

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

MATHEUS CLAUDINO DE SOUSA

**APLICAÇÃO DA MATRIZ DE AVALIAÇÃO NA SELEÇÃO DE
ADIÇÕES MINERAIS UTILIZADAS NA COMPOSIÇÃO DE
CONCRETOS PARA ESTACAS PRÉ-MOLDADAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2021

MATHEUS CLAUDINO DE SOUSA

**APLICAÇÃO DA MATRIZ DE AVALIAÇÃO NA SELEÇÃO DE ADIÇÕES
MINERAIS UTILIZADAS NA COMPOSIÇÃO DE CONCRETOS PARA ESTACAS
PRÉ-MOLDADAS**

**Application of the evaluation matrix in the selection of mineral additions used
in the composition of concretes for precast stake**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).¹

Orientador: Prof. Dr. Wellington Mazer

Coorientador: Prof. Dr. José Alberto Cerri

CURITIBA

2021

1



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais.

Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

MATHEUS CLAUDINO DE SOUSA

**APLICAÇÃO DA MATRIZ DE AVALIAÇÃO NA SELEÇÃO DE ADIÇÕES
MINERAIS UTILIZADAS NA COMPOSIÇÃO DE CONCRETOS PARA ESTACAS
PRÉ-MOLDADAS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 26 de Agosto de 2021

Wellington Mazer

Doutorado

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

José Alberto Cerri

Doutorado

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Luciene Ferreira Schiavoni Wiczick

Mestrado

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CURITIBA

2021

Dedico este trabalho à minha família, pela
determinação e apoio em minhas
escolhas e decisões, por mais difíceis que
foram.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo da minha vida, e não somente nestes anos como universitário, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer.

A esta universidade, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte superior, eivado pela acendrada confiança no mérito e ética aqui presentes.

Ao meu orientador Prof. Dr. Wellington Mazer, pelo empenho dedicado à elaboração deste trabalho.

Ao meu coorientador Prof. Dr. José Alberto Cerri pela oportunidade e apoio na elaboração deste trabalho.

Ao técnico de laboratório Felipe Perretto pela atenção e empenho para a realização dos ensaios.

Agradeço a todos os professores por me proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional, por tanto que se dedicaram a mim, não somente por terem me ensinado, mas por terem me feito aprender. A palavra mestre, nunca fará justiça aos professores dedicados aos quais sem nominar terão os meus eternos agradecimentos.

Aos meus pais, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

Engenharia Civil não é sobre construir
coisas, mas sim, executar sonhos.
(ALVES, 2020)

RESUMO

As fundações são de extrema importância para a execução de uma edificação, por garantir a estabilidade. O uso de uma fundação que não seja adequada, resulta no aumento de custos na execução, bem como durante a operação, podendo gerar problemas na estrutura da edificação, cuja correção pode ter um custo elevado ou até mesmo ser inviável. Estaca pré-moldada de concreto é uma excelente alternativa para obras que possuem prazo curto, auxilia na obtenção de selos ambientais e, reduz a quantidade de resíduos de construção. A correta seleção das matérias primas e execução da fundação é primordial para garantir o melhor desempenho da edificação durante a vida útil. A questão ambiental e econômica justifica o estudo, reduzindo o impacto ambiental ao incluir materiais na composição do concreto e o custo das adições minerais são mais baixas que o cimento. Nesta monografia será apresentado um método de seleção racional entre dois tipos de adições minerais, sílica ativa e metacaulim, na composição do concreto de estacas pré-moldadas. Tem por objetivo a seleção da adição mineral que garante melhor desempenho do concreto de estacas pré-moldadas entre os parâmetros escolhidos para análise. Analisou-se dados da literatura para encontrar o teor máximo de substituição do cimento por as adições minerais. De posse dos dados necessários e dentre os parâmetros de resistência a compressão, resistência a tração e absorção de água, a matriz de avaliação selecionou a adição mineral que obteve maior valor de peso versus nota.

Palavras-chave: Fundação. Estaca. Pré-moldado. Seleção. Concreto.

ABSTRACT

Foundations are extremely important for the execution of a building because they guarantee stability. The use of a foundation that is not adequate results in increased costs during execution, as well as during operation, and can cause problems in the structure of the building, whose correction can be costly or even unfeasible. Precast concrete piling is an excellent alternative for short construction deadlines, helps to obtain environmental seals, and reduces the amount of construction waste. The correct selection of raw materials and execution of the foundation is paramount to ensure the best performance of the building during its lifetime. The environmental and economic issue justifies the study, reducing the environmental impact by including materials in the composition of concrete and the cost of mineral additions are lower than cement. In this monograph, a rational selection method between two types of mineral admixtures, silica active and metacaulim, in the composition of concrete for precast cut piles. It aims to select the mineral addition that ensures better performance of precast pile caps concrete among the parameters chosen for the analyses. Literature data was analyzed to find the maximum content of cement substitution for the mineral additions. From the pose of the required data and among the parameters compressive strength, tensile strength, and water absorption, the evaluation matrix selected the mineral addition that obtained the highest weight versus grade value.

Keywords: Foundation. Stake. Precast. Selection. Concrete.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Concreto com sílica ativa	18
Figura 2 - Concreto sem sílica ativa	18
Figura 3 - Pasta de concreto com metacaulim	19
Figura 4 - Pasta de concreto sem metacaulim	19
Figura 5 - Seções transversais mais comuns em estacas pré-moldadas.....	23
Figura 6 - Emenda de estaca com solda de anéis	23
Figura 7 - Estacas pré-moldadas de concreto.....	24
Figura 8 - Cimento CPV - ARI Cauê.....	27
Figura 9 - Esquema da apresentação das substituições.....	35

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1 - Matriz de avaliação genérica.....	30
Quadro 2 - Matriz de avaliação	39
Tabela 1 - Relatório de ensaios químicos do cimento CPV - ARI	28
Tabela 2 - Características do CPV - ARI e exigências da ABNT NBR 16697:2018 ..	28
Tabela 3 - Propriedades do metacaulim HP Ultra	29
Tabela 4 - Dosagem do concreto referencia	34
Tabela 5 - Dosagem do concreto com sílica ativa.....	35
Tabela 6 - Dosagem do concreto com metacaulim	35
Tabela 7 - Ensaio de resistência à compressão axial	36
Tabela 8 - Resistência à tração por compressão diametral	36
Tabela 9 - Absorção de água	37
Tabela 10 - Escala de notas para ensaio de resistência à compressão axial	37
Tabela 11 - Notas do ensaio de resistência à compressão axial.....	37
Tabela 12 - Escala de notas para ensaio de resistência à tração por compressão diametral.....	38
Tabela 13 - Notas do ensaio de resistência à tração por compressão diametral	38
Tabela 14 - Escala de notas para ensaio de absorção de água	38
Tabela 15 - Notas do ensaio de absorção de água.....	38

LISTA DE ABREVIATURAS

m ²	Metro quadrado
mm	Milímetros
cm ²	Centímetro quadrado
cm ³	Centímetros cúbicos
µm	Micrômetro
F _{ck}	Resistência característica do concreto à compressão
MPa	MegaPascal

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
CP V - ARI	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial
SiO	Monóxido de Silício
SiO ₂	Dióxido de Silício (sílica ativa)
Al ₂ O ₃	Trióxido de Alumínio
Ca(OH) ₂	Di-hidróxido de Cálcio
Fe ₂ O ₃	Trióxido de Ferro
CaO	Óxido de Cálcio
MgO	Óxido de Magnésio
SO ₃	Trióxido de Enxofre

LISTA DE ACRÔNIMOS

ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
-----	---

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVO	12
1.2	JUSTIFICATIVA	13
2	REVISÃO DA LITERATURA	14
2.1	MODELO RACIONAL DE TOMADA DE DECISÃO	14
2.2	MATRIZ DE AVALIAÇÃO	15
2.3	REAÇÃO POZOLÂNICA	17
2.3.1	Concreto com Sílica Ativa	18
2.3.2	Concreto com Metacaulim	19
2.4	TEOR DE HIDRÓXIDO DE CÁLCIO FIXADO POR UM MATERIAL POZOLÂNICO	19
2.4.1	Sílica Ativa	20
2.4.2	Metacaulim	20
2.5	DEFINIÇÃO DE ELEMENTO PRÉ-MOLDADO	21
2.6	SISTEMAS ESTRUTURAIS DE PRÉ-MOLDADO	21
2.7	ESTACAS PRÉ-MOLDADAS	22
2.7.1	Vantagens e Desvantagens de Estaca Pré-moldada	24
2.8	TRAÇO DO CONCRETO	25
3	MATERIAIS E MÉTODOS	27
3.1	MATERIAIS	27
3.1.1	Aglomerante Hidráulico	27
3.1.2	Água	28
3.1.3	Agregado Miúdo	28
3.1.4	Agregado Graúdo	29
3.1.5	Sílica Ativa	29
3.1.6	Metacaulim	29
3.2	MÉTODOS	30
3.2.1	Matriz de Avaliação	30
3.2.2	Corpos de Prova	31
3.2.3	Cura do Concreto	31
3.2.4	Teor Máximo de Adição Mineral em Relação ao Cimento	31
3.2.5	Teor Máximo de Sílica Ativa em Relação ao Cimento	32
3.2.6	Teor Máximo de Metacaulim em Relação ao Cimento	32
3.2.7	Ensaio	32
3.2.7.1	Resistência à compressão axial	32
3.2.7.2	Resistência à tração por compressão diametral	33
3.2.7.3	Absorção de água	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
4.1	TEOR MÁXIMO DE SÍLICA ATIVA EM RELAÇÃO AO CIMENTO	34
4.2	TEOR MÁXIMO DE METACAU LIM EM RELAÇÃO AO CIMENTO	34
4.3	DOSAGEM DO CONCRETO	34
4.4	ENSAIOS	36
4.5	MATRIZ DE AVALIAÇÃO	37
4.6	DISCUSSÃO GERAL	39

4.7 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	40
5 CONCLUSÃO	41

1 INTRODUÇÃO

A construção civil elabora e executa obras de edificações, estradas, pontes e outras infraestruturas, em trabalho conjunto de diversos profissionais da área e outras que se relacionam. Por envolver elevado número de profissionais e obras em todos os lugares, tem apresentado grande crescimento, bem como a demanda do mercado, linhas de financiamento pública e privada, programas específicos de governos estaduais e federal, além de momentos de crescimento da economia.

