249 ppm 0.003 0.000
1 Rb Calc 8.891 5.305 ppm 0.000 0.000
1 Bi Calc 212.28 45.240 ppm 0.004 0.001
1 Sc Calc 0.000 0.000 ppm 0.000 0.000
1 Cr Calc 0.000 0.000 ppm 0.000 0.000
1 Ni Calc 0.000 0.000 ppm 0.000 0.000
1 Cu Calc 0.000 0.000 ppm 0.000 0.000
1 V Calc 0.000 0.000 ppm 0.000 0.000
1 Y Calc 9.264 2.142 ppm 0.000 0.000

Element Table =====
Elmt Line Cond Ratio Intensity Error Intensity Conc. Conc Calibration
Code Code Method (c/s) (c/s) Method Method Coefficient
Si Ka 1 None 5.242 0.4665 Gaussian 0.356 FP 295391600000.000
P Ka 1 None 11.136 0.6998 Gaussian 0.173 FP 110743600000.000
S Ka 1 None 1.988 0.3110 Gaussian 0.031 FP 276895700.000
Cl Ka 1 None 0.000 0.0000 Gaussian 0.000 FP 125968900.000
K Ka 1 None 26.676 1.1708 Gaussian 0.052 FP 5653545.000
Ca Ka 1 None 156.666 2.6625 Gaussian 0.450 FP 1395956.000
Sc Ka 1 None 0.000 0.7277 Gaussian 0.000 FP 154866600000.000
Ti Ka 1 None 4.033 0.3780 Gaussian 0.007 FP 757189.600
V Ka 1 None 0.323 0.2002 Gaussian 0.000 FP 137896300000.000
Cr Ka 1 None 0.304 0.2717 Gaussian 0.000 FP 128910800000.000
Mn Ka 1 None 28.433 1.0278 Gaussian 0.009 FP 932747.400
Fe Ka 1 None 183.104 2.5463 Gaussian 0.079 FP 468437.400
Ni Ka 1 None 0.088 0.2567 Gaussian 0.000 FP 123031900000.000
Cu Ka 1 None 1.625 0.3375 Gaussian 0.000 FP 116326900000.000
Zn Ka 1 None 13.433 0.7286 Gaussian 0.006 FP 213715.100
Rb Ka 1 None 0.470 0.2807 Gaussian 0.001 FP 40507.900
Y Ka 1 None 1.201 0.2777 Gaussian 0.001 FP 133742.300
Bi La 1 None 1.376 0.2932 Gaussian 0.021 FP 13758.160

Analysis Conditions =====
Targ Filter Thick. kV uA ---Detector--- Thick. Atmos Preset Actual
mg/cm2 Type Filter mg/cm2 Time(s) Time(s)
1 Ag None 0.00 30.0 5.0 Si drift None 0.0 Air 0.0 259.7

Processing Conditions =====
No. Escape Sum Back C/R Blank ----Blank----
Smths Peaks Peaks Type Ratio Rem. ----File-----
1 2 Yes Yes Auto No Yes C:\Resultados Fluorescência por Raios-x\Marli_Substrato

CrossRoads Scientific XRF Analysis Report

File: C:\Resultados Fluorescência por Raios-x\Marli_Substrato Cogumelos 18_05_17\Processado_Br
9:31:25 AM 25-May-17

Stainless Steel Standard

Layer Table =====
Thick Type Error Units Density Norm. Total
1 0.00 Bulk 0.00 mg/cm2 0.00 Off 8.83

Sample Table =====
Layer Component Type Conc. Error Units Mole% Error
1 Ca Calc 4799.16 85.490 ppm 0.395 0.007
1 Fe Calc 106.07 1.124 ppm 0.006 0.000
1 Ti Calc 203.66 10.953 ppm 0.014 0.001
1 Si Calc 6067.92 374.039 ppm 0.713 0.044
1 P Calc 2266.37 132.418 ppm 0.242 0.014
1 S Calc 321.35 63.336 ppm 0.033 0.007
1 Cl Calc 0.000 0.000 ppm 0.000 0.000
1 K Calc 684.63 26.367 ppm 0.058 0.002
1 Mn Calc 83.483 3.072 ppm 0.005 0.000
1 Zn Calc 53.879 2.796 ppm 0.003 0.000
1 Rb Calc 7.333 2.602 ppm 0.000 0.000
1 Bi Calc 115.44 27.837 ppm 0.002 0.000
1 Sc Calc 0.000 0.000 ppm 0.000 0.000
1 Cr Calc 0.000 0.000 ppm 0.000 0.000
1 Ni Calc 0.000 0.000 ppm 0.000 0.000
1 Cu Calc 0.000 0.000 ppm 0.000 0.000
1 V Calc 0.000 0.000 ppm 0.000 0.000
1 Y Calc 6.190 1.644 ppm 0.000 0.000

