



**Jun 7 2024 11:47AMJun 7 2024 11:46AMCALCRETE: UMA FERRAMENTA DIDÁTICA DE AUXÍLIO À OBTENÇÃO DE TRAÇOS, CUSTOS E INDICADORES DE ECOEFICIÊNCIA DE CONCRETOS PARA DISPOSITIVOS ANDROID**

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2024.4986

**Autores:** THIAGO FERREIRA COSTA

**Resumo:** O Calcrete é uma ferramenta inovadora para a análise de concretos e seus impactos ambientais. O aplicativo, desenvolvido com a biblioteca React Native, é capaz de calcular traços de concreto, utilizando os métodos IPT/EPUSP e ACI/ABCP, receber traços obtidos por outros métodos e calcular indicadores de ecoeficiência e os custos de cada material utilizado. A ferramenta foi desenvolvida com viés didático e visa facilitar a análise e promover o debate e uso de soluções sustentáveis na produção de concretos e na indústria da construção civil, bem como possibilitar que a sustentabilidade seja discutida em cursos de engenharia civil de forma dinâmica e simplificada. Para isso, o Calcrete adota a modelagem dos indicadores de ecoeficiência baseada na função de desejabilidade estatística e outras soluções que visam tornar os resultados mais acessíveis e inteligentes aos usuários, ao mesmo tempo que permanecem representativos.

**Palavras-chave:** Concreto, Dosagem, Ecoeficiência, Aplicativo, Educação.



## CALCRETE: UMA FERRAMENTA DIDÁTICA DE AUXÍLIO À OBTENÇÃO DE TRAÇOS, CUSTOS E INDICADORES DE ECOEFICIÊNCIA DE CONCRETOS PARA DISPOSITIVOS ANDROID

**Comentado [TF1]:** Transição Energética na Educação em Engenharia: Ações, experiências e estudos de caso voltados à integração dos conceitos de sustentabilidade na formação em engenharia

### 1 INTRODUÇÃO

À medida que a humanidade progrediu, a indústria da construção civil teve que se ajustar ao crescimento acelerado das áreas urbanas e às demandas populacionais que surgiram, sobretudo nos últimos séculos. Isso resultou em um consumo elevado de recursos não renováveis, problemas ambientais, sociais, econômicos, entre outros desafios. Atualmente, o setor é responsável pelo esgotamento de 40% a 60% dos recursos naturais (VIEIRA, 2016) e é um dos principais contribuintes para os impactos ambientais atuais. O cimento Portland, por exemplo, principal e mais tradicional componente do concreto, é responsável por 5% a 7% das emissões antropogênicas totais de CO<sub>2</sub>, 3% das emissões totais de gases de efeito estufa (GEE) e de 12% a 15% do uso total de energia industrial no mundo (ÇANKAYA, 2019).

Em resposta a esses desafios, a comunidade científica tem se mobilizado cada vez mais por soluções que reduzam os impactos ambientais e melhorem a eficiência da produção dos materiais da construção civil, principalmente do concreto. A reciclagem de materiais, por exemplo, tem grande potencial de redução da demanda de matéria prima e no descarte de resíduos sólidos. O processo permite utilizar uma ampla gama de materiais na produção de concretos mais sustentáveis na forma de *fillers*, *powders* e agregados graúdos e miúdos, como matéria orgânica, resíduos de construção e demolição (RCD), resíduos e subprodutos de diversos processos industriais, dentre outros.

A redução do consumo de cimento também tem sido apontada como uma solução viável a elevar a sustentabilidade no setor. Além da redução do CO<sub>2</sub> relacionado à fabricação do aglomerante, outras vantagens são notáveis, como menores custos, menor calor de hidratação e diminuição da retração do concreto. No entanto, a otimização de concretos para redução do uso de cimento é um processo complexo que envolve a seleção cuidadosa de materiais e a determinação das proporções corretas para alcançar as propriedades desejadas (COSTA, 2023). Isso se torna ainda mais complexo com o emprego de materiais que demandam algum tratamento adicional, como é o caso de agregados de RCD, que geralmente apresentam alto teor de absorção de água em comparação a agregados convencionais e podem prejudicar a hidratação do cimento se não tratados.

Outro aspecto amplamente discutido são os indicadores das características do concreto e como trabalha-los. Segundo Souza et al. (2021), enquanto alguns foram propostos para descrever aspectos ambientais do concreto, outros se concentram em suas propriedades mecânicas e durabilidade. Há, ainda, a possibilidade de combinar indicadores a fim de avaliar a ecoeficiência dos concretos. Com isso, ao mesmo tempo que é possível analisar diversos aspectos do material, a grande quantidade de metodologias existentes também faz com que profissionais e cursos de graduação em Engenharia Civil tenham que escolher algumas poucas a serem abordadas, deixando conceitos importantes, sobretudo relacionados à sustentabilidade, em segundo plano.





