

# INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, INOVAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO

DIRETORIA DE PESQUISA

PROJETOS DE PESQUISA/INOVAÇÃO

Edital 49/2022 - PIBITI/CNPq Vagas Remanescentes

## 1 - UNIDADE PROPONENTE

Campus: <b>CAMPUS-JP</b>
-----------------------------

## 2 - IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO

Título do projeto: <b>Avaliação dos efeitos da porosidade nas propriedades do concreto impresso em 3D por extrusão (3DCP)</b>	
Grande área de conhecimento: <b>ENGENHARIAS</b>	Área de conhecimento: <b>ENGENHARIA CIVIL</b>
Área temática: <b>Construção civil</b>	Tema: <b>None</b>
Período de execução: <b>Início: 01/10/2022   Término: 31/08/2023</b>	

## 3 - CARACTERIZAÇÃO DOS BENEFICIÁRIOS

Público alvo	Quantidade
--------------	------------

## 4 - EQUIPE PARTICIPANTE

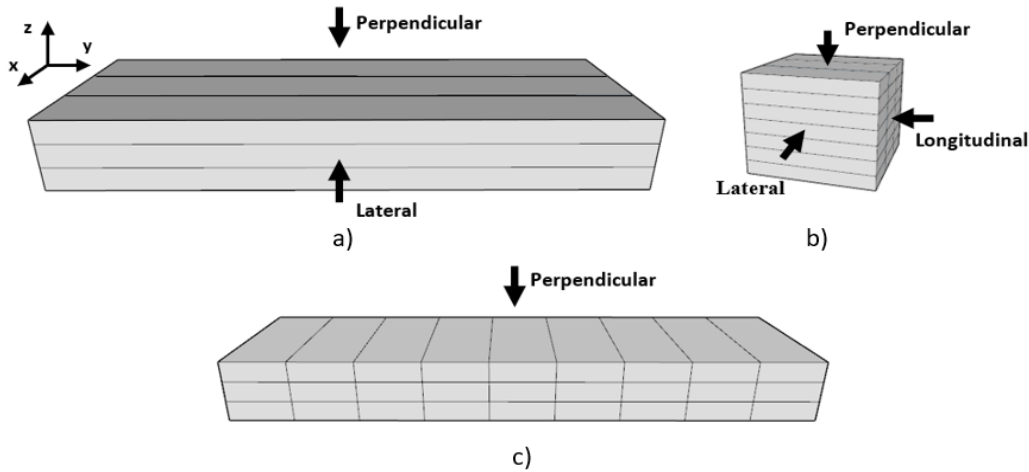
PROFESSORES E/OU TÉCNICOS ADMINISTRATIVOS DO IFPB			
Membro	Contatos	Vínculo	Titulação
Nome: <b>Marcos Alyssandro Soares dos Anjos</b> Matrícula: <b>1372249</b>	Tel.: <b>/ (83) 3612-1300 (ramal: 1300)</b> E-mail: <b>marcos.anjos@ifpb.edu.br</b>	Voluntário	DOUTORADO

## 5 - DISCRIMINAÇÃO DO PROJETO

<b>Resumo</b>
<b>Introdução</b> <p>A manufatura aditiva (MA), também conhecida como impressão 3D, vem ganhando espaço e se tornando uma ferramenta intensificadora nos avanços da automação da indústria da construção civil. Essa tecnologia está baseada na junção de materiais para o desenvolvimento de uma estrutura tridimensional a partir de um modelo digital projetado.</p> <p>O concreto ou compósito cimentício para impressão 3D tem características peculiares, pois apresenta propriedades anisotrópicas a depender do sentido de avaliação, devido a processo de construção que produz juntas entre as camadas, diferentemente do concreto convencional. A Figura 1 mostra as condições de ensaios normalmente utilizadas para análise de materiais por impressão 3D.</p>

Várias pesquisas enfatizam que a ligação entre camadas pode ficar acometida em função do surgimento de vazios entre os filamentos durante o processo de extrusão. Em decorrência disso, condições relacionadas aos materiais empregados na dosagem, parâmetros da máquina de impressão e tempo de deposição entre camadas são apontados como relevantes no controle da força de aderência entre os filamentos (PANDA et al., 2018) e na porosidade do material 3DCP (VAN DEN HEEVER et al., 2022).