Element Table =====
Elmt Line Cond Ratio Intensity Error Intensity Conc. Conc Calibration
Code Code Method (c/s) (c/s) Method Method Coefficient
Si Ka 1 None 10.619 0.6546 Gaussian 0.607 FP 29539160000.000
P Ka 1 None 12.962 0.7573 Gaussian 0.227 FP 1192140000.000
S Ka 1 None 1.268 0.2499 Gaussian 0.032 FP 192657600.000
Cl Ka 1 None 0.000 0.0000 Gaussian 0.000 FP 125968900.000
K Ka 1 None 34.243 1.3188 Gaussian 0.068 FP 5823729.000
Ca Ka 1 None 159.220 2.6879 Gaussian 0.480 FP 1387995.000
Sc Ka 1 None 0.000 0.7220 Gaussian 0.000 FP 15486660000.000
Ti Ka 1 None 12.442 0.6667 Gaussian 0.020 FP 757189.600
V Ka 1 None 0.185 0.2751 Gaussian 0.000 FP 13789630000.000
Cr Ka 1 None 0.009 0.1686 Gaussian 0.000 FP 12891080000.000
Mn Ka 1 None 29.287 1.0778 Gaussian 0.008 FP 930780.400
Fe Ka 1 None 315.786 3.3455 Gaussian 0.011 FP 5600236.000
Ni Ka 1 None 0.367 0.3759 Gaussian 0.000 FP 12303190000.000
Cu Ka 1 None 4.232 0.5196 Gaussian 0.000 FP 11632690000.000
Zn Ka 1 None 14.905 0.7735 Gaussian 0.005 FP 218078.600
Rb Ka 1 None 0.690 0.2446 Gaussian 0.001 FP 58065.200
Y Ka 1 None 1.027 0.2727 Gaussian 0.001 FP 133742.300
Bi La 1 None 0.920 0.2218 Gaussian 0.012 FP 13758.160

Analysis Conditions =====
Targ Filter Thick. kV uA ---Detector--- Thick. Atmos Preset Actual
mg/cm2 Type Filter mg/cm2 Time(s) Time(s)
1 Ag None 0.00 30.0 5.0 Si drift None 0.0 Air 0.0 258.8

Processing Conditions =====
No. Escape Sum Back C/R Blank ----Blank----
Smths Peaks Peaks Type Ratio Rem. ----File-----
1 2 Yes Yes Auto No Yes C:\Resultados Fluorescência por Raios-x\Marli_Substrato

CrossRoads Scientific XRF Analysis Report

File: C:\Resultados Fluorescência por Raios-x\Marli_Substrato Cogumelos_18_05_17\Processado_Br
9:33:04 AM 25-May-17

Stainless Steel Standard

Layer Table =====
Thick Type Error Units Density Norm. Total
1 0.00 Bulk 0.00 mg/cm2 0.00 Off 8.83

Sample Table =====
Layer Component Type Conc. Error Units Mole% Error
1 Ca Calc 4365.61 79.226 ppm 0.393 0.007
1 Fe Calc 54.377 0.878 ppm 0.004 0.000
1 Ti Calc 35.081 5.155 ppm 0.003 0.000
1 Si Calc 1413.30 194.842 ppm 0.181 0.025
1 P Calc 1635.13 91.243 ppm 0.190 0.011
1 S Calc 290.45 40.422 ppm 0.033 0.005
1 Cl Calc 0.000 0.000 ppm 0.000 0.000
1 K Calc 594.80 22.627 ppm 0.055 0.002
1 Mn Calc 103.51 3.660 ppm 0.007 0.000
1 Zn Calc 61.504 3.210 ppm 0.003 0.000
1 Rb Calc 8.880 5.953 ppm 0.000 0.000
1 Bi Calc 146.27 38.638 ppm 0.003 0.001
1 Sc Calc 0.000 0.000 ppm 0.000 0.000
1 Cr Calc 0.000 0.000 ppm 0.000 0.000
1 Ni Calc 0.000 0.000 ppm 0.000 0.000
1 Cu Calc 0.000 0.000 ppm 0.000 0.000
1 V Calc 0.000 0.000 ppm 0.000 0.000
1 Y Calc 10.017 2.247 ppm 0.000 0.000

