UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS - UFMG

MESTRADO EM INOVAÇÃO TECNOLÓGICA

ATHOS SILVA LIMA

DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS DE VALOR AGREGADO A PARTIR DE REJEITOS DA MINERAÇÃO DE FERRO COM A TECNOLOGIA DE GEOPOLÍMERO: DA PESQUISA ATÉ A CRIAÇÃO DE UMA *SPIN-OFF ACADÊMICA*

Belo Horizonte

2022

ATHOS SILVA LIMA

DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS DE VALOR AGREGADO A PARTIR DE REJEITOS DA MINERAÇÃO DE FERRO COM A TECNOLOGIA DE GEOPOLÍMERO: DA PESQUISA ATÉ A CRIAÇÃO DE UMA *SPIN-OFF ACADÊMICA*

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Inovação Tecnológica e Propriedade Intelectual da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre.

Área de concentração: Novos Materiais, Nanotecnologia e Química.

Orientador: Rochel Montero Lago
Co-orientadora: Ana Paula de Carvalho Teixeira

Belo Horizonte

2022

Reservado para ficha catalográfica

PPGIT
PÓS-GRADUAÇÃO EM
INOVAÇÃO TECNOLÓGICA

UFMG
UNIVERSIDADE FEDERAL
DE MINAS GERAIS

ATA DA SESSÃO DE DEFESA DA 4ª DISSERTAÇÃO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INOVAÇÃO TECNOLÓGICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, DO DISCENTE ATHOS SILVA LIMA, Nº DE REGISTRO 2020689965.

Aos 27 (vinte e sete) dias do mês de maio de 2022, às 14 horas, no Auditório 120 do Departamento de Química do ICEx, reuniu-se a Comissão Examinadora composta pelos Professores Doutores: Rochel Montero Lago do Programa de Pós-graduação em Inovação Tecnológica da UFMG (Orientador), Ana Paula de Carvalho Teixeira do Programa de Pós-graduação em Inovação Tecnológica da UFMG (Coorientadora), Fernando Soares Lameiras do Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear, Ottavio Raul Domenico Carmignano da Pedras Congonhas Ltda e Glaura Goulart Silva do Programa de Pós-graduação em Inovação Tecnológica da UFMG, para julgamento da Dissertação do Mestrado em Inovação Tecnológica - Área de Concentração: Gestão da Inovação, Propriedade Intelectual e Empreendedorismo do discente Athos Silva Lima, Dissertação intitulada: **"DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS DE VALOR AGREGADO A PARTIR DE REJEITOS DA MINERAÇÃO DE FERRO COM A TECNOLOGIA DE GEOPOLÍMERO DA PESQUISA ATÉ A CRIAÇÃO DE UMA SPINOFF."** O Presidente da Banca abriu a sessão e apresentou a Comissão Examinadora, bem como esclareceu sobre os procedimentos que regem da defesa pública de dissertação. Após a exposição oral do trabalho pelo discente e arguição pelos membros da Banca Examinadora na ordem registrada acima, com a respectiva defesa do candidato. Finda a arguição, a Banca Examinadora se reuniu, sem a presença do discente e do público, tendo deliberado unanimemente pela sua **APROVAÇÃO**. Nada mais havendo para constar, lavrou-se e fez a leitura pública da presente Ata que segue assinada por mim e pelos membros da Comissão Examinadora e pelo coordenador do PPGIT. Belo Horizonte, 27 de maio de 2022.

Professor Doutor Rochel Montero Lago (Orientador)
(PPG em Inovação Tecnológica da UFMG)

Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha – CEP 31270-901 - Belo Horizonte – MG – Brasil - Sala 150A – Departamento de Química – UFMG
Telefone: +55 31 3409 5735 – ppgit@ufmg.br / https://www.ufmg.br/pginovacaotecnologica/

PPGIT
PÓS-GRADUAÇÃO EM
INOVAÇÃO TECNOLÓGICA

UFMG
UNIVERSIDADE FEDERAL
DE MINAS GERAIS

Professora Doutora Ana Paula de Carvalho Teixeira (Coorientadora)

(PPG em Inovação Tecnológica da UFMG)

Professor Doutor Fernando Soares Lameiras

(Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear)

Doutor Ottavio Raul Domenico Carmignano

(Pedras Congonhas Ltda)

Professora Doutora Glaura Goulart Silva

(PPG em Inovação Tecnológica da UFMG)

Professor Doutor Ado Jório de Vasconcelos

Coordenador do PPG em Inovação Tecnológica da UFMG

Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha – CEP 31270-901 - Belo Horizonte – MG – Brasil - Sala 150A – Departamento de Química – UFMG
Telefone: +55 31 3409 5735 – ppgit@ufmg.br / https://www.ufmg.br/pginovacaotecnologica/

AGRADECIMENTOS

Esse trabalho só foi possível graças a todos aqueles que estiveram do meu lado, sozinho eu jamais teria conseguido chegar até aqui.