Figura 1. Direção do carregamento em amostras extrudadas.



Fonte: Adaptado de Zhang et al. (2019).

O presente projeto trata de uma pesquisa experimental que visa submeter os objetos de estudo à influência de certas variáveis, em condições controladas e conhecidas, para observar os resultados que a variável produz no objeto. Neste sentido, visa avaliar comparativamente impressão 3DCP de blocos com uma configuração específica, ou seja, formato pré-determinado, com o uso da impressora projetada e montada pelo grupo de pesquisa em materiais e construções sustentáveis e assim avaliar a porosidade em diferentes direções de ensaios e com diferentes formulações.

#### Justificativa

A produtividade na indústria da construção estagnou desde a segunda metade da década de 1990, se mostrando em um grande contraste com a melhoria consistente da produtividade em outros segmentos da indústria, dando destaque ao setor de manufatura. Uma das formas promissoras de melhorar a produtividade, e que tem crescido nos últimos anos, é por meio da automação dos processos construtivos, como no caso do uso de equipes multifuncionais em projetos de construção (CHEN; GARCÍA DE SOTO; ADEY, 2018; SVEIKAUSKAS et al., 2016)

A impressão 3D de concreto tem recebido atenção significativa da indústria da construção e de pesquisadores em todo o mundo e se mostra como uma alternativa promissora e de impacto sobre as demandas do setor. Vários estudos sobre a temática que abordam as principais tecnologias empregadas na impressão 3D, os aspectos de desenvolvimento das misturas e as propriedades efetivas do material impresso vêm sendo publicadas e reforçam o potencial de aplicação que essa metodologia pode ter na indústria da construção civil.

Nesse sistema é importante saber que a garantia da qualidade das estruturas impressas é função da comunicação entre as características dos materiais e das propriedades da mistura empregada, como também do controle dos padrões de impressão, o intervalo de tempo entre a deposição de camadas, os efeitos do formato do bico de saída sobre a geometria do material extrudado e sua estabilidade, a taxa de fluxo do material e a velocidade de impressão (LAO et al., 2020; TAY et al., 2019; TAY; LI; TAN, 2019).

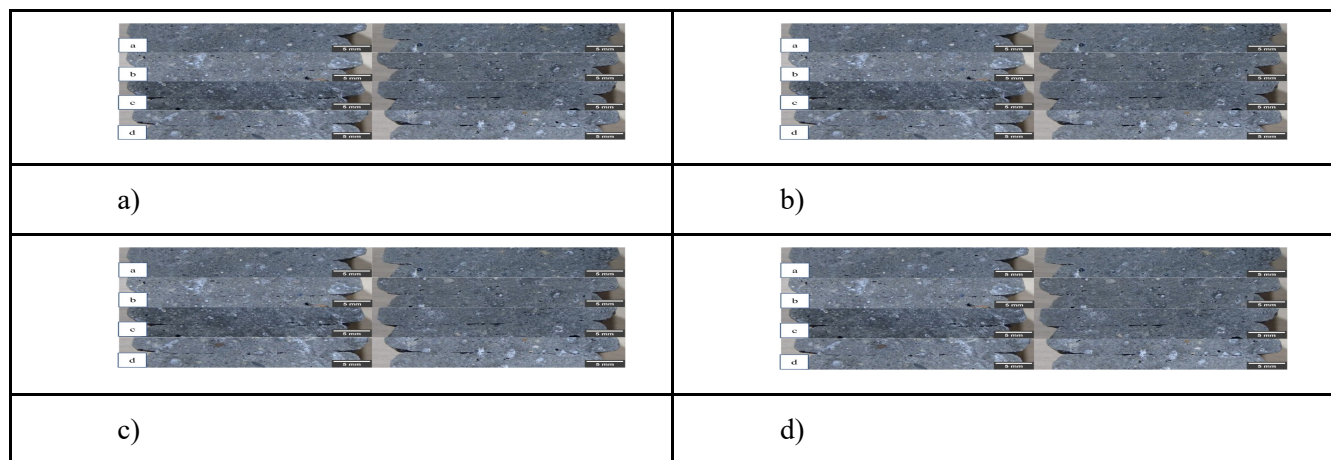
Neste sentido, o presente projeto visa contribuir no entendimento do comportamento de peças impressas com diferentes formatos de blocos e prismas construídos por meio 3DCP avaliando como a forma da impressão e o tempo de deposição interfere na porosidade do produto cimentício 3DCP.