De modo geral, a construção civil tem pontos negativos que em geral são associados à baixa produtividade, elevado desperdício e baixa capacidade de controle de qualidade. Visando diminuir algumas dessas deficiências existentes no setor, técnicas construtivas estão sendo estudadas e desenvolvidas principalmente para o concreto, material primordial para o setor.

Englobado nessas técnicas está a forma de produção e materiais constituintes. A adição mineral no concreto pode aumentar consideravelmente alguns dos parâmetros, como resistência a compressão, durabilidade e permeabilidade.

Dentre as inúmeras formas de selecionar quais materiais são mais eficazes para melhorar o desempenho das estacas pré-moldadas está a matriz de avaliação. A seleção de uma opção dentre outras existentes é conhecida como Tomada de Decisão, a qual é um processo cognitivo e que se divide entre Teorias Racionais e Não Racionais. A importância de uma escolha racional está em julgar conscientemente, e com a razão, a opção que garante maximização e otimização de um produto ou processo. Os ideais do conhecimento e a experiência são substituídos pelos cálculos matemáticos.

A matriz de avaliação deve ser elaborada com variáveis que determinam o grau de importância ou de solução que cada alternativa agregará ao negócio, contendo parâmetros qualitativos e quantitativos, para que possam ser classificados por notas ou pontos para viabilizar a comparação.

1.1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é aplicar a matriz de avaliação, ferramenta de tomada de decisão racional, selecionando a melhor adição mineral entre sílica ativa e metacaulim para compor o traço de um concreto usado em estaca pré-moldada.

Os objetivos específicos são:

- calcular o teor de adição mineral a ser incorporada ao concreto por meio da substituição da massa do cimento;
- realizar ensaios laboratoriais para obter os valores dos parâmetros;
- elaborar uma escala de notas para os parâmetros.

1.2 JUSTIFICATIVA

A pesquisa justifica-se a contribuir para a preservação dos recursos naturais e do meio ambiente, quando considerada a redução do consumo de energia e da emissão de CO₂ na produção de cimento e de concreto. O concreto é capaz de constituir materiais oriundos de indústrias e agricultura. Abrindo os horizontes para novas possibilidades do uso do cimento Portland – melhorado em suas propriedades de acordo com sua finalidade, e mais sustentável que o tradicional.

A questão econômica também é justificada, pois as adições minerais têm custos e preços menores quando comparadas ao clínquer e/ou ao cimento Portland.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo estão reunidas as fontes de pesquisa que fornecem o embasamento teórico para este trabalho.

2.1 MODELO RACIONAL DE TOMADA DE DECISÃO

A vida é baseada em tomar decisões, algumas simples, como escolher uma roupa para trabalhar, outras complexas, como qual profissão seguir. Na vida corporativa acontece o mesmo, com a possibilidade de interferir em parte ou no todo da organização. Essa decisão pode ser assertiva ou refutativa, o que interessa é garantir os acertos em decisões mais importantes para a organização (MOTTA, 2021).

Motta (2021) afirma que é preciso tomar uma decisão para resolver um problema (funcionamento inadequado) ou aproveitar a oportunidade de maximizar ganhos (bater metas). Entre o estado atual de desempenho e o final, deve haver melhoras perceptíveis. As decisões são tomadas entre as alternativas que proporcionam estes ganhos.

De acordo com Motta (2021), o modelo racional pressupõe que a decisão ideal seria a escolhida, independente de quem fosse o tomador da decisão. O modelo tem como premissas:

- O problema ou a oportunidade está bem definido e compreendido;
- Os objetivos e metas são claros;
- Não há limitação de tempo e de recursos para a análise;
- As informações estão disponíveis e confiáveis, em quantidade e qualidade;
- Os critérios de avaliação das alternativas são conhecidos e estáveis;
- O tomador de decisão é racional, usa a lógica para avaliar e escolher as alternativas, maximizando os objetivos.

O modelo racional de tomada de decisão assume que devem ser utilizados procedimentos racionais, para que sejam obtidas decisões de qualidade. É um modelo teórico e normativo, que modela o processo decisório, tornando-o mais racional (MOTTA, 2021).

“O modelo racional de tomada de decisão refere-se ao processo decisório no qual os administradores tomam decisões ótimas que maximizam os resultados da organização. Dessa forma, o processo levaria a uma decisão ideal, independente de quem a tomasse. Na realidade, o modelo de tomada de decisão racional não tem a pretensão de descrever como as decisões são tomadas, mas sim como deveriam ser tomadas”. (SOBRAL; ALKETA, 2008, p. 108).

Existem várias ferramentas para tomada de decisão, Mathias (2018) cita 6 dessas opções, as quais são:

- Pesquisas automatizadas: Realizar pesquisas pode ajudar a conhecer melhor o público alvo, o mercado em que a empresa atua ou até mesmo os funcionários e os processos internos. Com a ajuda da tecnologia, pode-se elaborar pesquisas e obter dados confiáveis e que orientarão as estratégias de negócio.
- Método FCA: O método Fato-Causa-Ação, é utilizado para identificar a causa principal de determinado problema. Essa ferramenta ajuda a prevenir riscos e permite que o gestor tenha um conhecimento mais aprofundado sobre o funcionamento de seus processos.
- Análise de Pareto: A análise é feita sobre um gráfico de colunas que indica e ordena a frequência de determinadas ocorrências. A ideia é a seguinte: 80% das consequências advêm de 20% das causas.
- Matriz de decisão: Funciona como uma análise de critério que visa identificar pontos fortes e fracos de cada objetivo. Sua aplicação é bem simples.
- Matriz GUT: É uma ferramenta que ajuda o gestor a priorizar determinados processos. Ela classifica os problemas em 3 categorias: Gravidade, Urgência e Tendência.
- Matriz de Eisenhower: Serve para priorizar tarefas. A ideia é dispor todas as tarefas em 4 quadrantes divididos em dois eixos: Importância e Urgência. Cada quadrante terá um comando: Fazer agora, Agendar, Delegar ou Eliminar.

2.2 MATRIZ DE AVALIAÇÃO

A matriz de avaliação ou também conhecida como matriz de decisão, segundo Viggiano (2003) pode ser caracterizada como:

- uma representação gráfica bidimensional, na qual são relacionadas ações e componentes em separado ou em conjunto;
- uma estrutura analítica que possibilita a formulação de um ou mais modelos de sistemas para a situação estudada;
- um domínio mínimo das variantes que envolvem a escolha mais apropriada dos materiais e a aplicabilidade às premissas de projeto e,
- uma metodologia que visa auxiliar, de modo assertivo e racional, a tomada de decisão em processos de seleção em todas as fases de produção.

Para a racionalização de um processo de seleção é preciso que o problema possua índices de avaliação bem definidos para ponderar as alternativas de solução de acordo com os objetivos de cada etapa (GUELCOS, 2021).

Essa ferramenta permite que o usuário liste as opções de solução e analise as oportunidades, bem como os riscos envolvidos em cada uma delas. Ao fim da avaliação, as alternativas mais vantajosas são comparadas e enfim a decisão é tomada racionalmente, com a garantia que é a melhor escolha (GUELCOS, 2021).

O objetivo principal da matriz de avaliação é melhorar o desempenho da empresa, seja na redução de custos, na eficiência, na produtividade ou na margem de lucro. Por isso, é importante estruturar da maneira certa e com parâmetros de avaliação que realmente ajudarão a definir as melhores oportunidades e os riscos de cada tomada de decisão (GUELCOS, 2021).

Em resumo, a matriz de avaliação deverá ser montada com variáveis que determinam o grau de relevância que cada alternativa agregará a decisão. Sendo assim, é importante que contenha parâmetros qualitativos e quantitativos, que possam ser classificados por notas ou pontos para viabilizar a comparação (GUELCOS, 2021).

Guelcos (2021) afirma que para construir uma matriz de avaliação eficiente, é importante seguir os seguintes passos:

1. Identificar o problema

O primeiro passo para construir uma matriz de avaliação é identificar e delimitar o problema que deve ser solucionado.

2. Definir os parâmetros de avaliação

A partir da definição do problema, os parâmetros de avaliação devem ser definidos de acordo com os pontos significativos para a empresa e, com questões técnicas / financeiras do objeto da avaliação.

3. Listar as alternativas de acordo com o objetivo da matriz de avaliação

Com o problema selecionado e os parâmetros definidos, o terceiro passo consiste em listar as alternativas para solucionar o problema.

4. Pontuar cada alternativa de acordo com os parâmetros de avaliação

Os parâmetros que serão avaliados podem ser pontuados com notas em ordem crescente que representem o quanto aquela alternativa atende a cada parâmetro. Um bom exemplo é pontuar com notas de 1 a 5 para cada parâmetro, sendo 1 uma resposta pouco significativa e 5 muito significativa.