A modelagem dos resultados dessas metodologias também é outro fator que corrobora fortemente com essa situação. Respostas muito complexas podem demandar um elevado tempo de discussão e levar a análises desestruturadas e com grandes incertezas, enquanto resultados modelados podem trazer maior potencial de aplicação e compreensão prática dos conceitos, ampliando a possibilidade de debate de assuntos mais complexos. Além disso, diversas metodologias dificilmente podem ser relacionadas entre si, visto que seus resultados não são projetados como componentes de um tópico mais amplo, mas como respostas à alguma característica específica do concreto.

Desse modo, o aplicativo para dispositivos móveis Android Calcrete foi desenvolvido como uma ferramenta didática que pretende, por meio de uma abordagem prática, interativa e de fácil acesso, introduzir temas complexos da fabricação de concretos, ao passo que permite observar os efeitos de cada parâmetro no traço, custos, e nos indicadores de ecoeficiência. Para isso, o aplicativo se baseia nos principais métodos de dosagem utilizados no Brasil e na metodologia de desejabilidade estatística aplicada a indicadores de ecoeficiência, proposta por Souza et al. (2021). Assim, por meio desta ferramenta, espera-se promover a divulgação e popularização de práticas, técnicas e materiais sustentáveis no setor da construção civil e na sociedade como um todo, bem como possibilitar que a sustentabilidade seja trabalhada no ambiente educacional de forma mais simplificada.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Métodos de dosagem

A dosagem dos materiais em concretos de cimento Portland é essencial para garantir que sejam atendidas suas especificações de aplicação, como resistência mecânica, trabalhabilidade, durabilidade e deformabilidade, com um bom aproveitamento dos materiais e baixo consumo de cimento (COSTA, 2023). Para isso, diversos métodos de dosagem foram desenvolvidos e se tornaram amplamente conhecidos e, apesar dos resultados dos diferentes métodos de dosagem atuais, de forma geral, serem próximos e consistentes, observa-se variações relevantes de alguns parâmetros, como o teor de argamassa, consumo de cimento, custo por  $m^3$ , custo por  $m^3/MPa$ , dentre outros (COSTA, 2023). Outra característica que distingue os métodos é a quantidade e tecnicidade dos dados de entrada necessários, muitas vezes sendo um fator determinante de rejeição de algum método. Além disso, a classe de resistência também é um critério muito importante, visto que alguns métodos só são aplicáveis ou recomendados em uma determinada classe (OLIVEIRA, 2012).

Para concretos do Grupo I (classes de resistência C20 a C50), mais comumente utilizados no Brasil, os métodos IPT/EPUSP e ACI/ABCP se mostram os mais eficientes, apresentando menor teor de argamassa, menor consumo de cimento, menor custo e menor custo por resistência mecânica (TORALLES, 2018). Dependendo da disponibilidade técnica regional, qualquer dos métodos pode ser mais adequado, visto que o ACI/ACI/ABCP demanda mais características experimentais dos agregados e o IPT/EPUSP, além de características dos agregados, requer a determinação do teor de argamassa, ensaio sem padronização de norma que pode levar a erros se mal executado (COSTA, 2023). Já para o Grupo II (classes de resistência C50 a C100), modelos teóricos de empacotamento de partículas são mais recomendados, como Furnas, Andreassen, dentre outros, sendo o ACI/ABCP e IPT/EPUSP não recomendados (OLIVEIRA, 2012).





## 2.2 Indicadores de ecoeficiência

A função de deseabilidade estatística tem sido apontada como uma ferramenta muito importante no processo de simplificação da visualização das respostas, pois, além de sua alta eficiência, possui grande poder de modelagem dos resultados e exploração dos sistemas estudados (NOVAES, 2017). Para Souza et al. (2021), a deseabilidade estatística, além de sua simples aplicação em ferramentas computacionais, pode traduzir a complexidade dos efeitos dos vários impactos ambientais em um único valor, tornando prática a análise desses.