Sou grato por todos aqueles que contribuíram para a minha jornada pessoal e profissional.

Sou grato pelos meus familiares que me apoiaram nas minhas escolhas e nos momentos de fraqueza. Pelo meu filho Lucas, que sempre me deu energia, força e disposição para conquistar um mundo melhor e Alice, que apesar de todo o sacrifício e os contratempos sempre esteve do meu lado me apoiando e me dando forças. Aos meus pais, Wilson e Keila, que me deram a estrutura para que tudo isso fosse possível, a minha irmã Thaís, que sempre me animava com suas piadas e “memes”.

Grato pelos meus sócios que foram tão importantes na minha trajetória, Caroline, Larissa e Igor, que fizeram tudo para que esse sonho pudesse se concretizar.

Sou grato pelos meus orientadores Rochel e Ana Paula, que contribuíram não só com a minha formação como engenheiro químico, mas também como indivíduo, gestor, empreendedor e me tornaram uma pessoa melhor!

Agradeço às amizades que fiz na inovação, em especial ao Rafa, que me proporcionou e proporciona várias conversas incríveis sob a temática de inovação e empreendedorismo.

Gostaria de agradecer a todo o programa de inovação que me prestou suporte até aqui, ao pessoal da secretária, em especial a Eni, que contribuiu e me ajudou em diversos momentos no programa.

Gostaria de agradecer também a cada indivíduo que contribui para que a inovação seja possível, através dessas pessoas que nós mudaremos o mundo para melhor.

E para finalizar, gostaria de agradecer a Geeco, que tornou o sonho do empreendedorismo possível para mim, sou muito grato por tudo que aprendi estando a frente dessa empresa maravilhosa.

RESUMO

As *spin-offs* acadêmicas (SOA) são empresas que tem como objetivo explorar o conhecimento gerado dentro das universidades de maneira comercial, contribuindo para geração de riqueza, empregos e mobilizando o ciclo da inovação contribuindo para o reinvestimento na área de pesquisa. A Geeco, dentro deste contexto é uma SOA da área de materiais e engenharia, que nasceu na UFMG a partir de um programa de inovação aberta da Samarco Mineração, o desafio MinerAll (2018). A tecnologia da Geeco é baseada nos geopolímeros e ao longo de sua trajetória passou por vários processos de mudança de modelo de negócio atrelados ao desenvolvimento tecnológico e ao desenvolvimento da prova de conceito e os resultados coletados dela. Neste trabalho é descrita a trajetória da Geeco desde o desenvolvimento do material geopolimérico até a sua criação, descrevendo cada uma das fases mais importantes do processo vivido na constituição da *Spin-off*, através do desafio MinerAll. O foco principal do trabalho é a importância das provas de conceito no processo de desenvolvimento dos materiais geopoliméricos e no modelo de negócio adotado pela Geeco. A metodologia utilizada foi a pesquisa-ação, juntamente com elementos do desenvolvimento de produto, que foi utilizado para a confecção do processo de escalonamento e confecção dos produtos descritos no trabalho, além da coleta de dados, que foi fundamental para caracterização dos dados e determinação de suas classes. Foi possível no trabalho, descrever a trajetória da *spin-off* e sua equipe até o fechamento dos primeiros contratos, além dos produtos desenvolvidos, foi possível determinar um modelo para criação e desenvolvimento de uma *spin-off* de produtos a base de geopolímeros e também determinar quais os fatores de influência para o sucesso de uma *spin-off* na área de geopolímeros. Foi possível concluir que a equipe era o fator determinante para o sucesso da *spin-off*, além disso é possível verificar também que ter um plano de desenvolvimento de produto sólido e factível, além de amplo domínio da tecnologia base da empresa são fatores que aumentam o sucesso do negócio.

Palavras-chaves: Geopolímeros; *Spin-off* acadêmica; Provas de conceito; Aceleração; Novos materiais.