5. Classificar e comparar as melhores opções

Após analisar e pontuar com notas para cada alternativa e para cada parâmetro, basta realizar uma visão geral das opções que tiveram maior desempenho na matriz e compará-las em busca de uma conclusão.

Dentro do conjunto de parâmetros, tem a pontuação, a qual é a valoração numérica do atributo estudado. Esta valoração não deve ser subjetiva, mas sim, fundamentada em pesquisa da literatura, da averiguação *in loco*, bem como testes práticos ou simulações (VIGGIANO, 2003).

Outro critério importante na avaliação é o peso dado a determinada alternativa. O valor do peso deve ser fruto da reflexão do projetista acerca dos quesitos mais importantes para cada projeto. Por exemplo, se o projeto se encontra em uma área delicada em termos de equilíbrio ambiental, deve-se pesar mais quesitos como comprometimento e impacto ambiental. Por outro lado, se a obra tiver limitação de orçamento, os atributos preço final e disponibilidade de mão de obra, serão mais relevantes (VIGGIANO, 2003).

A matriz de avaliação é elaborada a partir da pontuação de cada alternativa multiplicado pelo peso estabelecido. O somatório dos índices, adquiridos da multiplicação entre pontos e pesos, apresenta a pontuação total de cada alternativa que pode então ser comparada com o seu concorrente similar (VIGGIANO, 2003).

2.3 REAÇÃO POZOLÂNICA

Entende-se por atividade pozolânica a capacidade que uma determinada pozolana tem em reagir com o di-hidróxido de cálcio, na presença de água e produzir sílicato de cálcio hidratado. De outro modo, quanto mais alta a quantidade de íons

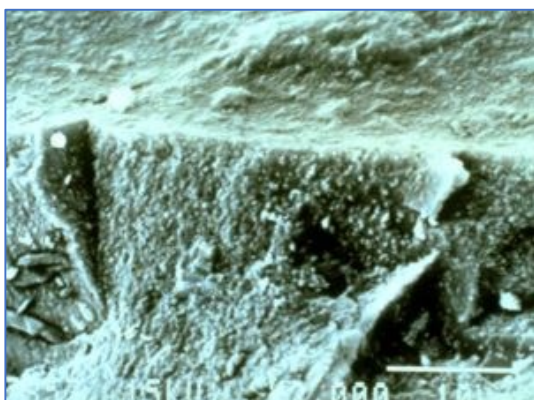
cálcio consumida pela pozolana, mais elevada é a atividade pozolânica (NITA; JOHN, 2007 *apud* MASSAZZA, 1993). A atividade de uma pozolana é governada basicamente pelas características físicas, químicas e morfológicas, da disponibilidade de di-hidróxido de cálcio e da umidade. A superfície específica, composição química, temperatura da reação e a presença de aditivos são fatores que podem afetar a atividade pozolânica (NITA; JOHN, 2007).

2.3.1 Concreto com Sílica Ativa

A sílica ativa é um material pozolânico que ao reagir quimicamente com íons cálcio em presença de água, aumenta o desempenho do concreto, preenchendo os vazios da zona de transição e, resulta em altas resistências à compressão. Outra vantagem importante é a durabilidade, pois está ligada diretamente à permeabilidade do concreto. A presença de sílica ativa na composição do concreto resulta no refinamento da zona de transição e da estrutura dos poros da matriz, reduzindo o acesso da água (TOMÉ, 2014).

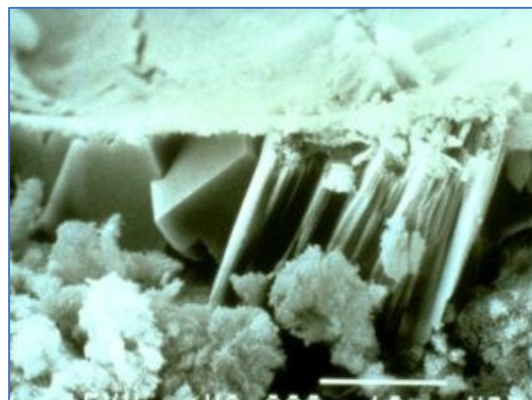
Na reação do cimento com a água, são formados compostos de sílicatos de cálcio hidratado e os hidróxidos de cálcio (sempre em excesso). Com isso, a sílica ativa potencializa a resistência do concreto, reagindo com os íons de cálcio formando os sílicatos de cálcio hidratado, iguais aos formados pela hidratação do cimento. Portanto, além de contribuir para a resistência, esse processo refina os poros do concreto, contribuindo para um elevado desempenho em ambientes agressivos (TECNOSIL, 2020). Nas Figuras 1 e 2 verifica-se as diferenças entre a porosidade de concretos com e sem sílica ativa.

Figura 1 - Concreto com sílica ativa



Fonte: TECNOSIL, 2020

Figura 2 - Concreto sem sílica ativa



Fonte: TECNOSIL, 2020

2.3.2 Concreto com Metacaulim

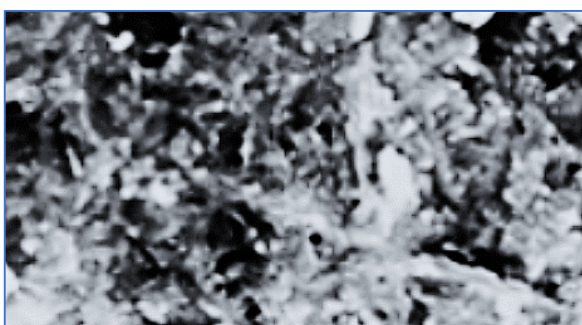
O metacaulim é um material pozolânico constituído basicamente de sílica (SiO_2) e alumina (Al_2O_3) na fase amorfa. O metacaulim é capaz de reagir com o hidróxido de cálcio, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, gerado como subproduto da hidratação do cimento Portland e formarem sílcato de cálcio hidratado, similar ao formado na hidratação do cimento Portland. A interação física com o cimento Portland modifica a reologia de concretos, argamassas e pastas no estado fresco e confere propriedades especiais relacionadas à durabilidade e ao desempenho mecânico no estado endurecido (MEDINA, 2011).

A elevada área específica melhora aspectos reológicos por meio da otimização da distribuição granulométrica da pasta, contribuindo para a retenção de água, aumento da coesão, redução da exsudação e segregação, facilitando o acabamento (MEDINA, 2011).

Segundo estudo feito por Quintão (2018), a incorporação de metacaulim melhora propriedades de resistência mecânica e de durabilidade do concreto.

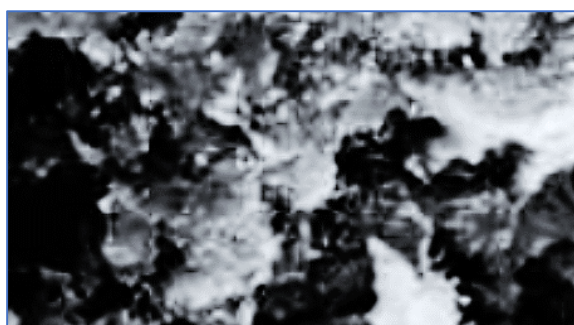
As Figuras 3 e 4 mostram uma comparação microscópica entre a pasta de concreto com e sem metacaulim, em que as regiões escuras são os interstícios.

Figura 3 - Pasta de concreto com metacaulim



Fonte: BELTRÃO; ZENAIDE, 2010

Figura 4 - Pasta de concreto sem metacaulim



Fonte: BELTRÃO; ZENAIDE, 2010

2.4 TEOR DE HIDRÓXIDO DE CÁLCIO FIXADO POR UM MATERIAL POZOLÂNICO

O teor de hidróxido de cálcio (CH) é uma importante variável para calcular-se o teor máximo de substituição de uma adição mineral em relação a massa de cimento.

Segundo Macioski e Perretto (2016 *apud* HOPPE, 2008; GOBBI, 2014) a versão modificada do Método Chappelle é a metodologia mais utilizada para determinar o teor de hidróxido de cálcio fixado por um material pozolânico. No método adaptado, a mistura é feita na relação 1:2 em massa do material pozolânico e do óxido de cálcio, e a determinação da cal consumida é realizada por titulação. Para materiais pozolânicos no Brasil, a ABNT NBR 15895:2010 determina que a pozolanicidade do material é definida pelo consumo de óxido de cálcio superior a 330 mg CaO/g pozolana, sendo que, por estequiometria este valor corresponde a 436 mg Ca(OH)₂/g pozolanas.

Macioski e Perretto (2016) fizeram uma análise físico-química do cimento CPV - ARI com a estimativa dos compostos anidros (Compostos de Bogue) e dos compostos hidratados (para 100% de hidratação), obtendo por meio de cálculos estequiométricos um teor de 27% de hidróxido de cálcio (CH).

2.4.1 Sílica Ativa

A partir da titulação efetuada da sílica ativa após o ensaio Chappelle, obteve-se o teor de cal fixada de 698 mg Ca(OH)₂/g de adição (MACIOSKI; PERRETTO, 2016). Segundo Medeiros (2017) o teor de cal fixado por unidade de massa de adição mineral é de 596 mg Ca(OH)₂/g de sílica ativa. Sales (2014) cita que o valor da atividade pozolânica é de 615 mg Ca(OH)₂/g de sílica ativa. Estes valores são superiores ao limite de 436 mg Ca(OH)₂/g de pozolanas. Desta forma, pode-se considerar a sílica ativa como reativa para utilização no cimento Portland.