Como já citado, diversos indicadores foram propostos com diferentes objetivos, o que torna a análise de concretos sustentáveis uma tarefa de difícil execução e interpretação. Por outro lado, segundo Souza et al. (2021), a ecoeficiência de concretos pôde ser avaliada adequadamente por um conjunto de novos indicadores que combinam parâmetros já existentes em respostas de simples compreensão a partir da função de deseabilidade estatística. A proposta do autor visa o uso prático, de fácil compreensão e diretamente alinhados com os objetivos de acordos regionais, nacionais e internacionais na área de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável global. São eles:

- a) Redução de Impactos Negativos de Energia (RIE), que se baseia no indicador individual de consumo primário de energia não renovável (TPE). O indicador “visa facilitar a tomada de decisão relacionados à necessidade de uma transformação de baixo carbono no setor de energia e no desenvolvimento de políticas energéticas eficientes” (SOUZA et al., 2021).
- b) Redução de Impactos dos Materiais (RIM), que consiste na média das deseabilidades associadas aos indicadores de matéria-prima primária (PRM), material reciclado total (RM) e consumo de água (WC). Segundo Souza et al. (2021), “este indicador pode ser usado para avaliar a contribuição da produção de concreto para os impactos nos recursos naturais”.
- c) Redução de Gases do Efeito Estufa (RGE), que é obtido pela deseabilidade do indicador de dióxido de carbono, vapor d’água, metano e óxido nitroso (GWP). O indicador demonstra grande importância, uma vez que visa mitigar os impactos associados ao aquecimento global, que tem sido um dos principais focos da cooperação internacional na área de sustentabilidade (SOUZA et al., 2021).
- d) Redução do Potencial de Ecotoxicidade (RPE), que, segundo Souza et al. (2021), identifica concretos menos agressivos ao meio ambiente e consiste em uma média das deseabilidades associadas aos indicadores de potencial ecotoxicológico de água doce (FAETP), potencial ecotoxicológico terrestre (TETP) e potencial ecotoxicológico marinho (MAETP).
- e) Redução da Acidificação, Eutrofização e Ozônio (AEO), que é composto pela média das deseabilidades individuais associadas aos indicadores de potencial de depleção do ozônio (ODP), eutrofização (EP) e acidificação (AP). O indicador está relacionado a processos que geram as menores emissões de substâncias associadas à acidificação, eutrofização e depleção da camada de ozônio, como a redução das emissões de óxidos de enxofre, nitrogênio, potássio, compostos orgânicos voláteis e amônia (SOUZA et al., 2021).
- f) Ecoeficiência Potencial (EEP), que consiste em uma média dos indicadores RIE, RIM, RGE, RPE e AEO, a fim de resumir todos os indicadores em um único que combina todos os aspectos ambientais avaliados, fornecendo uma visão simples e intuitiva da ecoeficiência dos concretos.





### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Ambiente de desenvolvimento

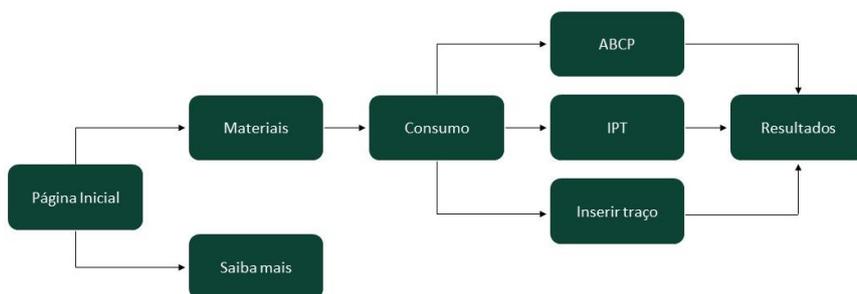
Para facilitar a criação de componentes de interfaces interativas, o Calcrete foi desenvolvido utilizando a biblioteca React Native, desenvolvida pelo Facebook. A biblioteca utiliza o JSX, uma extensão para a linguagem JavaScript com estrutura semelhante à do HTML. Além disso, para estilização dos componentes, utiliza-se uma sintaxe semelhante ao CSS. Com isso, o aplicativo foi segmentado por telas, que interagem entre si com auxílio da biblioteca React Navigation, e um componente de base de dados, elaborado com intuito de facilitar a atualização e adição de novos materiais e suas características. Além disso, diversas outras bibliotecas open source foram instaladas a fim de economizar tempo de desenvolvimento.

O Node.JS, com apoio do framework Expo, foi empregado como ambiente de execução do código do Calcrete. Além disso, para visualização em tempo real do funcionamento do aplicativo, empregou-se o Android Studio, que permite simular dispositivos Android com características diferentes, como versões de sistema operacional, resoluções, proporções de tela e outras funcionalidades. Vale ressaltar que, apesar do React Native gerar códigos nativos que podem ser convertidos em aplicações para Android e IOS, o Calcrete foi limitado a testes em dispositivos Android.