#### Fundamentação teórica

A qualidade das estruturas impressas não é unicamente uma função das características dos materiais ou das propriedades da mistura empregada, essa depende também do controle dos padrões de impressão. Entre os estudos levantados que tratam da tecnologia baseado em extrusão, a interferência de alguns desses processos foram avaliados como, o intervalo de tempo entre a deposição de camadas, os efeitos do formato do bico de saída sobre a geometria do material extrudado e sua estabilidade, a taxa de fluxo do material e a velocidade de impressão.

Tay et al. (2018) investigaram os efeitos de diferentes intervalos entre a impressão do filamento inicial e os subsequentes a partir de observações macroscópica e mecânicas. A mistura tinha em sua composição cimento Portland comum, sílica ativa, cinza volante e areia natural de rio, impressa nos intervalos de 1 min, 5 min, 10 min e 20 min. No que diz respeito a força de ligação entre as camadas, essa foi medida por meio de tração direta, sendo observada uma redução logarítmica com uma queda acentuada entre os intervalos de 1 min e 5 min, e pouco significativa entre os demais valores. Esse comportamento pode ser causado por alterações na ligação interfacial das camadas, como é observado na Figura 2, o surgimento de uma separação física formada por vazios.

Figura 2. Seção transversal das amostras impressas no intervalo de tempo de: a) 1 min; b) 5 min; c) 10 min; e d) de 20 min.



Fonte: Adaptado de Tay et al., (2018).

Mesmo para intervalos de tempo curtos, entre a primeira e segunda amostra, a interface das camadas reagem de formas distintas. Para os autores à medida que a nova camada é sobreposta a superfície do filamento inferior, esse pode se reorganizar de modo a acomodar as tensões impostas e promover a ligação entre as faces. Com o avanço no tempo a rigidez do material aumenta e assim a interação é prejudicada, surgindo os vazios apresentados nas imagens da Figura 3, uma vez que a energia da deposição não é mais suficiente para promover a reorganização nas interfaces.

Desta forma fica claro como vários aspectos da impressão podem afetar a porosidade do compósito cimentício 3DCP, portanto é importante avaliar como os diferentes fatores intervenientes atuam na porosidade do sistema 3DCP desenvolvido no IFPB e como este sistema interagem com a geometria do material impresso.

### Objetivo geral

O presente projeto consiste em um método de pesquisa experimental que visa estudar como os diferentes fatores intervenientes atuam na porosidade do sistema 3DCP desenvolvido no IFPB e como este sistema interagem com a geometria do material impresso.

### Objetivos específicos:

- Caracterizar os materiais precursores dos compósitos cimentícios para construção 3DCP;
- Realizar a formulação das misturas dos compósitos cimentícios para construção 3DCP;
- Construir diferentes peças 3DCP, prismas e blocos, utilizando a impressora 3DCP/IFPB/UFRN;
- Determinar e analisar as propriedades físicas e de porosidade dos blocos e prismas 3DCP.

### Metas

- 1 - Caracterização dos materiais precursores.