2.4.2 Metacaulim

Medina (2011) definiu por experimento que o índice da atividade pozolânica é de 999 mg Ca(OH)₂/g de metacaulim. Menegat (2020) em sua monografia também concluiu por meio do método modificado Chappelle que o índice de atividade pozolânica do metacaulim é de 1.040 mg Ca(OH)₂/g. Raisdorfer (2015) identificou um índice de atividade pozolânica de 1.193 mg Ca(OH)₂/g de metacaulim. Estes valores também são superiores ao limite de 436 mg Ca(OH)₂/g de pozolanas. Desta forma, pode-se considerar o metacaulim como reativo para utilização no cimento Portland.

Os índices estão acima também dos 750 mg Ca(OH)₂/g previstos na ABNT NBR 15895:2010.

2.5 DEFINIÇÃO DE ELEMENTO PRÉ-MOLDADO

Conforme a ABNT NBR 9062:2017, define-se elemento pré-moldado como produtos moldados previamente e fora do local de utilização definitiva na estrutura. Devem ser executados conforme prescrições das ABNT NBR 14931:2004 e ABNT NBR 12655:2015 e ao controle da qualidade, para o qual se dispensa a existência de laboratório e demais instalações congêneres próprias.

2.6 SISTEMAS ESTRUTURAIS DE PRÉ-MOLDADO

De acordo com Acker (2002) na indústria de pré-moldados existe aparentemente muitos sistemas e soluções técnicas para as construções pré-moldadas. Entretanto, todos estes fazem parte de um número limitado de sistemas estruturais básicos, em que os princípios do projeto são semelhantes. Muitos destes sistemas podem ser combinados em uma mesma edificação. Os tipos mais comuns de sistemas estruturais de concreto pré-moldados são:

- estruturas reticuladas na forma de pilares e vigas de fechamento, utilizadas para armazéns, construções industriais e comerciais, etc.
- estruturas em esqueleto, na forma de pilares, vigas e lajes, para edificações de alturas médias e baixas, com um número pequeno de paredes de contraventamento para estruturas altas. As estruturas em esqueletos são utilizadas principalmente para construções de escritórios, escolas, hospitais, estacionamentos etc.
- estruturas em painéis estruturais, na forma de componentes de painéis portantes verticais e de painéis de lajes, as quais são usadas extensivamente para a construção de casas e apartamentos, hotéis, escolas, etc.
- estruturas para pisos, constituídos por vários tipos de elementos da laje montados para formar uma estrutura do piso capaz de distribuir a carga concentrada e transferir as forças horizontais para os sistemas de contraventamento. Os pisos pré-moldados são muito usados em conjunto com outros sistemas construtivos e materiais.

- sistemas para fachadas, na forma de painéis maciços ou painéis sanduíche, com ou sem função estrutural. Apresentam-se em todos os tipos de formato e execuções, desde o simples fechamento até os mais requintados painéis em concreto arquitetônico para escritórios e fachadas.
- sistemas celulares, consistem de células de concreto pré-moldado e, algumas vezes, são utilizados para blocos de banheiros, cozinhas, garagens, etc.
- estruturas para fundação, consistem de vários tipos de elementos divididos em dois grupos, fundações rasas e profundas.

2.7 ESTACAS PRÉ-MOLDADAS

Ao contrário das estacas moldadas *in loco*, que necessitam de retirada do solo, as estacas pré-moldadas, ao serem introduzidas no solo deslocam o mesmo deformando-o para a circunvizinhança. Essas características as fazem serem também conhecidas como estacas de deslocamento (PEREIRA, 2016).

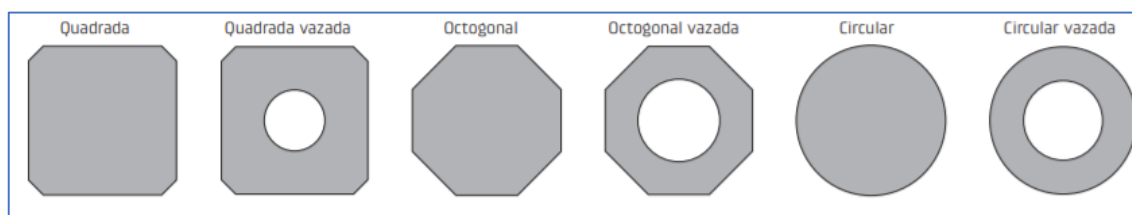
As estacas pré-moldadas podem ser armadas ou protendidas e são indicadas nos casos em que a camada resistente do solo, utilizada para suportar a estrutura encontra-se muito profunda ou sob uma camada espessa de solo mole (CASTRO *et al*, 2017).

Constituem-se em uma importante alternativa construtiva para fundações profundas e para estruturas de arrimo. De acordo com a função principal, podem ser classificadas em estacas normais e estacas-pranchas (EL DEBS, 2017).

As estacas pranchas são perfis de concreto com engastes laterais, que admitem a acoplagem de várias outras, permitindo a formação de uma cortina que quando cravada no terreno serve como contenção vertical (UFSC, 2020).

De acordo com El Debs (2017), as estacas normais podem ser executadas em concreto armado ou concreto protendido. Na Figura 5 estão mostradas as seções transversais mais empregadas nas estacas normais.

Figura 5 - Seções transversais mais comuns em estacas pré-moldadas



Fonte: EL DEBS, 2017

Segundo Bentes (2015), as estacas pré-moldadas são fornecidas em elementos com comprimentos variáveis entre 4 e 12 metros. Quando existe a necessidade de comprimentos maiores que 12 metros, as estacas podem ser emendadas gerando o comprimento desejado. As emendas podem ser executadas pela união soldada de dois anéis nas extremidades das estacas, garantindo uma continuidade estrutural das mesmas, conforme a Figura 6, ou pela utilização de luvas de aço, criando uma rótula no local da emenda.

Figura 6 - Emenda de estaca com solda de anéis



Fonte: PEREIRA, 2016

Conforme a ABNT NBR 6122:2019, nas estacas de concreto pré-moldado o dimensionamento estrutural deve ser feito utilizando-se as ABNT NBR 6118:2014, ABNT NBR 9062:2017 e ABNT NBR 16.258:2014, limitando o f_{ck} a 40 MPa. Nas duas extremidades da estaca, deve ser feito um reforço da armadura transversal, para levar em conta as tensões do impacto no processo de cravação. O fabricante deve apresentar curvas de interação na flexo-compressão e na flexo-tração do elemento estrutural.

Características como seção, formato, peso por metro, capacidade estrutural, resistência a tração e comprimento variam em função do fabricante escolhido. Deve-

se eleger a estaca e o fornecedor que melhor se adequem a necessidade da obra. As definições de capacidade de carga e profundidade são orientadas de modo a otimizar o desempenho geotécnico e diminuir o desperdício (PEREIRA, 2016).

A Figura 7 demonstra estacas pré-moldadas de concreto, em seção circular vazada já cravadas no solo.

Figura 7 - Estacas pré-moldadas de concreto



Fonte: ENSOLO, 2021

2.7.1 Vantagens e Desvantagens de Estaca Pré-moldada

De acordo com a Foá Engenharia (2020), as estacas pré-moldadas, utilizadas como elemento estrutural de fundação, são produzidas em instalações com rigoroso controle de qualidade, e apresentam as seguintes vantagens:

- qualidade superior do concreto pré-moldado, se comparado ao concreto moldado *in loco*, com inspeção desde o momento do recebimento das matérias-primas até o da instalação no solo e processo de mistura por meio de agitadores intensivos, com rígidos controles de pesagem dos componentes e da umidade;
- maior confiabilidade, pois sendo cravadas são submetidas a esforços superiores aos de utilização;
- acurado controle de execução com medições das reações do solo utilizando-se das técnicas nega e repique;
- facilidade nos ensaios e provas de carga;
- segurança para atravessar solos moles ou com elevado nível de água;
- obra limpa, sem resíduos de escavação e,
- custos pré-fixados.

Conforme ABNT NBR 6122:2019, o termo “nega” é a medida da penetração permanente de uma estaca, causada pela aplicação de um golpe de martelo ou pilão, a qual é medida, em geral, para uma série de dez golpes. Repique é a parcela elástica da penetração máxima de uma estaca, decorrente da aplicação de um golpe do martelo ou pilão.

Apesar de todo o controle de qualidade e custos competitivos, Bentes (2015) afirma que as estacas pré-moldadas apresentam algumas desvantagens, tais como:

- sobras e/ou quebras gerando perdas significativas;
- vibrações e ruídos em excesso;
- baixa produtividade (média de 100 metros por dia).

2.8 TRAÇO DO CONCRETO

Marmitti *et al.* (2016) diz que a escolha e o proporcionamento dos materiais constituintes de um concreto é, sem dúvida, uma etapa básica, porém seletiva. Os métodos de dosagem podem ser entendidos como estudos desenvolvidos para seleção e quantificação dos materiais constituintes do concreto, potencializado melhorias nos desempenhos físicos-mecânicos e maior durabilidade das estruturas. Parâmetros financeiros também são levados em consideração, desde que, a segurança seja garantida. Conforme destaca Boggio (2000), existe uma extensa bibliografia nacional que aborda métodos de dosagens, mesmo assim, estudos comparativos são sempre apreciados em virtude da possibilidade direta de comparação de desempenho e de consumo de materiais, possibilitando correlações financeiras.

O método IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) apresenta um traço menos rico, que por consequência proporciona um menor consumo de cimento. Isso se deve ao fato de que a dosagem do IPT, embora seja uma metodologia trabalhosa em relação às demais, produz ábacos de dosagem próprios, utilizando nas misturas experimentais os mesmos materiais que serão utilizados na produção dos concretos de aplicação real. Dessa forma, o método de dosagem do IPT permite que o potencial dos materiais componentes da mistura seja mais bem aproveitado, extraindo deles o limite do desempenho mecânico. Com base nisso, é possível afirmar, a princípio, que o método do IPT é capaz de fornecer um melhor custo-benefício, fato que pode ser

otimizado traçando-se curvas de Walz próprias, de forma que os materiais utilizados sejam usados com maior eficiência (TORALLES, *et al.*, 2018)

Cimenteiras geralmente utilizam o método IPT devido a menor utilização de cimento, o material mais caro que compõe o concreto. Devido a estas informações, a dosagem de concreto para este trabalho utilizou esse método.