#### 3.2 Navegação

Com intuito de facilitar a compreensão do usuário, a navegação foi dividida em etapas representadas por telas. Desse modo, portanto, conforme a Figura 1, a primeira etapa da análise consiste em escolher os materiais disponíveis no catálogo do Calcrete. Vale ressaltar que o emprego de um catálogo de materiais o intuito de diminuir a quantidade de dados que o usuário precisa inserir, tornando a análise mais dinâmica e intuitiva, e de garantir a disponibilidade dos demais dados, sobretudo os utilizados no cálculo dos indicadores de ecoeficiência. Em seguida, deve-se escolher entre obter os consumos de material a partir dos métodos de dosagem ACI/ABCP e IPT/EPUSP ou inserir um traço obtido por correção ou método diferente, de forma externa ao aplicativo. Por fim, são apresentados os dados os resultados do traço, custos e ecoeficiência, podendo o usuário retornar à tela inicial ou voltar às telas interiores e fazer alterações nos dados inseridos, visto que o aplicativo guarda temporariamente todas entradas do usuário.

Figura 1 – Esquema de navegação do aplicativo.



Fonte: Autor.





Além das telas do aplicativo, foram elaboradas páginas online para dar suporte ao Calcrete. Na tela “Materiais”, o usuário pode consultar a página de base de dados com todas as características dos materiais utilizadas em todas as etapas da análise. Já na tela “Saiba mais”, além de um resumo sobre o app, apoiadores e equipe, é possível ser direcionado para página principal do aplicativo, na qual constam considerações básicas sobre o mesmo e toda a documentação de desenvolvimento detalhada, incluindo a descrição de cada etapa dos cálculos realizados e hipóteses adotadas. Com isso, além de reduzir consideravelmente a quantidade de informação contida na ferramenta, cria-se um ambiente próprio para o aprofundamento dos temas abordados.

### 3.3 Obtenção dos consumos de material

Para obtenção dos consumos dos materiais, como já citado, adotaram-se dois métodos de dosagem experimental e a opção de o usuário entrar com seu próprio traço obtido de outra forma. Para concretos do Grupo I (classes de resistência C20 a C50), mais comumente utilizados no Brasil, os métodos IPT/EPUSP e ACI/ABCP se mostram os mais eficientes que outros métodos, sendo os empregados ao app. Já para o Grupo II (classes de resistência C50 a C100) e demais casos não prescritos, o usuário deverá obter o traço de cada material de forma externa ao app e inseri-lo para prosseguir com as análises.

O método de dosagem ACI/ABCP foi executado conforme o material publicado pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ACI/ABCP) em 1984, intitulado “Parâmetros de Dosagem de Concreto” (RODRIGUES, 1998). O método utiliza tabelas e gráficos, elaborados a partir de análises experimentais, para que se obtenha o traço desejado. Já o método de dosagem IPT/EPUSP trata-se de uma metodologia essencialmente experimental, idealizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Como para executar ambos os métodos são necessárias análises do comportamento do concreto no estado fresco e endurecido, tais análises foram feitas com base em valores da literatura com intuito de simplificar a experiência do usuário. Ressalta-se que, devido à natureza experimental dos métodos, os resultados são ilustrativos e devem ser utilizados apenas como ponto de partida para um estudo mais aprofundado e para a discussão dos assuntos.

### 3.4 Custos dos materiais

Os custos são estimados por meio dos custos unitários fornecidos pela base SICRO. O custo da água não é levado em conta nas análises e, para agregados reciclados, adotou-se 50% do preço unitário do agregado natural na mesma zona granulométrica (SALBEGO, 2018). Vale ressaltar que pretende-se atualizar o app conforme novos dados e dados mais atualizados sejam disponibilizados.

### 3.5 Indicadores de ecoeficiência

Para os indicadores de ecoeficiência, adotou-se a metodologia proposta por Souza et al. (2021), que utiliza a função de desejabilidade e outros indicadores individuais para compor os indicadores idealizados em respostas que variam de 0 a 1, sendo 1 o resultado mais favorável. Conforme citado anteriormente, os indicadores adotados são:

- a) Redução de Impactos Negativos de Energia (RIE), obtido pela Equação 3, sendo a Equação 1 a função de desejabilidade adotada.