- 2 - Determinação das formulações a serem analisadas e produção dos blocos.
- 3 - Avaliação das propriedades físicas e porosidade das misturas cimentícias.
- 4 - Relatórios

### **Metodologia da execução do projeto**

Para execução do projeto são necessários analisar a viabilidade de uso de diversos materiais, a princípio os materiais selecionados para análise neste trabalho são descritos abaixo:

Cimento Portland CP V - ARI

Adições minerais: Metacaulim e filer calcário

Agregados naturais: Areia de rio

Aditivo químico: Superplastificantes (SP) e hidroxipropilmetilcelulose (HPMC)

### **Métodos e técnicas**

#### **Etapa 1: Caracterização dos materiais precursores.**

Para caracterizar e avaliar as propriedades dos materiais precursores serão utilizados os métodos expostos na Tabela 1. Os equipamentos para os ensaios e análises descritos na Tabela 1 estão disponíveis no IFPB/campus-João Pessoa e reitoria/IFPB.

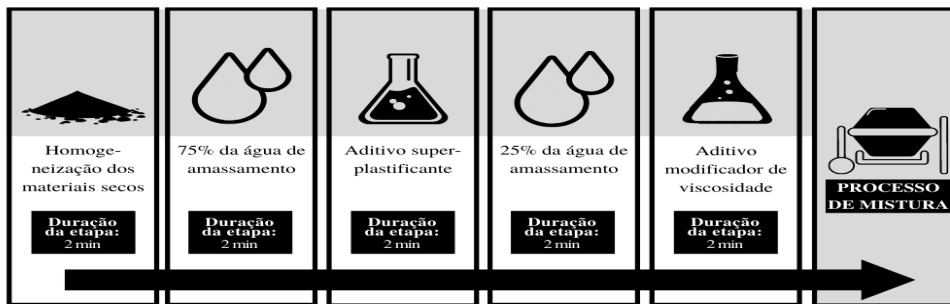
Tabela 1. Ensaios a serem realizados

	<b>Propriedade</b>	<b>Método</b>	<b>Laboratório</b>
Agregados, Cimento, adições e minerais	Distribuição granulométrica	Peneiramento	IFPB
	Massa específica (ME)	Chapman/balança hidrostática	IFPB
	Teor de Material pulverulento	Lavagem dos agregados	IFPB
	Absorção de água por imersão	Balança hidrostática	IFPB
	Área superficial	BET	IFPB

#### **Etapa 2: Determinação das formulações a serem analisadas e produção dos blocos.**

Para a determinação das formulações será empregado o método proposto por Dias (2022), onde serão definidas 3 misturas variando o consumo de cimento a partir do uso de filer. A partir disto, serão determinadas as relações constitutivas básicas dessas composições, para em seguida realizar a produção das misturas, conforme sequência (Fig. 3), para a produção dos blocos.

Figura 3. Esquematização do processo de mistura dos compósitos 3DCP



Fonte: Barbosa (2022).

### Etapa 3. Avaliação das propriedades físicas e porosidade das misturas cimentícias.

A tabela 2 apresenta os testes que serão realizados nas misturas cimentícias definidas na etapa anterior, com o intuito de avaliar a reologia e as propriedades físicas das misturas cimentícias em análise.