ABSTRACT

Academic spin-offs (ASO) are companies that aim to exploit the knowledge generated within universities in a commercial way, contributing to the generation of wealth, jobs and mobilizing the innovation cycle, contributing to reinvestment in the research area. Geeco, within this context, is a ASO in the area of materials and engineering, which was born at UFMG from an open innovation program by Samarco Mineração, the MinerAll challenge (2018). Geeco's technology is based on geopolymers and throughout its trajectory it has gone through several business model change processes linked to technological development and the development of the proof of concept and the results collected from it. This work describes Geeco's trajectory from the development of the geopolymer material to its creation, describing each of the most important phases of the process experienced in the constitution of the Spin-off, through the MinerAll challenge. The main focus of the work is the importance of proofs of concept in the development process of geopolymer materials and in the business model adopted by Geeco. The methodology used was action research, together with elements of product development, which was used to prepare the scaling process and manufacture of the products described in the work, in addition to data collection, which was fundamental for data characterization and determination of your classes. It was possible to describe the trajectory of the spin-off and its team until the closing of the first contracts, in addition to the products developed, it was possible to determine a model for the creation and development of a spin-off of products based on geopolymers and also to determine which Influencing factors for the success of a spin-off in the area of geopolymers. It was possible to conclude that the team was the determining factor for the success of the spin-off, in addition, it is also possible to verify that having a solid and feasible product development plan, in addition to a broad domain of the company's base technology, are factors that increase the business success

Keywords: *Geopolymers; Academic spin-off; Proofs of concept; Acceleration; New materials*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo simplificado da mineração 15
Figura 2 - Tipos de estruturas geopoliméricas 18
Figura 3 - Esquema representativo da produção de geopolímeros 19
Figura 4- Esquema representativo das diferentes etapas de formação dos geopolímeros 20
Figura 5 - Esquema representativo do modelo correlacionado a investigação na pesquisa-ação 29
Figura 6 - Etapas do desenvolvimento da pesquisa na estratégia metodológica de pesquisa-ação 34
Figura 7 - Esquema representativo das etapas para realização de um estudo de mercado 35
Figura 8 - Usos da pesquisa exploratória, descritiva e causal 36
Figura 9 - Tipos de fontes de dados 36
Figura 10 - Corpos de prova moldados 38
Figura 11 - Resistência a compressão com 7 dias de cura 39
Figura 12 - Resultado da absorção de água dos corpos de prova moldados 39
Figura 13 - Análise microestrutural em diversas ampliações para a matriz geopolimérica 40
Figura 14 - EDS para a matriz geopolimérica desenvolvida 41
Figura 15 - Peças geopoliméricas feitas a partir de diversos rejeitos de mineração e siderurgia: (a) rejeitos de minério ferro, (b) lama de mineração de ferro, (c) rejeito de zinco, (d) rejeito de lítio, (e) fração fina de gnaisse, (f) rejeito fino de mármore, (g) rejeito de manganês, (h) escórias de siderurgia, (i) frações finas de serpentinito, (j) areia bayer e (k) lama vermelha 42
Figura 16 – Etapas do desafio MinerAll simplificadas 43
Figura 17 - Imagem da apresentação do Pitch da seleção da GMTech para o desafio MinerAll 44
Figura 18 - Finalização do Demoday da Fase 1 do Desafio MinerAll 46
Figura 19 - Athos e Igor durante o teste das primeiras placas geopoliméricas feitas a partir de rejeito da mineração 48
Figura 20 - Primeiros blocos a esquerda, e placas a direita, com rejeito desenvolvidas a partir de uma formulação padrão de geopolímeros 48
Figura 21 - Placa de geopolímero apresentando defeito dimensional (empenamento) 49
Figura 22 - Caroline e Igor após apresentação de pitch para o desafio MinerAll 49
Figura 23 - Canvas de proposta de valor desenvolvido pelo Geeco na fase final do programa MinerAll 55
Figura 24 - Bullseye Framework desenvolvido para a emprese Geeco 56
Figura 25 - Capa da apresentação comercial da Geeco 56
Figura 26 - Placas após o desmolde x Placas após 6 meses de aplicação 62
Figura 27 - Placas com adição de rejeito de minério de ferro recém moldadas 63

Figura 28 - Microscopia do geopolímero utilizado para confecção das placas---------- 63
Figura 29 - EDS da amostra geopolimérica com adição de rejeitos da mineração de ferro ---------- 64
Figura 30 - Primeiro protótipo da placa de 50 x 50 cm da formulação 0/0 com adição de rejeito--- 65
Figura 31 - Placas geopoliméricas e texturização produzidas para a POC---------- 67
Figura 32 - Aplicação das placas geopoliméricas produzidas ---------- 67
Figura 33 - Área da casa onde foram aplicadas as placas: (a) - Sem aplicação do piso; (b) - Com aplicação do piso; (c) – Piso aplicado de outro ângulo ---------- 68
Figura 34 - Maquinário utilizado para a confecção dos blocos intertravados ---------- 69
Figura 35 - Blocos intertravados desenvolvidos 69
Figura 36 - Piso drenante desenvolvido a partir do material geopolimérico---------- 70
Figura 37 - Gráfico de resistência a compressão dos pisos intertravados para as idades avaliadas - 71
Figura 38 - Gráfico da resistência a compressão para os pisos drenantes desenvolvidos nas idades avaliadas 72
Figura 39 - Linha temporal da trajetória Geeco 73
Figura 40 - Processo de trabalho da Geeco atualmente---------- 74