- b) Redução de Impactos dos Materiais (RIM), de acordo com a Equação 4. Nos indicadores PRM e WC, aplica-se a função de desejabilidade da Equação 1. Para o indicador RM, entretanto, utiliza-se a Equação 2.
- c) Redução de Gases do Efeito Estufa (RGE), conforme Equação 5, sendo aplicada a Equação 1.
- d) Redução do Potencial de Ecotoxicidade (RPE), conforme a Equação 6, utilizando a Equação 1 como função de desejabilidade estatística.
- e) Redução da Acidificação, Eutrofização e Ozônio (AEO), conforme a Equação 7, utilizando a função de desejabilidade da Equação 1.
- f) Ecoeficiência Potencial (EEP), que consiste em uma média ponderada dos indicadores RIE, RIM, RGE, RPE e AEO. Para isso, utiliza-se a Equação 8, que é uma abordagem diferente da proposta por Souza et al. (2021).

$$d_i(y_i(x)) = \begin{cases} 1, & \text{se } y_i(x) < L_i \\ \left[ \frac{U_i - y_i(x)}{U_i - L_i} \right]^t, & \text{se } L_i \leq y_i(x) \leq U_i \\ 0, & \text{se } y_i(x) > U_i \end{cases} \quad (1)$$

$$d_i(y_i(x)) = \begin{cases} 0, & \text{se } y_i(x) < L_i \\ \left[ \frac{y_i(x) - L_i}{U_i - L_i} \right]^s, & \text{se } L_i \leq y_i(x) \leq U_i \\ 1, & \text{se } y_i(x) > U_i \end{cases} \quad (2)$$

Em que:

$y_i(x)$  é a soma do parâmetro utilizado no indicador individual de cada material analisado multiplicado pelo seu respectivo consumo

$L_i$  é o menor valor obtido nos concretos estudados na literatura;

$U_i$  é o maior valor obtido nos concretos estudados na literatura;

$s$  e  $t$  são coeficientes relacionados com a importância dos indicadores, variando nos valores 0,1, 1 e 10, sendo adotados como 1 no Calcrete.

$$RIE = d_i \left( \frac{TPE}{f_{c28}} \right) \quad (3)$$

$$RIM = \frac{1}{3} \left[ d_i \left( \frac{PRM}{f_{c28}} \right) + d_i \left( \frac{RM}{f_{c28}} \right) + d_i \left( \frac{WC}{f_{c28}} \right) \right] \quad (4)$$

$$RGE = \left[ d_i \left( \frac{GWP}{f_{c28}} \right) \right] \quad (5)$$

$$RPE = \frac{1}{3} \left[ d_i \left( \frac{FAETP}{f_{c28}} \right) + d_i \left( \frac{TETP}{f_{c28}} \right) + d_i \left( \frac{MAETP}{f_{c28}} \right) \right] \quad (6)$$





$$AEO = \frac{1}{3} \left[ d_i \left( \frac{ODP}{f_{c28}} \right) + d_i \left( \frac{EP}{f_{c28}} \right) + d_i \left( \frac{AP}{f_{c28}} \right) \right] \quad (7)$$

$$EEP = \frac{1}{\sum_{i=1}^5 n_i} [n_1 \times RIE + n_2 \times RIM + n_3 \times RGE + n_4 \times RPE + n_5 \times AEO] \quad (8)$$

Em que:

*TPE, PRM, RM, WC, GWP, FAETP, TETP, MAETP, ODP, EP* e *AP*, representam os indicadores individuais já multiplicados pelos consumos de material;

$n_1, n_2, n_3, n_4$  e  $n_5$  são os pesos de cada indicador.

Enquanto o autor sugere ponderar os indicadores por meio dos coeficientes  $s$  e  $t$  das equações de desejabilidade, a abordagem adotada considera tais parâmetros como 1 em todos os indicadores e propõe que os usuários ponderem a Ecoeficiência Potencial atribuindo pesos de 1 a 5 a cada componente, de acordo com a importância julgada à situação de uso do concreto. Essa é uma abordagem mais simplista que visa tornar a análise mais intuitiva. Além disso, outra adaptação se refere ao valor ótimo de cada indicador. O autor propõe utilizar o valor mais ecoeficiente abordado na literatura de cada indicador como alvo da função de desejabilidade estatística. Entretanto, optou-se por considerar como resultados ótimos nenhuma emissão dos compostos poluentes, nenhum uso de energia não renovável e completa substituição dos materiais por alternativas sustentáveis e recicladas. Tal medida visa evitar que soluções individuais sejam suficientes para gerar resultados satisfatórios.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Interface do aplicativo