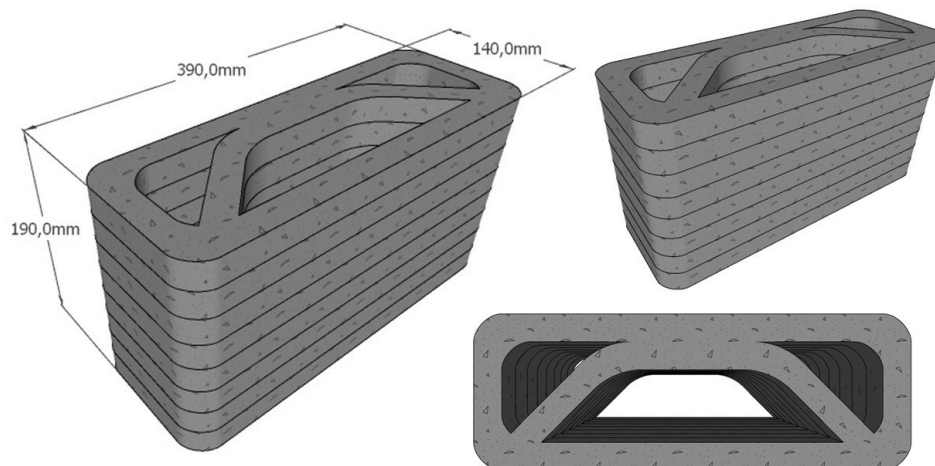
Tabela 2. Ensaios a serem realizados para a caracterização das propriedades das argamassas 3DCP

Propriedade	Ensaio	Laboratório
Viscosidade aparente	Espalhamento na mesa de consistência	IFPB
Viscosidade real	Viscosímetro rotacional	IFPB
Densidade de massa e teor de ar incorporado	Método gravimétrico	IFPB
Porosidade aberta	Método gravimétrico	IFPB
Absorção de água por capilaridade	Método gravimétrico	IFPB

### Determinação da capacidade de construção ensaios de compressão nos blocos.

Para a análise de viabilidade da impressão das misturas cimentícias serão moldadas peças por impressão 3D, utilizando a impressora projetada e construída pelo grupo de pesquisa do orientador desse projeto e que está disponível nos laboratórios de engenharia civil do IFPB. A capacidade de impressão será avaliada com base no método proposto em Chen et al. (2020), em que se considera a construção de peças, conforme Figura 4.

Figura 4 - Geometria do bloco 3DCP que serão produzidos (dimensões em mm).



Fonte: autores

**Disseminação dos resultados****Acompanhamento e avaliação do projeto durante a execução**

A avaliação será realizada ao longo da execução do projeto com reuniões semanais entre os participantes e com apresentação dos resultados da pesquisa a cada mês por meio de relatórios para o coordenador do projeto e a partir desses resultados as metas e atividades serão atualizadas no SUAP. Serão produzidos os relatórios, parcial e final, conforme previsto no edital. Durante a execução da pesquisa e com o avanço da obtenção dos resultados serão escritos artigos para divulgação científica em congressos nacionais e/ou internacionais.

**1. Identificação**

Nome Leyla Rodrigues Pessoa	Matrícula 201912220023
Orientador	Unidade Acadêmica UA1
Área de concentração/ atuação Engenharia civil/ materiais e processos construtivos	
Instituição /empresa onde realiza o estágio IFPB	Período de duração do projeto: 09/2022 a 08/2023

**2. Descrições do trabalho/pesquisa**

Tema Desenvolvimento de novos materiais	Título Avaliação dos efeitos da porosidade nas propriedades do concreto impresso em 3D por extrusão (3DCP)
Objetivo geral Avaliar o comportamento reológico e de porosidade de misturas para impressão 3D	Objetivos específicos <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Realizar ensaios para obtenção dos resultados de caracterização dos materiais precursores;</li> <li>▪ Realizar o estudo de determinação das composições 3DCP;</li> <li>▪ Proporcionar os materiais de acordo com a dosagem, pesar e misturar os materiais para obter compósitos cimentícios 3DCP;</li> <li>▪ Realizar ensaios para obtenção dos resultados das propriedades físicas e de porosidade dos compósitos cimentícios 3DCP;</li> <li>▪ Realizar ensaios para obtenção dos resultados de construtibilidade;</li> </ul>

**1. Identificação**

Nome Marcos Alyssandro Soares dos Anjos	Matrícula 1372249
Orientador	Unidade Acadêmica UA1
Área de concentração/ atuação Construção Civil	Assinatura do orientador