O método IPT demanda tempo para ser executado, não sendo este o principal objetivo do estudo, coletou-se uma dosagem já realizada da literatura, com parâmetros próximos para o devido fim de utilização, estacas pré-moldadas.

Martins e Rodrigues (2018) concluíram que para uma resistência requerida de 25 MPa, foi obtido o seguinte traço unitário em massa seca:

$$1,000 : 1,732 : 1,978 : 0,5$$

O traço é composto na proporção de 1 parte de cimento, 1,732 partes de agregado miúdo, 1,978 partes de agregado graúdo e relação água/cimento de 0,5.

Ao utilizar este método de dosagem, Martins e Rodrigues (2018) afirmam que é possível observar algumas vantagens em relação aos demais métodos de dosagens existentes:

- o teor de argamassa ideal é determinado experimentalmente evitando-se dosar concreto com excesso ou deficiência de argamassa;
- não são necessários ensaios preliminares de composição granulométrica e massa específica dos materiais;
- é obtida a Curva de Abrams que serve para qualquer resistência desejada. Não é necessário fazer novas misturas para o acerto da dosagem;
- é rápido e prático de fazer, desde que se tenha um tecnologista experiente em dosagem.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste item se encontra um planejamento detalhado da execução e dos materiais utilizados para o estudo em questão.

3.1 MATERIAIS

A seguir estão dispostos os materiais, e suas composições, utilizados na obtenção do concreto estudado.

3.1.1 Aglomerante Hidráulico

O cimento utilizado foi o Portland (CPV - ARI) de alta resistência inicial, sob designação comercial cimento Cauê Estrutura, fornecido pela Comercial Lancare Ltda.

Este cimento, apresentado na Figura 8, é ideal para aplicação em lajes, pilares, vigas, pontes, viadutos, túneis, pisos industriais, argamassas de revestimento, fábricas de artefatos de concreto e pré-moldados, etc. Com resistência inicial acima de 26,5 MPa, o desempenho é duas vezes maior que o do cimento comum (INTERCEMENT BRASIL, 2021).

Figura 8 - Cimento CPV - ARI Cauê



Fonte: LAJES CURITIBA, 2021

O relatório de caracterização do cimento, da resistência e exigências de norma estão descritos na Tabela 1 e Tabela 2, respectivamente.

Tabela 1 - Relatório de ensaios químicos do cimento CPV - ARI

Caracterização				
Matéria prima	%	Origem	Extração	
Clínquer	85,00	Matéria virgem	Ijaci	MG
Gesso	2,50	Reutilização de resíduos gerados por outro processo industrial	Cajati	SP
Gesso	5,50	Reutilização de resíduos gerados por outro processo industrial	Pernambuco	PE
Calcáreo	5,00	Matéria virgem	Ijaci	MG
Outros	1,00	Reutilização de resíduos gerados por outro processo industrial		
Exigências químicas				
MgO		Perda ao fogo		SO ₃
2,48%		3,65%		3,98%

Fonte: CRUZ *et al*, 2014

Tabela 2 - Características do CPV - ARI e exigências da ABNT NBR 16697:2018

Idades	Resistência à compressão (MPa)				Blaine (cm ² /g)
	24 horas	3 dias	7 dias	28 dias	
NBR 16697:2018	≥ 14	≥ 24	≥ 34	-	≥ 3000
CPV ARI Cauê	27	37	42	48	5330

Fonte: NOGUEIRA, 2018 e ABNT NBR 16697:2018

3.1.2 Água

A água utilizada é proveniente da empresa SANEPAR, a qual realiza o abastecimento público da cidade de Curitiba - PR. De acordo com a ABNT NBR 15900-1:2009, a água de abastecimento público é considerada adequada para uso em concreto e não necessita de caracterização.

3.1.3 Agregado Miúdo

O agregado miúdo utilizado foi a areia média da marca Briforte, vendida em sacos de 20 kg. A empresa não fornece dados de caracterização do material, e devido ao tempo disponível e por esse não ser o objetivo de estudo, não foi realizado tais ensaios de caracterização.

3.1.4 Agregado Graúdo

O agregado graúdo utilizado é a brita 1 da marca Briforte, vendida em sacos de 20 kg. A empresa não fornece dados de caracterização do material, e devido ao tempo disponível e por esse não ser o objetivo de estudo, não foi realizado tais ensaios de caracterização.

3.1.5 Sílica Ativa

A sílica ativa utilizada é proveniente da empresa Methatec Tecnologia em Sustentabilidade Ltda. A empresa não fornece dados de caracterização do material, e devido ao tempo disponível e por esse não ser o objetivo de estudo, não foi realizado tais ensaios de caracterização.

3.1.6 Metacaulim

O metacaulim utilizado é o HP Ultra proveniente da empresa Metacaulim do Brasil. As propriedades estão dispostas na Tabela 3 conforme informações fornecidas pelo fabricante.

Tabela 3 - Propriedades do metacaulim HP Ultra

Propriedades físico-químicas	Valores típicos	Valores limitantes (NBR 15.894)
SiO ₂	0,57	44% a 65%
Al ₂ O ₃	0,34	32% a 46%
CaO + MgO	< 0,1%	< 1,5%
SO ₃	< 0,1%	< 1%
Na ₂ O	< 0,1%	< 0,5%
Eq. Alcalino Na ₂ O	< 1,5%	< 1,5%
Fe ₂ O ₃	2%	-
TiO ₂	1,5%	-
Umidade	0,5%	< 2%
Perda ao fogo	3%	< 4%
Resíduo #325	6%	< 10%
Desempenho com cimento (7 dias)	115%	> 105%
Atividade pozolânica Chapelle	880 mg Ca(OH) ₂ /g	> 750 mg Ca(OH) ₂ /g
Área específica BET	23 m ² /g	15 m ² /g
Massa específica	2,56 kg/dm ³	-

Fonte: METACAULIM DO BRASIL, 2020

3.2 MÉTODOS

Procedimentos e especificações da obtenção do concreto, realização dos ensaios e definição do teor máximo de adição mineral há substituir o cimento.

3.2.1 Matriz de Avaliação

O processo de seleção foi executado com o uso da matriz de avaliação, elegendo entre eles um único concreto como saída, o qual obteve maior valor entre todos.

Estabeleceu-se o peso 5 para cada parâmetro, não há variação neste quesito devido ao estudo ser mais genérico com relação a estacas pré-moldadas. O peso pode ser alterado conforme o caso, por exemplo, estacas muito profundas são mais suscetíveis a tração, pelo fato de ocorrer a flexão, e neste caso o ensaio de resistência a tração torna-se mais importante, levando assim um peso maior que os demais.

A nota de cada parâmetro é calculada com base nos resultados obtidos nos ensaios, realizando uma escala a partir do resultado mínimo e máximo de cada ensaio, num intervalo de notas de 1, a mais baixa, até 5 que é a mais alta.

As alternativas para este estudo são o concreto referência (sem adição mineral), concreto com metacaulim e concreto com sílica ativa. Os parâmetros definidos para o estudo foram: resistências a compressão axial, tração por compressão diametral e absorção de água.

O Quadro 1 apresenta um modelo genérico da matriz de avaliação, podendo conter quantidades de alternativas e parâmetros diferentes das mostradas, de acordo com a necessidade de cada caso.

Quadro 1 - Matriz de avaliação genérica

Alternativas		Parâmetros			Soma
		Parâmetro 1	Parâmetro 2	Parâmetro 3	
		Unidade 1	Unidade 2	Unidade 3	
	Peso	Peso 1	Peso 2	Peso 3	
Alternativa 1	Nota				
	Peso X Nota				
Alternativa 2	Nota				
	Peso X Nota				
Alternativa 3	Nota				
	Peso X Nota				
				Valor máximo	

Fonte: O autor

A escala das notas foi definida subtraindo-se o menor resultado do maior e fracionando este valor em 5 partes. Então, realiza-se a soma do menor valor obtido no ensaio com o valor resultante fracionado. O valor seguinte é o resultado anterior somado ao valor fracionado, e assim por diante, executando 5 intervalos de mesma amplitude, o qual cada um possui uma nota.

3.2.2 Corpos de Prova

Os corpos de prova são cilíndricos e feitos em metal, possuem base com diâmetro de 10 centímetros e altura de 20 centímetros. A execução da moldagem dos corpos de prova cilíndricos seguiu os procedimentos da NBR 5738:2015.

3.2.3 Cura do Concreto

A cura dos corpos de prova seguiu os procedimentos da ABNT NBR 5738:2015. Os corpos de prova foram retirados das fôrmas 2 dias após a moldagem e permaneceram em câmara úmida até a idade dos ensaios, aos 28 dias.

3.2.4 Teor Máximo de Adição Mineral em Relação ao Cimento

O teor de substituição máxima da sílica ativa e do metacaulim é baseado em condição otimizada de reação, sem considerar a restrição imposta pelos compostos hidratados do cimento Portland e pelas alterações microestruturais decorrentes da atividade pozolânica sob a microestrutura previamente formada. O teor é uma porcentagem da massa de cimento utilizada no traço do concreto.