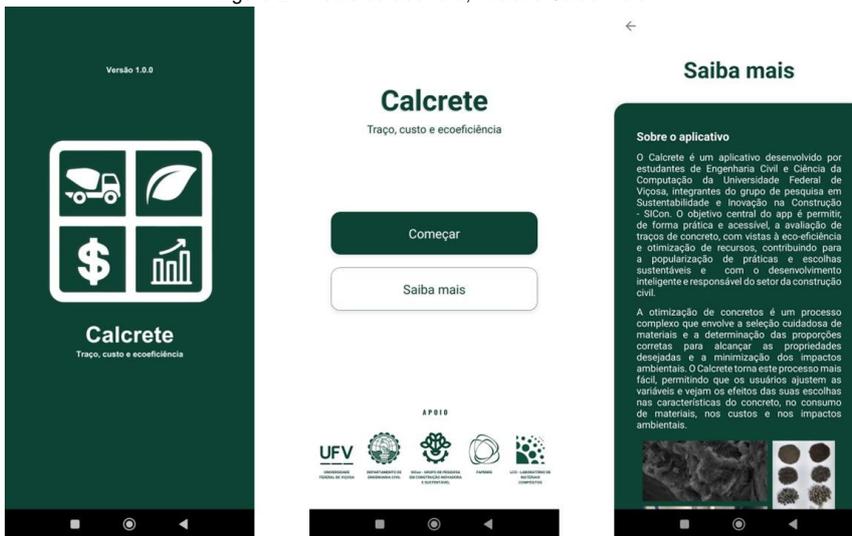
A Figura 2 apresenta a tela de abertura do Calcrete e as telas “Início” e “Saiba mais”. Em “Saiba mais” é encontrado um resumo sobre o aplicativo, apoiadores e toda equipe envolvida. Além disso, é possível ser redirecionado para a página online da aplicação, onde pode ser encontrada a documentação de desenvolvimento, descrição das metodologias empregadas, base de dados, dentre outras informações.

Ao clicar no botão “Começar” da tela Início, o usuário deverá preencher e selecionar os dados das telas Materiais e Consumo, conforme a Figura 3. Na tela Materiais, o usuário pode, além de escolher o aglomerante, agregado miúdo e graúdo, adicionar outros agregados por meio dos botões “Adicionar agregado miúdo” e “Adicionar agregado graúdo”. Além disso, é possível consultar todos os dados relacionados aos materiais no botão “Acessar base de dados”. Já em Consumo, deve-se optar por obter os consumos dos materiais por meio do cálculo, pelos métodos ACI/ABCP e IPT/EPUSP, ou inserir um traço obtido de outra maneira. Vale ressaltar que estas e as telas posteriores possuem um botão de informação, identificado pela letra “i”, que abre um alerta com informações sobre o conteúdo da respectiva tela.



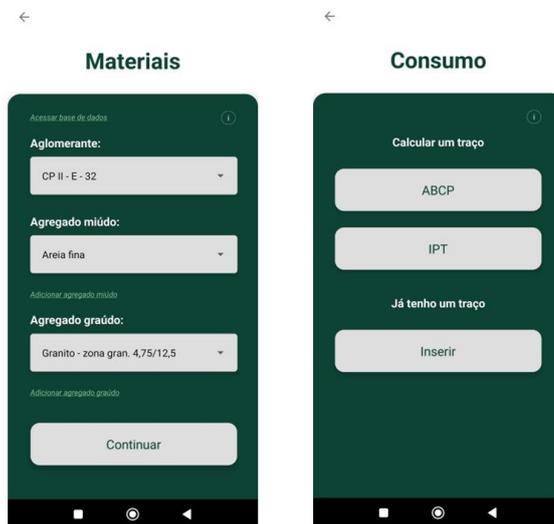


Figura 2 – Telas de abertura, Inicial e Saiba mais.



Fonte: Autor.

Figura 3 – Telas Materiais e Consumo.



Fonte: Autor.

Tendo escolhido a forma como obter o consumo, o usuário poderá ir para uma das três telas da Figura 4. Para o método ABCP, é necessário inserir a resistência característica