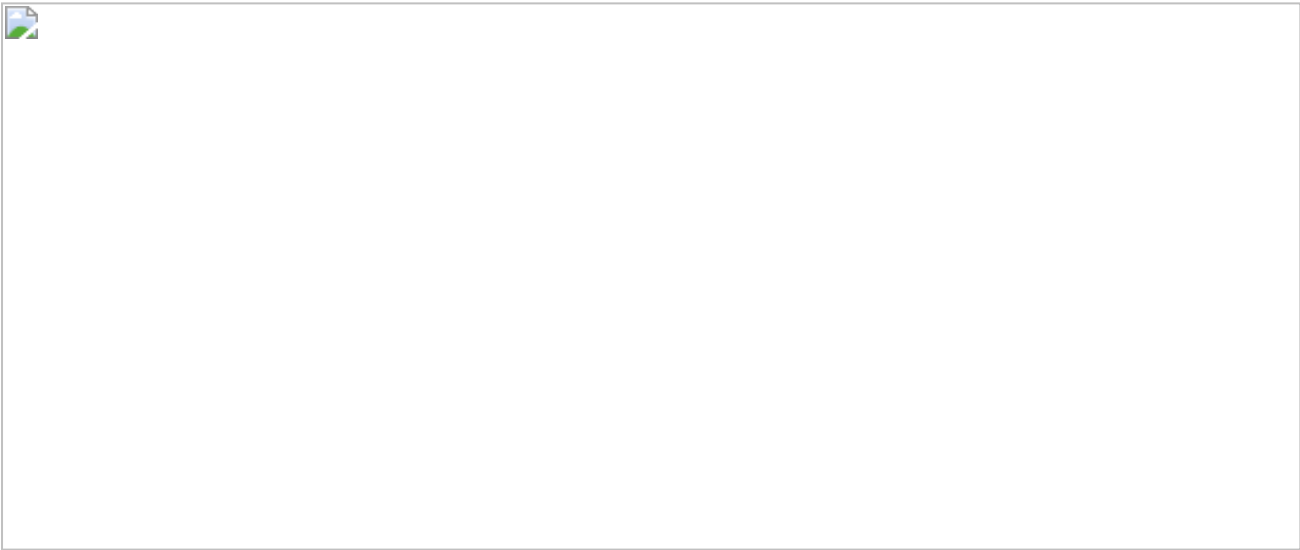
Instituição /empresa onde realiza o projeto:  
IFPB

Período de duração do projeto:  
09/2022 a 08/2023

## 2. Descrições do trabalho/pesquisa

<p>Tema</p> <p>Desenvolvimento de novos materiais</p>	<p>Título</p> <p>Avaliação do comportamento estrutural de blocos produzidos por impressão 3D em concreto (3DCP)</p>
<p>Objetivo geral</p> <p>Propor, orientar, treinar, acompanhar os ensaios de laboratório e avaliar os bolsistas</p>	<p>Objetivos específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Propor o projeto</li> <li>▪ Propor as matérias-primas</li> <li>▪ Propor e avaliar as dosagens</li> <li>▪ Propor métodos de para avaliação das propriedades</li> <li>▪ Treinar a bolsista para a execução dos ensaios</li> <li>▪ Orientar a execução dos ensaios de laboratório</li> <li>▪ Avaliar e discutir os resultados com os bolsistas</li> <li>▪ Orientar a escrita de artigos e relatórios técnicos</li> </ul>