O teor de adição mineral pode ser calculado pela Equação 1.

$$\%Adição = \frac{\%CH}{Chapelle + \%CH} \quad (1)$$

em que:

$\%Adição$ é o teor máximo de adição mineral;

Chapelle é o índice de atividade pozolânica;
%CH é o teor de hidróxido cálcio do cimento.

3.2.5 Teor Máximo de Sílica Ativa em Relação ao Cimento

O índice Chapelle para a sílica ativa foi determinado por meio de média aritmética simples de três valores encontrados na literatura. Os valores encontrados foram descritos no item 2.4.1, sendo assim, o índice de atividade pozolânica obtido para a sílica ativa foi de 636 mg Ca(OH)₂/g.

3.2.6 Teor Máximo de Metacaulim em Relação ao Cimento

O índice Chapelle para o metacaulim foi determinado por meio de média aritmética simples de três valores encontrados na literatura. Os valores encontrados foram descritos no item 2.4.2, sendo assim, o índice de atividade pozolânica para o metacaulim foi de 1.077 mg Ca(OH)₂/g.

3.2.7 Ensaaios

Os ensaios executados para composição do estudo são: resistência a compressão axial, resistência à tração por compressão diametral e absorção de água.

3.2.7.1 Resistência à compressão axial

Os ensaios de resistência à compressão axial foram executados de acordo com os procedimentos da ABNT NBR 5739:2018, no que se refere à velocidade de carregamento, equipamento, nas idades pré-determinadas no programa experimental e suas tolerâncias.

O programa experimental consiste em ensaiar 5 corpos de prova cilíndricos, iniciando primeiro na determinação da área da base do corpo de prova, obtida pela média de duas medições do diâmetro e altura. Os corpos de prova devem ter as bases limpas e secas para serem colocados sob uma base com manta de Neoprene, usado para corpos de prova não retificados, na máquina universal de ensaios, com carregamento contínuo até que ocorra uma queda de força, que indica o rompimento.

3.2.7.2 Resistência à tração por compressão diametral

Os ensaios de resistência à tração por compressão diametral foram executados de acordo com os procedimentos da ABNT NBR 7222:2011, no que se refere à carga, posicionamento, equipamento e idade pre-determinada. O ensaio a ser realizado consiste em 3 corpos de prova cilíndricos.

A resistência à tração por compressão diametral é calculada pela Equação 2.

$$f_{ct,sp} = \frac{2 \times F}{\pi \times d \times l} \quad (2)$$

em que:

$f_{ct,sp}$ é a resistência à tração por compressão diametral, em MegaPascal;

F é a força máxima obtida no ensaio, em Newtons;

d é o diâmetro do corpo de prova, em milímetros.

l é o comprimento do corpo de prova, em milímetros.

3.2.7.3 Absorção de água

Os ensaios de absorção de água foram executados de acordo com os procedimentos da ABNT NBR 9778:2005 corrigida em 2009, no que se refere à quantidade de material e amostras, equipamentos e tempo predeterminado no programa experimental.

A absorção de água é calculada pela Equação 3.

$$A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \times 100 \quad (3)$$

em que:

A é a absorção de água, em porcentagem;

m_{sat} é a massa da amostra saturada em água após imersão e fervura;

m_s é a massa da amostra seca em estufa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste item se encontram os resultados obtidos e discussões pertinentes.

4.1 TEOR MÁXIMO DE SÍLICA ATIVA EM RELAÇÃO AO CIMENTO

A partir da Equação 1 e dos dados citados anteriormente, chegou-se a substituição parcial no valor de aproximadamente 30% de sílica ativa em relação a massa de cimento.

4.2 TEOR MÁXIMO DE METACALIM EM RELAÇÃO AO CIMENTO

A partir da Equação 1 e dos dados citados anteriormente, chegou-se a substituição parcial no valor de aproximadamente 20% de metacaulim em relação a massa de cimento.

4.3 DOSAGEM DO CONCRETO

A dosagem do concreto foi calculada para um volume de 0,17 m³ para cada alternativa. Na Tabela 4 estão expostos os dados e a quantidade de cimento, areia, brita e água para realização do concreto referência.

Tabela 4 - Dosagem do concreto referencia

$$C = \frac{V}{\frac{1}{\delta_c} + \frac{a}{\delta_a} + \frac{b}{\delta_b} + a/c}$$

		Consumo	7,67
Massa específica		Quantidade	
Material	Kg/dm ³	Cimento (Kg)	5,479117
Cimento	3,15	Areia (m ³)	0,008857
Areia	2,60	Brita (m ³)	0,009195
Brita	2,70	Água (L)	3,835382
Massa unitária		Quantidade em Kg	
Material	Kg/dm ³	Cimento	5,50
Cimento	1,40	Areia	15,10
Areia	1,50	Brita	16,60
Brita	1,65	Água	3,80

Fonte: O autor

A Tabela 5 dispõe as quantidades necessárias dos materiais para a confecção do concreto com sílica ativa.

Tabela 5 - Dosagem do concreto com sílica ativa

Material	Kg
Cimento	3,80
Areia	15,10
Brita	16,60
Água	3,80
Sílica ativa	1,60

Fonte: O autor

A Tabela 6 dispõe as quantidades necessárias dos materiais para a confecção do concreto com sílica ativa.

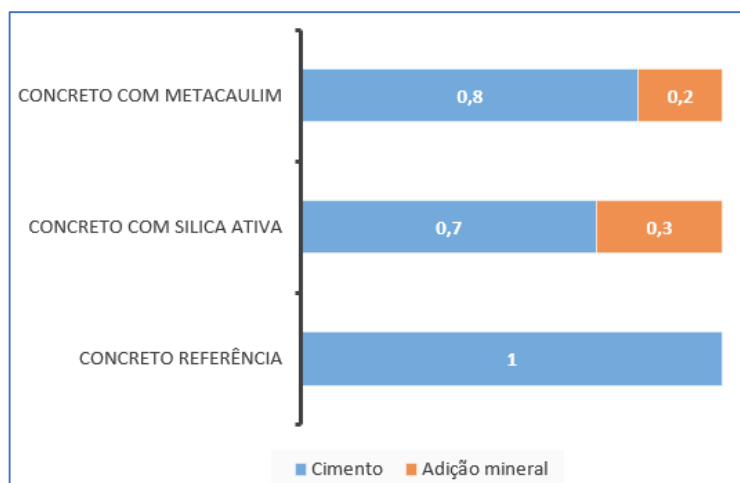
Tabela 6 - Dosagem do concreto com metacaulim

Material	Kg
Cimento	4,40
Areia	15,10
Brita	16,60
Água	3,80
Metacaulim	1,10

Fonte: O autor

A Figura 9 apresenta um esquema dos concretos e as substituições do cimento por as adições minerais.

Figura 9 - Esquema da apresentação das substituições



Fonte: O autor

4.4 ENSAIOS

A Tabela 7 apresenta os valores obtidos no ensaio de resistência à compressão axial.

Tabela 7 - Ensaio de resistência à compressão axial

Corpo de prova	Concreto sem adição mineral (MPa)	Concreto com sílica ativa (MPa)	Concreto com metacaulim (MPa)
CP1	15,3	16,3	23,0
CP2	12,6	16,4	21,4
CP3	14,8	14,7	22,5
CP4	11,5	15,9	20,9
CP5	14,5	15,1	21,3
Média	13,8	15,7	21,8
Desvio padrão	1,6	0,7	0,9

Fonte: O autor

Conforme Tabela 7 é possível verificar que as adições aumentaram a resistência à compressão do concreto em relação ao concreto referência.

O resultado da resistência à compressão axial ficou abaixo do esperado, comparado ao traço do concreto obtido pelo método IPT, o qual é 25 MPa, isso deve-se principalmente a diferença dos materiais utilizados no cálculo do traço e os utilizados neste estudo, entre eles a granulometria e umidade.

Por mais que a resistência tenha sido menor do que a esperada, o desvio padrão das amostras demonstram que os resultados se mantiveram uniformes, sem grande variação entre os dados, comprovando assim uma padronização na obtenção dos concretos, e conseqüentemente dos corpos de prova.

A Tabela 8 apresenta os valores obtidos no ensaio de resistência à tração por compressão diametral.

Tabela 8 - Resistência à tração por compressão diametral

Corpo de prova	Concreto sem adição mineral (MPa)	Concreto com sílica ativa (MPa)	Concreto com metacaulim (MPa)
CP1	2,3	1,8	3,1
CP2	2,1	2,2	2,1
CP3	2,2	2,5	2,6
Média	2,2	2,2	2,6
Desvio padrão	0,1	0,4	0,5

Fonte: O autor

Conforme Tabela 8 é possível verificar que, na média, o metacaulim aumentou a resistência à tração do concreto e a sílica ativa reduziu.

A Tabela 9 apresenta os valores obtidos no ensaio de absorção de água.

Tabela 9 - Absorção de água

Corpo de prova	Concreto sem adição mineral (%)	Concreto com sílica ativa (%)	Concreto com metacaulim (%)
CP1	8,3	9,6	8,1
CP2	9,0	10,2	8,4
Média	8,7	9,9	8,3
Desvio padrão	0,003	0,003	0,002

Fonte: O autor

Conforme Tabela 9 é possível verificar que, na média, o metacaulim reduziu a absorção de água do concreto, enquanto que a sílica ativa gerou aumento.

4.5 MATRIZ DE AVALIAÇÃO

A escala e notas do ensaio de resistência à compressão axial estão apresentadas nas Tabelas 10 e 11, respectivamente.