Element Table =====
Elmt Line Cond Ratio Intensity Error Intensity Conc. Conc Calibration
Code Code Method (c/s) (c/s) Method Method Coefficient
Si Ka 1 None 2.119 0.2921 Gaussian 0.141 FP 295391600000.000
P Ka 1 None 14.160 0.7901 Gaussian 0.164 FP 112538600000.000
S Ka 1 None 2.447 0.3406 Gaussian 0.029 FP 323672300.000
Cl Ka 1 None 0.000 0.0000 Gaussian 0.000 FP 125968900.000
K Ka 1 None 34.647 1.3180 Gaussian 0.059 FP 5830949.000
Ca Ka 1 None 151.728 2.6197 Gaussian 0.437 FP 1412391.000
Sc Ka 1 None 0.000 0.6813 Gaussian 0.000 FP 154866600000.000
Ti Ka 1 None 1.783 0.2618 Gaussian 0.004 FP 757189.600
V Ka 1 None 0.000 0.1566 Gaussian 0.000 FP 137896300000.000
Cr Ka 1 None 0.202 0.2057 Gaussian 0.000 FP 128910800000.000
Mn Ka 1 None 30.472 1.0775 Gaussian 0.010 FP 928249.700
Fe Ka 1 None 135.839 2.1921 Gaussian 0.005 FP 5600236.000
Ni Ka 1 None 0.252 0.2723 Gaussian 0.000 FP 123031900000.000
Cu Ka 1 None 3.391 0.4112 Gaussian 0.000 FP 116326900000.000
Zn Ka 1 None 13.832 0.7219 Gaussian 0.006 FP 214970.200
Rb Ka 1 None 0.371 0.2485 Gaussian 0.001 FP 32251.030
Y Ka 1 None 1.292 0.2898 Gaussian 0.001 FP 133742.300
Bi La 1 None 0.941 0.2485 Gaussian 0.015 FP 13758.160

Analysis Conditions =====
Targ Filter Thick. kV uA ---Detector--- Thick. Atmos Preset Actual
mg/cm2 Type Filter mg/cm2 Time(s) Time(s)
1 Ag None 0.00 30.0 5.0 Si drift None 0.0 Alr 0.0 259.9

Processing Conditions =====
No. Escape Sum Back C/R Blank ----Blank----
Smths Peaks Peaks Type Ratio Rem. ----File-----
1 2 Yes Yes Auto No Yes C:\Resultados Fluorescência por Raios-x\Marli_Substrato

APÊNDICE B – MODELO DE REGRESSÃO LINEAR PARA OS RESULTADOS QUANTO A FORÇA APLICADA AOS CORPOS DE PROVA COM 1 E 5 % DE SUBSTRATO

Resultados da Análise

Tabela da ANOVA - Força aplicada (7 dias)					
Fatores	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Tipo de cimento	1	56280	56280	0,04	0,85
Qtdd substrato	1	449685055	449685055	319,25	0,00
Tipo de cimento:Qtdd substrato	1	9453	9453	0,01	0,94
Resíduos	4	5634274	1408568		

Análise exploratória (resíduos)					
Mínimo	1Q	Mediana	Média	3Q	Máximo
-1611	-360,9	-1,847E-13	-7,816E-14	360,9	1611

Coefficientes					
Preditor	Efeitos	Estimativa	Desvio Padrão	Estat. t	P-valor
Intercepto	15021	7511	593	12,66	0,00
Tipo de cimento	335,5	168	839	0,20	0,85
Qtdd substrato	-14926	-7463	593	-12,58	0,00
Tipo de cimento:Qtdd substrato	-137,5	-69	839	-0,08	0,94

Medida Descritiva da Qualidade do Ajuste			
Graus de Liberdade			
Desvio Padrão dos Resíduos	de	R²	R² Ajustado
1186	4	0,99	0,98

Intervalo de confiança para os parâmetros		
	2,50%	97,50%
(Intercept)	5862,9	9158,1
Tipo de cimento	-2162,3	2497,8
Qtdd substrato	-9110,6	-5815,4
Tipo de cimento:Qtdd substrato	-2398,8	2261,3

Resultados da Análise

Tabela da ANOVA - Força aplicada (14 dias)					
Fatores	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Tipo de cimento	1	8757113	8757113	2,02	0,23
Qtdd substrato	1	439175885	439175885	101,28	0,00
Tipo de cimento:Qtdd substrato	1	9266513	9266513	2,14	0,22
Resíduos	4	17344378	4336095		

Análise exploratória (resíduos)					
Mínimo	1Q	Mediana	Média	3Q	Máximo
-2243	-1438	-2,806E-13	-1,545E-13	1438	2243

Coefficientes					
Preditor	Efeitos	Estimativa	Desvio Padrão	Estat. t	P-valor
Intercepto	17195	8598	1041	8,26	0,00
Tipo de cimento	-4185	-2093	1472	-1,42	0,23
Qtdd substrato	-16971	-8486	1041	-8,15	0,00
Tipo de cimento:Qtdd substrato	4305	2153	1472	1,46	0,22