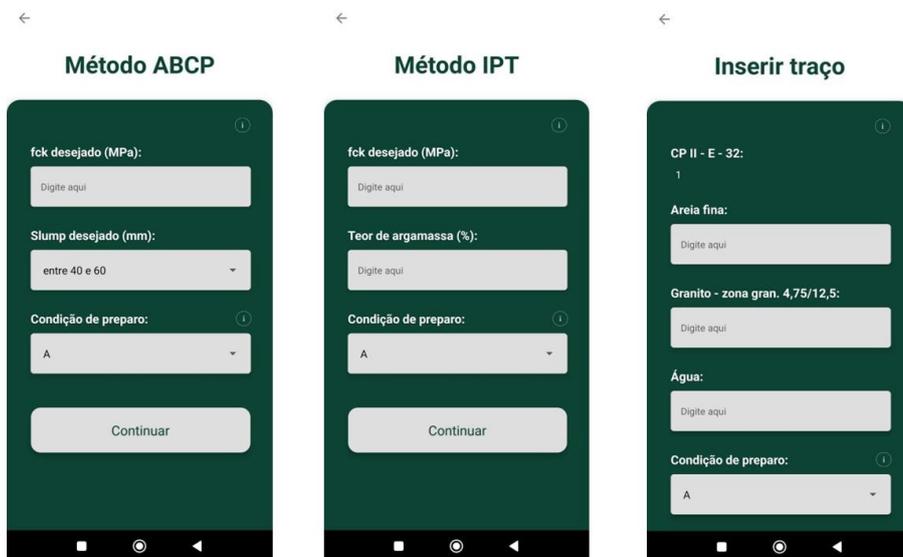




do concreto ( $f_{ck}$ ) desejado, entre 20 MPa e 50 MPa, o intervalo de slump desejado, em mm, e a condição de preparo. Caso o usuário opte pelo método IPT, deverá inserir o  $f_{ck}$  desejado, nas mesmas condições do método ABCP, o teor de argamassa, em porcentagem, e a condição de preparo. Na opção de inserir um traço, deve-se preencher com o traço em massa dos agregados e da água, além da condição de preparo e o  $f_{ck}$ , dados necessários para o cálculo dos indicadores de ecoeficiência. Neste último caso, o Calcrete fornece uma estimativa, pela Lei de Abrams, do  $f_{ck}$  com base no traço de água. Vale enfatizar que o valor indicado serve apenas como referência, visando facilitar a análise do usuário, só sendo utilizado nos cálculos caso o respectivo campo não seja preenchido com outro valor.

Para além de trazerem informações gerais sobre o conteúdo exibido na tela, os botões informativos também foram empregados em diversas etapas para discorrer sobre algumas informações inseridas pelo usuário. Ainda na Figura 4, por exemplo, os botões abrem um alerta que explica quais são as condições de preparo A, B e C, facilitando a escolha do usuário.

Figura 4 – Telas Método ABCP, Método IPT e Inserir traço.



Fonte: Autor.

Os alertas também são ativados caso o usuário preencha dados incorretamente, como valores negativos,  $f_{ck}$  fora do intervalo em que os métodos de dosagem foram idealizados, uso de separador decimal incorreto, etc. Desse modo, o aplicativo foi programado para informar exatamente qual dado deve ser corrigido para seguir a análise.

Na Figura 5, é apresentada uma a tela Resultados, contendo o traço, indicadores de ecoeficiência e consumo de cada material, além dos custos totais e individuais.



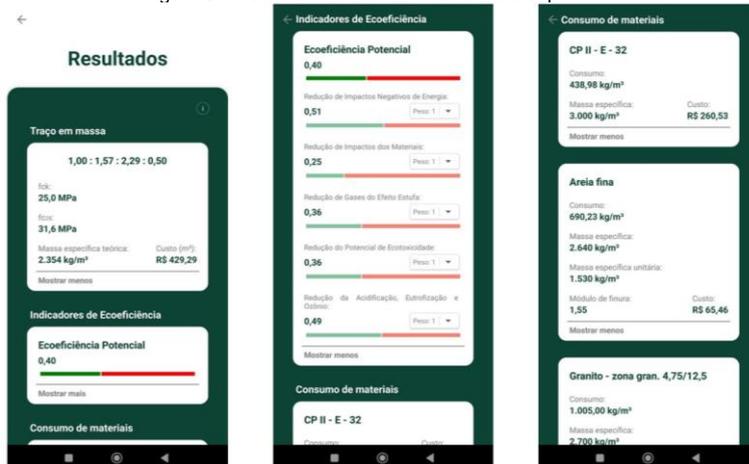
Figura 5 – Tela Resultados.



Fonte: Autor.

Todas as seções mostram versões resumidas dos resultados e contam com o botão “Mostrar mais”, que as expande e exibe mais informações sobre a análise do concreto, conforme a Figura 6. No caso dos indicadores de ecoeficiência, além de apresentar todos os indicadores, estão presentes botões para atribuir pesos, de 1 a 5, para cada indicador que compõe a Ecoeficiência Potencial, de acordo com a importância que o usuário julgar para seu estudo específico. Desse modo, o indicador citado é alterado em tempo real. Além disso, o usuário pode voltar para as telas anteriores ou à tela Início.

Figura 6 – Tela Resultados na versão mais expandida.



Fonte: Autor.