Tabela 10 - Escala de notas para ensaio de resistência à compressão axial

Maior que	Menor que	Nota
13,75	15,36	1
15,36	16,97	2
16,97	18,57	3
18,57	20,18	4
20,18	21,79	5

Fonte: O autor

Tabela 11 - Notas do ensaio de resistência à compressão axial

Alternativa	Valor (MPa)	Nota
Concreto sem adição mineral	13,8	1
Concreto com sílica ativa	15,7	2
Concreto com metacaulim	21,8	5

Fonte: O autor

A Tabela 11 mostra que o concreto com metacaulim obteve a maior nota, devido a maior resistência a compressão. As notas do concreto referência e com sílica ativa são opostas ao concreto com metacaulim, isso ocorre devido à resistência dos concretos com as adições minerais serem diferentes.

A escala e notas do ensaio de resistência à tração por compressão diametral estão apresentadas nas Tabelas 12 e 13, respectivamente.

Tabela 12 - Escala de notas para ensaio de resistência à tração por compressão diametral

Maior que	Menor que	Nota
2,20	2,28	1
2,28	2,36	2
2,36	2,44	3
2,44	2,52	4
2,52	2,60	5

Fonte: O autor

Tabela 13 - Notas do ensaio de resistência à tração por compressão diametral

Alternativa	Valor (MPa)	Nota
Concreto sem adição mineral	2,2	1
Concreto com sílica ativa	2,2	1
Concreto com metacaulim	2,6	5

Fonte: O autor

Conforme Tabela 13 é possível notar a mesma situação do ensaio de resistência à compressão axial, em que o concreto com metacaulim se destacou com a nota máxima enquanto que os demais com notas baixas.

A escala e notas do ensaio de absorção de água estão apresentadas nas Tabelas 14 e 15, respectivamente.

Tabela 14 - Escala de notas para ensaio de absorção de água

Maior que	Menor que	Nota
8,25	8,58	5
8,58	8,91	4
8,91	9,23	3
9,23	9,56	2
9,56	9,89	1

Fonte: O autor

Tabela 15 - Notas do ensaio de absorção de água

Alternativa	Valor (%)	Nota
Concreto sem adição mineral	8,7	4
Concreto com sílica ativa	9,9	1
Concreto com metacaulim	8,3	5

Fonte: O autor

Na Tabela 15 nota-se que a sílica ativa foi desvantajosa, enquanto que o metacaulim reduziu a absorção de água do concreto. A diferença mais notável está na comparação do concreto contendo sílica ativa com os demais.

De posse dos pesos e notas de cada alternativa, a matriz de avaliação foi montada e então chegou-se a alternativa escolhida. No Quadro 2 está disposta a matriz de avaliação.

Quadro 2 - Matriz de avaliação

Alternativas		Parâmetros			Soma
		Ensaio de resistência à compressão axial	Ensaio de resistência à tração por compressão diametral	Ensaio de absorção de água	
		MPa	MPa	%	
	Peso	5	5	5	
Concreto sem adição mineral	Nota	1	1	4	30
	Peso X Nota	5	5	20	
Concreto com sílica ativa	Nota	2	1	1	20
	Peso X Nota	10	5	5	
Concreto com metacaulim	Nota	5	5	5	75
	Peso X Nota	25	25	25	
				Valor máximo	75

Fonte: O autor

O Quadro 2 apresenta os resultados do processo seletivo utilizando a matriz de avaliação. O maior valor obtido pela somatória do peso versus nota de cada parâmetro, é então a alternativa que melhor atende a todos os critérios.

4.6 DISCUSSÃO GERAL

A matriz de avaliação é uma ferramenta de apoio no processo de decisão. Tal instrumento possibilita que seja feita uma análise rápida por meio de critérios que favoreçam uma visão ampla e coerente de várias alternativas.

É importante destacar que o uso de uma matriz de avaliação não deve ser único e exclusivo, uma vez que ela servirá de guia para uma avaliação e controle eficaz das oportunidades e riscos dos negócios. Além disso, ela serve para identificar os pontos fortes e fracos de cada ideia, tornando mais simples a escolha para a próxima etapa do projeto.

Uma adição mineral se fez mais eficiente que as demais no conjunto de parâmetros estudados, claro que, quanto mais parâmetros se avaliam, mais confiabilidade se aplica ao resultado.

4.7 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

O estudo realizado foi de aplicação da ferramenta matriz de avaliação, porém pode-se aproveitar o tema para aplica-la de forma a estudar mais minuciosamente as adições minerais que garantem melhor desempenho as estacas pré-moldadas de concreto.

Dentre os parâmetros podem ser adicionados os ensaios de tração na flexão e resistência ao impacto (resistência necessária para realizar cravação no solo), melhorando o índice de confiabilidade do resultado. Recomenda-se inserir também o custo de produção para cada alternativa, para que assim possa ser feita uma análise de viabilidade econômica.

Dentre as alternativas pode-se incluir as cinzas volantes e outras adições minerais que possuam propriedades similares aos já estudados.

Para realização dos ensaios sugere-se executa-los nas idades de 28, 56 e 90 dias, para que o tempo necessário da reação de cada adição mineral seja respeitada, assim, não falseando os resultados.

5 CONCLUSÃO

Há diversas combinações de materiais para composição de concretos, tornando-se difícil a escolha de um único material, sendo esse o que melhora as características almejadas. Para facilitar essa escolha, existem ferramentas para tomada de decisão, uma delas é a matriz de avaliação.

Entre as alternativas de concreto com adições minerais, a matriz de avaliação selecionou a qual obteve maior valor de peso versus nota, sendo essa a melhor escolha dentre os parâmetros e situação estudada.

Para empresas interessadas em introduzir alguma adição mineral ao concreto de estacas pré-moldadas, o metacaulim demonstra potencial de melhorar o concreto.

O estudo com a matriz de avaliação pode ir além do que o apresentado. Para tal pode-se adicionar várias alternativas de adições minerais ao concreto e realizar outros ensaios e parâmetros pertinentes para o fim desejado. Aumentado esta gama de dados, é possível analisar química e economicamente cada adição mineral.

Portanto, a matriz de avaliação é uma ferramenta que se mostra vantajosa para as empresas cimenteiras, demonstrando que uma escolha racional, com base nos números, é possível obter um melhor desempenho produto.

Com esta ferramenta a empresa pode inovar, introduzindo e avaliando novas adições ao concreto, colocando-a em um patamar de destaque em seu ramo.

REFERÊNCIAS

ACKER, A. V. **Manual de sistemas pré-fabricados de concreto**. FIB. 2002. Traduzido por Marcelo de Araújo Ferreira, ABCIC, 2003. Disponível em http://apoioididatico.iau.usp.br/projeto3/2013/manual_prefabricados.pdf, acessado em 05/09/2020.

ALVES, L. **Pensador**. 2020. Disponível em <https://www.pensador.com/frase/MjQ5MjE4MQ/>, acesso em 19/09/2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738:2015** - Concreto - Procedimento para moldagem e cura. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 5739:2018** - Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 6118:2014** - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 6122:2019** - Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2019.

_____. **NBR 7222:2011** - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 9062:2017** - Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR 9778:2005** – Corrigida em 2009 - Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 12655:2015** - Concreto de cimento portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 14931:2004** - Execução de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 15895:2010** - Materiais pozolânicos – Determinação do teor de hidróxido de cálcio fixado – Método Chapelle modificado. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 15900-1:2009** - Água para amassamento do concreto - Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 16258:2014** - Estacas pré-fabricadas de concreto - Requisitos. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 16697:2018** - Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

BELTRÃO, F. C; ZENAIDE, J. C. **A influência do Metacaulim nas propriedades do concreto**. UNAMA, Belém, Pará, 2010. Disponível em

<https://pt.slideshare.net/dandaradsj/a-influenciametacaulimpropriedadesconcreto>, acessado em 14/10/2020.

BENTES, V. B. **Estacas pré-moldadas de concreto**. Infraestrutura Engenharia Ltda. 2015. Disponível em <https://docplayer.com.br/2717220-Estacas-pre-moldadas-de-concreto.html>, acessado em 09/09/2020.

BOGGIO, A. J. **Estudo comparativo de métodos de dosagem de concretos de cimento Portland**. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000. Disponível em <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/12575>, acessado em 21/06/2021.

CASTRO, A. M; BARROS, C. O; LIMA, M. P. **Caderno de notas de estacas pré-moldadas**. 1 ed. Maranhão, São Luís, 2017. Disponível em <http://amcf3008.blog-dominiotemporario.com.br/wp-content/uploads/2017/01/Ebook19.pdf>, acessado em 09/09/2020.

CRUZ, S. S; CORREIA, F.C; MORCELLI, C. P. R; MORAIS, D. **Reutilização de aparas de filme poli(vinil butiral) para incorporação em argamassa**. 58º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Bento Gonçalves, RS, 2014. Disponível em https://abceram.org.br/wp-content/uploads/area_associado/58/PDF/06-003.pdf, acessado em 01/07/2021.

EL DEBS, M. K. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações**. 2 ed. Revista e ampliada. São Paulo, 2017. Disponível em <http://ofitexto.arquivos.s3.amazonaws.com/Concreto-pre-moldado-fundamentos-e-aplicacoes-DEG.pdf>, acessado em 09/09/2020.

ENSOLO. **Cravação de estacas pré-moldadas de concreto**. Disponível em <https://ensolo.webleve.com.br/servicos/cravacao-de-estacas-pre-moldadas-de-concreto/>, acessado em 28/08/2021.

FOÁ ENGENHARIA. **Estacas pré-moldadas e suas vantagens**. São Paulo, 2020. Disponível em <https://www.foa.com.br/artigos-tecnicos/estacas-pre-moldadas-e-suas-vantagens/#>, acessado em 03/09/2020.