Medida Descritiva da Qualidade do Ajuste			
Desvio Padrão dos Resíduos	Graus de Liberdade	R²	R² Ajustado
2082	4	0,96	0,94

Intervalo de confiança para os parâmetros		
	2,50%	97,50%
(Intercept)	5706,8	11488,2
Tipo de cimento	-6180,7	1995,6
Qtdd substrato	-11376,2	-5594,8
Tipo de cimento:Qtdd substrato	-1935,6	6240,6

Resultados da Análise

Tabela da ANOVA - Força aplicada (28 dias)					
Fatores	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Tipo de cimento	1	2544768	2544768	3,48	0,14
Qtdd substrato	1	511904005	511904005	700,42	0,00
Tipo de cimento:Qtdd substrato	1	2152813	2152813	2,95	0,16
Resíduos	4	2923401	730850		

Análise exploratória (resíduos)					
Mínimo	1Q	Mediana	Média	3Q	Máximo
-1087	-402,7	-8,349E-14	-6,661E-15	402,7	1087

Coefficientes					
Preditor	Efeitos	Estimativa	Desvio Padrão	Estat. t	P-valor
Intercepto	15261	7631	427	17,85	0,00
Tipo de cimento	2256	1128	605	1,87	0,14
Qtdd substrato	-14961	-7481	428	-17,50	0,00
Tipo de cimento:Qtdd substrato	-2075	-1038	605	-1,72	0,16

Medida Descritiva da Qualidade do Ajuste			
Desvio Padrão dos Resíduos	Graus de Liberdade	R²	R² Ajustado
855	4	0,99	0,99

Intervalo de confiança para os parâmetros		
	2,50%	97,50%
(Intercept)	6443,71	8817,29
Tipo de cimento	-550,37	2806,37
Qtdd substrato	-8667,29	-6293,71
Tipo de cimento: Qtdd substrato	-2715,87	640,87

APÊNDICE C – RESULTADO COMPLETO DO ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA DOS CORPOS DE PROVA

CP	MASSA SECA (g)	MÉDIA (g)	DESVIO PADRÃO	TEMPO DE IMERSÃO															ABSORÇÃO ÁGUA (%)	MÉDIA (%)	DESVIO PADRÃO
				4 h	MÉDIA (g)	DESVIO	8 h	MÉDIA (g)	DESVIO	24 h	MÉDIA (g)	DESVIO	48 h	MÉDIA (g)	DESVIO	72 h	MÉDIA (g)	DESVIO			
107	3539			3636			3693			3747			3750			3750			5,96		
108	3549	3532	22	3649	3631	21	3702	3685	21	3750	3735	25	3753	3738	24	3753	3738	24	5,76	5,83	0,11
109	3508			3608			3661			3706			3710			3710			5,77		
117	3165			3354			3430			3478			3486			3484			10,09		
118	3136	3148	15	3322	3333	18	3405	3414	14	3451	3461	15	3460	3469	15	3459	3468	14	10,30	10,17	0,11
119	3142			3323			3407			3452			3461			3460			10,12		
127	3592			3654			3713			3781			3785			3784			5,34		
128	3587	3595	9	3630	3654	24	3684	3711	27	3780	3786	10	3785	3790	9	3785	3790	10	5,51	5,44	0,08
129	3604			3677			3738			3798			3801			3801			5,45		
137	3064			3234			3313			3354			3349			3348			9,28		
138	2997	3076	86	3152	3230	77	3260	3325	72	3279	3359	82	3268	3355	91	3265	3354	92	8,94	9,03	0,22
139	3168			3305			3402			3443			3449			3449			8,87		
147	3472			3527			3603			3693			3694			3695			6,41		
148	3523	3503	27	3568	3544	22	3634	3602	32	3735	3719	22	3736	3721	23	3736	3722	23	6,07	6,23	0,17
149	3516			3536			3570			3728			3733			3733			6,19		
157	3416			3493			3557			3637			3641			3639			6,54		
158	3463	3477	70	3542	3553	66	3607	3617	66	3693	3699	65	3696	3702	65	3695	3701	65	6,70	6,44	0,31
159	3553			3624			3688			3767			3771			3770			6,09		
168	3543			3618			3678			3739			3742			3740			5,57		
169	3529	3538	8	3609	3616	6	3669	3675	5	3725	3734	8	3727	3736	8	3727	3735	7	5,63	5,58	0,04
170	3542			3620			3679			3738			3741			3739			5,55		