### Cronograma de atividades



### Referências bibliográficas

- BARBOSA, M. D. S. **DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITOS PARA IMPRESSÃO 3D COM CONSUMO DE CIMENTO REDUZIDO**. [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2022.
- CHEN, Q.; GARCÍA DE SOTO, B.; ADEY, B. T. Construction automation: Research areas, industry concerns and suggestions for advancement. **Automation in Construction**, v. 94, p. 22–38, out. 2018.
- CHEN, Y. et al. Improving printability of limestone-calcined clay-based cementitious materials by using viscosity-modifying admixture. **Cement and Concrete Research**, v. 132, p. 106040, jun. 2020.
- DIAS, L. DE S. **Metodologia de dosagem com base em relações constitutivas básicas de misturas para impressão 3d em concreto (3DCP)**. [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2022.
- LAO, W. et al. Improving surface finish quality in extrusion-based 3D concrete printing using machine learning-based extrudate geometry control. **Virtual and Physical Prototyping**, v. 15, n. 2, p. 178–193, 2 abr. 2020.
- PANDA, B. et al. Measurement of tensile bond strength of 3D printed geopolymers mortar. **Measurement**, v. 113, p. 108–116, jan. 2018.

SVEIKAUSKAS, L. et al. Productivity Growth in Construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 142, n. 10, out. 2016.

TAY, Y. W. D. et al. Time gap effect on bond strength of 3D-printed concrete. **Virtual and Physical Prototyping**, v. 14, n. 1, p. 104–113, 2 jan. 2019.

TAY, Y. W. D.; LI, M. Y.; TAN, M. J. Effect of printing parameters in 3D concrete printing: Printing region and support structures. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 271, p. 261–270, set. 2019.

VAN DEN HEEVER, M. et al. Evaluating the effects of porosity on the mechanical properties of extrusion-based 3D printed concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 153, p. 106695, mar. 2022.

## 6 - CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

Meta	Atividade	Especificação	Indicador(es) qualitativo(s)	Indicador físico		Período de execução	
				Unid.de Medida	Qtd.	Início	Término
1	1	caracterizar e avaliar as propriedades dos materiais precursores	Dados de: Distribuição granulométrica Massa específica (ME) Teor de Material pulverulento Absorção de água por imersão		100	Previsto para 01/10/2022   Iniciado em 01/10/2022	Previsto para 30/11/2022   Concluído em 30/11/2022
2	1	Determinar as formulações será empregado o método proposto por Dias (2022), onde serão definidas 3 misturas variando o consumo de cimento a partir do uso de filer	resultados das formulações escolhidas		100	Previsto para 01/11/2022   Iniciado em 01/11/2022	Previsto para 30/11/2022   Concluído em 30/11/2022
3	1	avaliar a reologia e as propriedades físicas das misturas cimentícias em análise	Viscosidade aparente Viscosidade real Densidade de massa e teor de ar incorporado Porosidade aberta Absorção de água por capilaridade		70	Previsto para 01/12/2022   Iniciado em 01/12/2022	Previsto para 31/08/2023   Concluído em 31/08/2023
4	1	Relatório parcial	Entrega de relatório parcial		100	Previsto para 01/04/2023   Iniciado em 01/04/2023	Previsto para 30/04/2023   Concluído em 30/04/2023
4	2	Relatório final	Entrega de Relatório final		0	01/09/2023	30/09/2023

## 7 - PLANO DE APLICAÇÃO

Classificação da despesa	Especificação	PROEX (R\$)	DIGAE (R\$)	Campus proponente (R\$)	Total (R\$)
339018	Auxílio Financeiro a Estudantes	0	0	0	0
<b>TOTAIS</b>		<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

## 8 - CRONOGRAMA DE DESEMBOLSO

Despesa	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
339018 - Auxílio Financeiro a Estudantes	400.00	400.00	400.00	400.00	400.00	400.00	400.00	400.00	0	400.00	400.00	400.00

## Anexo A

### MEMÓRIA DE CÁLCULO

CLASSIFICAÇÃO DE DESPESA	ESPECIFICAÇÃO	UNIDADE DE MEDIDA	QUANT.	VALOR UNITÁRIO	VALOR TOTAL	ATIVO
339018 - Auxílio Financeiro a Estudantes	Bolsa para estudante	mês	11	400.00	4400.00	Sim
<b>TOTAL GERAL</b>					<b>4.400,00</b>	