GOBBI, A. **Atividade pozolânica de adições minerais pelas nbr 5751/2012 e nbr 5752/2012: Uma análise crítica a partir de métodos complementares**. Dissertação de mestrado, UFPR, 2014. Disponível em <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/37265>, acessado em 15/04/2021.

GUELCOS. **Matriz de decisão: como escolher uma consultoria para atender sua empresa**. Disponível em <https://guelcos.com.br/conteudo/importacao/sourcing/matriz-de-decisao-como-escolher-uma-consultoria-para-atender-sua-empresa/>, acessado em 02/08/2021.

HOPPE F. J. **Sistemas cimento, cinza volante e cal hidratada: mecanismo de hidratação, microestrutura e carbonatação de concreto**. Tese de doutorado, São Paulo, 2008. Disponível em https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-19082008-172648/publico/TESE_DOUTORADO_JUAREZ_HOPPE_FILHO.pdf, acessado em 15/04/2021.

INTERCEMENT BRASIL. **Cimento Cauê estrutura.** Disponível em <https://brasil.intercement.com/>, acessado em 01/07/2021.

JUNIOR, A. F. **Proposta de metodologia de dosagem e controle do processo produtivo de blocos de concreto para alvenaria estrutural.** Dissertação, CPGEC, UFSC, Florianópolis, 2000. Disponível em <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/78274>, acessado em 14/10/2020.

LAJES CURITIBA. Disponível em <http://www.lajescuritiba.com.br/blog/lajes-em-curitiba/9/>, acessado em 02/08/2021.

MACIOSKI, G; PERRETTO, F. **Estudo teórico da adição máxima de sílica ativa no cimento portland em função do consumo de hidróxido de cálcio.** COBEC, XVI Encontro Brasileiro sobre o Ensino de Engenharia Química, Fortaleza, Ceará, 2016. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/324360322_ESTUDO_TEORICO_DA_ADICAO_MAXIMA_DE_SILICA_ATIVA_NO_CIMENTO_PORTLAND_EM_FUNCAO_DO_CONSUMO_DE_HIDROXIDO_DE_CALCIO, acessado em 15/04/2021.

MARMITTI, B. A; BEZ, A; DIDONE, J. A; PACHECO, T. L; VALDAMERI, C. Z. **Estudo comparativo de métodos para dosagem de concreto.** Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, CONTECC, SOEA. Foz do Iguaçu, Paraná, 2016. Disponível em <https://www.confex.org.br/sites/default/files/uploads-imce/contecc2016/civil/estudo%20comparativo%20de%20m%C3%A9todos%20para%20dosagem%20de%20concreto.pdf>, acessado em 21/06/2021.

MARTINS, L. M; RODRIGUES, R. U. V. **Dosagem de concreto utilizando o método do IPT.** SIMPAC, Revista Científica Univçosa, v.10, n.1, Viçosa, Minas Gerais, 2018. Disponível em <https://academico.univcosa.com.br/revista/index.php/RevistaSimpac/article/download/1167/1229>, acessado em 21/06/2021.

MASSAZZA, F. **Pozzolanic Cements.** Cement & Concrete Composites, v.15, n.4, 1993. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0958946593900233>, acessado em 14/10/2020.

MATHIAS, L. **Confira 6 ferramentas para tomada de decisão nos negócios.** MindMiners. Disponível em <https://mindminers.com/blog/ferramentas-para-tomada-decisao/>, acessado em 28/08/2021.

MEDEIROS, M. H. F. **Atividade pozolânica de adições minerais para cimento Portland (Parte II): Índice de atividade pozolânica com cimento Portland (IAP), difração de raios-X (DRX) e termogravimetria (TG/DTG).** Artigo, Revista Matéria, V.22 N.03, 2017. Disponível em <https://www.scielo.br/pdf/rmat/v22n3/1517-7076-rmat-S1517-7076201700030207.pdf>, acessado em 16/04/2021.

MEDINA, E. A. **Pozolanicidade do metacaulim em sistemas binários com cimento portland e hidróxido de cálcio.** São Paulo, 2011. Disponível em <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-12032012-120653/pt-br.php>, acessado em 17/09/2020.

MENEGAT, I. **Produção e análise da cinza da folha de bambu como um potencial material pozolânico para fins geotécnicos**. Monografia, UNIVATES, Lajeado, Rio Grande do Sul, 2020. Disponível em <https://www.univates.br/bdu/handle/10737/2865>, acessado em 17/04/2021.

METACAULIM DO BRASIL. **Metacaulim HP ultra**. São Paulo. Disponível em <http://www.metacaulim.com.br/impermeabilizantes-metacaulim-hp-ultra.html>, acessado em 16/10/2020.

MOTTA, R. **Modelo racional de tomada de decisão**. Em Gotas. Disponível em <https://emgotas.com/2018/10/17/modelo-racional-de-tomada-de-decisao/>, acessado em 28/08/2021.

NITA, C; JOHN, V. M. **Materiais pozolânicos: o metacaulim e a sílica ativa**. Boletim técnico, USP, São Paulo, 2007. Disponível em http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00451.pdf, acessado em 14/10/2020.

NOGUEIRA, G. S. F; CEZARIO, N. S; SOUZA, I. C; CAVALEIRO, C. D; PORTO, M. F; TORALLES, B. M. **Incorporação de nanossílica em compósitos cimentícios**. Artigo, revista matéria, v.23, n.3, 2018. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/328397512_Incorporacao_de_nanossilica_em_compositos_cimenticios/fulltext/5bca973592851cae21b43f0b/Incorporacao-de-nanossilica-em-compositos-cimenticios.pdf, acessado em 01/07/2021.

PEREIRA, E. F. **Estacas pré-moldadas de concreto, procedimentos executivos**. AP&L Geotecnia e Fundações. Montes Claros, Minas Gerais, 2016. Disponível em <https://www.apl.eng.br/artigos/2016-METODOLOGIA-ESTACA-PRE-MOLDADA.pdf>, acessado em 09/09/2020.

QUINTÃO, C. M. **Influência da adição do metacaulim nas propriedades do concreto em contato com atmosferas agressivas do tratamento anaeróbio de esgoto**. Dissertação, PPGCC, UFMG, Belo Horizonte, 2018, p viii. Disponível em <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/RAOA-BATLX6>, acessado em 17/09/2020.

RAISDORFER, J. W. **Influência da adição ou substituição de adições minerais ao cimento portland: efeitos na carbonatação, absorção capilar e resistividade de concretos**. Dissertação, UFPR, Curitiba, 2015. Disponível em <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/41249/R%20-%20D%20-%20JANDERSON%20WILLIAM%20RAISDORFER.pdf?sequence=2&isAllowed=y>, acessado em 17/04/2021.

SALES, F. A. **Estudo da atividade pozolânica de micropartículas de vidro sodalcal, incolor e âmbar, e sua influência no desempenho de compostos de cimento Portland**. Dissertação, UFMG, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2014. Disponível em <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUOS-9LEFBP>, acessado em 16/04/2021.

SCHNEIDER, N. **Módulo de elasticidade do concreto: considerações gerais**. 2020. Disponível em <https://nelsoschneider.com.br/modulo-de-elasticidade-concreto/>, acessado em 17/09/2020.

SOBRAL, F.; ALKETA, P. **Administração: Teoria e pratica no contexto brasileiro**. Livro, Pearson Education, Ed.1. Disponível em <https://pdfcoffee.com/administraao->

teoria-e-pratica-no-contexto-brasileiro-2-edicao-pdf-free.html, acessado em 28/08/2021.

TECNOSIL. **Sílica ativa**: por que usá-la na sua construção? São Paulo, Itupeva, 2020. Disponível em <https://www.tecnosilbr.com.br/silica-ativa-por-que-usa-la-na-sua-construcao-2/>, acessado em 17/09/2020.

TECNOSILBR. **Sílica ativa**. São Paulo, Itupeva, 2020. Disponível em <https://www.tecnosilbr.com.br/silica-ativa/>, acessado em 17/09/2020.

TOMÉ, W. D. **Utilização de sílica ativa em concretos de alto desempenho**. Monografia, UNIFOR, Formiga, Minas Gerais, 2014. Disponível em https://bibliotecadigital.uniformg.edu.br:21015/xmlui/bitstream/handle/123456789/274/Trabalho%20de%20Conclus%c3%a3o%20de%20Curso%20%28TCC%29_William%20Douglas%20Tom%c3%a9.pdf?sequence=1&isAllowed=y, acessado em 14/10/2020.

TORALLES, B. M; COUTO, A. F; NOGUEIRA, G. S. F; SANDOVAL, G. F. B; ALVEZ, G. P; SOUZA, I. C; PAULINO, R. S. **Estudo comparativo de diferentes métodos de dosagem de concretos convencionais**. Revista de Engenharia e Tecnologia, v.10, n.1, 2018. Disponível em <https://revistas2.uepg.br/index.php/ret/article/view/11985>, acessado em 21/06/2021.

UFSC. **Portal virtuhab**. UFSC. Santa Catarina, 2020. Disponível em <https://portalvirtuhab.paginas.ufsc.br/estaca-prancha>, acessado em 03/09/2020.

VASCONCELOS, A. C. **O concreto no brasil**: Pré-fabricação, monumentos, fundações. Volume III. Studio Nobel. São Paulo, 2002. Disponível em https://books.google.com.br/books?id=Np--KOO5KtgC&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false, acessado em 04/09/2020.

VIGGIANO, M. H. **Matrizes sistêmicas de avaliação em projetos ecológicos de arquitetura**. Encontro nacional sobre edificações e comunidades sustentáveis, ENECS, São Carlos, 2003. Disponível em <https://issuu.com/marioviggiano/docs/matrizes>, acessado em 04/09/2020.