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Calcrete se mostra como uma solução didática que consegue, por meio de uma abordagem prática, interativa e de fácil acesso, introduzir temas complexos da fabricação de concretos e gerar resultados representativos e inteligíveis. O aplicativo permite observar os efeitos de cada parâmetro no traço, custos, e nos indicadores de ecoeficiência, sendo embasado em métodos de dosagem amplamente utilizados no Brasil e em uma abordagem inovadora para indicadores de ecoeficiência de concretos. Assim, por meio desta ferramenta, espera-se promover a divulgação e popularização de práticas, técnicas e materiais sustentáveis no setor da construção civil e na sociedade como um todo, bem como possibilitar que a sustentabilidade seja trabalhada em cursos de engenharia civil de forma dinâmica e simplificada.

O aplicativo aborda assuntos complexos e inovadores, o que torna a coleta de dados dos materiais, sobretudo os relacionados aos indicadores de ecoeficiência, uma tarefa complicada. Por conta disso, o catálogo de materiais deverá ser atualizado conforme a disponibilidade de mais dados na literatura. Informações dinâmicas, como os preços, também deverão ser constantemente atualizadas. Além disso, apesar do Calcrete ser desenvolvido com viés didático, existem diversas ideias para melhorar a experiência do usuário e tornar essa uma ferramenta ainda mais indispensável, principalmente, no meio acadêmico. São algumas delas:

- a) Salvar resultados;
- b) Comparar resultados;
- c) Alterar as variáveis experimentais e de custos;
- d) Adição de mais métodos de dosagem;
- e) Adicionar suporte a aditivos de concreto;
- f) Criação de materiais didáticos na página do aplicativo.

## AGRADECIMENTOS

Este estudo foi financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) – Projeto APQ-02637-21. Os autores também agradecem o apoio financeiro disponibilizado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Agradecimentos também são devidos ao Grupos de Pesquisa SICon-CNPq/UFV.

## REFERÊNCIAS

COSTA, Thiago Ferreira. et al. **Revisão bibliográfica comparativa entre métodos de dosagem de concreto para uso em ferramenta de apoio à obtenção de traços e indicadores de ecoeficiência**. XIV Simpósio de Integração Acadêmica UFV. 2023, Viçosa – Minas Gerais.

SINGE, Çankaya; BEYHAN, Pekey. A comparative life cycle assessment for sustainable cement production in Turkey. **Journal of Environmental Management**, v. 249 nov. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109362>. Acesso em: 8 fev. 2024.





NOVAES, C. G.; et al. **Otimização de Métodos Analíticos Usando Metodologia de Superfícies De Resposta - Parte I: Variáveis de Processo**. Revista Virtual de Química, v. 9, n. 3. 5, abr. de 2017.

OLIVEIRA, Luís A. R.. **Verificação do Método de Dosagem Mais Eficiente Para o Parâmetro e Categoria Analisados**. Orientador: Denise D. M.. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2018.

RODRIGUES, Públis P. F.. **Parâmetros de dosagem do concreto (ET-67)**. 3ª ed. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland, 1988.

SALBEGO, Ricardo I.; GIRARDI, Ricardo. Análise de concretos para peças de pavimentação preparados com agregado reciclado e natural. **Revista Inovação e Tecnologia**, Porto Alegre, v. 9, n 23, dez. 2018.

SOUZA, Ariel M.; et al. Application of the desirability function for the development of new composite eco-efficiency indicators for concrete. **Journal of Building Engineering**, v. 40, ago. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102374>. Acesso em: 20 mar. 2024.

VIEIRA, Darli R.; CALMON, João L.; COELHO, Felipe Z.. Life cycle assessment (LCA) applied to the manufacturing of common and ecological concrete: A review. **Construction and Building Materials**, v. 124, n. 15, out. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.125>. Acesso em: 20 mar. 2024.

## **CALCRETE: A DIDACTIC TOOL TO ASSIST IN OBTAINING TRACES, COSTS AND ECO-EFFICIENCY INDICATORS OF CONCRETE FOR ANDROID DEVICES**

**Abstract:** *Calcrete is an innovative tool for the analysis of concrete and its environmental impacts. The application, developed with the React Native library, is capable of calculating concrete mix ratios, using the IPT/EPUSP and ACI/ABCP methods, receiving concrete mix ratios obtained by other methods and calculating eco-efficiency indicators and the costs of each material used. The tool was developed with a didactic bias and aims to facilitate analysis and promote debate and use of sustainable solutions in the production of concrete and in the construction industry, as well as enabling sustainability to be discussed in civil engineering courses in a dynamic and simplified way. For this, Calcrete adopts the modeling of eco-efficiency indicators based on the statistical desirability function and other solutions that aim to make the results more accessible and intelligible to users, while remaining representative.*

**Keywords:** *Concrete, Concrete mix design, Eco-efficiency, Application, Education.*