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Variações geopoliméricas utilizadas para o estudo inicial da POC ---------- 38
Quadro 2 - Membros fundadores e sócios da Geeco ---------- 50
Quadro 3 - Canvas jurídico da Geeco 54
Quadro 4 - Matriz SWOT para o geopolímero no mercado de revestimentos cimentícios ---------- 60
Quadro 5 - Matriz de Risco x Ação para as provas de conceito realizadas ---------- 66
Quadro 6 - Média da absorção de água obtida nos testes de imersão após secagem em estufa ------ 71
Quadro 7 - Resumo dos projetos atuais da Geeco e seus status ---------- 75
Quadro 8 – Modelo para a criação de uma spin-off acadêmica da área de novos materiais ---------- 78

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 11
2. JUSTIFICATIVA 12
3. OBJETIVO 14
3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 14
4. REFERENCIAL TEÓRICO 14
4.1. REJEITOS DE MINERAÇÃO 14
4.2. REJEITOS DE MINERAÇÃO DE FERRO 16
4.3. GEOPOLÍMEROS 17
4.3.1. DEFINIÇÃO DE GEOPOLÍMEROS 17
4.3.2. OBTENÇÃO DOS GEOPOLÍMEROS 19
4.3.3. PRINCIPAIS MATERIAIS PARA GEOPOLÍMEROS 21
4.4. CRIAÇÃO DE SPINOFFS E PROGRAMAS DE PRÉ-ACELERAÇÃO 23
4.4.1. *SPIN-OFFS* E OS PROGRAMAS DE EMPREENDEDORISMO 24
4.5. DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS 26
4.6. A METODOLOGIA DE PESQUISA-AÇÃO 28
5. METODOLOGIA 29
5.1. DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DE CONSTRUÇÃO DA METODOLOGIA 30
5.2. PESQUISA DE MERCADO 34
6. RESULTADOS 37
6.1. DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL BASEADO NO REJEITO DA MINERAÇÃO DE FERRO E A TECNOLOGIA DE GEOPOLÍMERO 37
6.1.1. PROCESSO DE PREPARO DE GEOPOLÍMEROS 37
6.2. DESAFIO MINERALL 43
6.2.1. FASE 1: PRÉ-ACELERAÇÃO 44
6.2.2. FASE 2: PRÉ-ESCALONAMENTO 46
6.2.3 FASE 3: ESCALONAMENTO E "*GO-TO-MARKET*" 51
6.3. ESTUDO DO MERCADO DE REVESTIMENTOS 57
6.3.1. PREÇOS PRATICADOS DO MERCADO 58
6.3.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O MERCADO DE REVESTIMENTOS CIMENTÍCIOS 59
6.4. PROVA DE CONCEITO DESAFIO MINERALL 61
6.4.1. PISO GEOPOLIMÉRICO 61
6.4.2. BLOCOS INTERTRAVADOS 68
6.5. TRAJETÓRIA DE CRIAÇÃO DA *SPIN-OFF* GEECO 72
6.6. PROJETOS ATUAIS DA GEECO 75
6.7. PROPOSTA DE MODELO DE DESENVOLVIMENTO DE SPIN-OFF ACADÊMICA 76
7. CONCLUSÕES E CONTRIBUIÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS 79
REFERÊNCIAS 82

1. INTRODUÇÃO

Um grande desafio que a sociedade brasileira enfrenta hoje é o volume de rejeito gerado e a disposição deles, principalmente após os eventos de rompimento de barragens de rejeitos. Dada essa necessidade, outros métodos de disposição de rejeitos estão sendo estudados, como a disposição em pilhas, além disso, várias tecnologias tem sido desenvolvidas para viabilizar o reprocessamento dos rejeitos e para melhorar a eficiência de recuperação dos metais de interesse (TESSAROTTO, 2015; KINNUNEM *et al*, 2021).

O ambiente brasileiro tem se tornado mais atraente para o desenvolvimento e fomento de atividades inovadoras, porém, mesmo que esse fenômeno tenha ganhado força, introduzir essas inovações no mercado requerem que o processo vá além da criação da tecnologia e chegue até a geração e transferência do novo produto e/ou processo (FUCK e VILHA, 2011; SOUZA, 2019).

Uma maneira que vem sendo explorada para que essas inovações cheguem ao mercado é a criação de spin-offs acadêmicas, essas por sua vez podem ser definidas como empresas que tenha como objetivo a geração de valor a partir de uma propriedade intelectual criada em uma instituição acadêmica. Sendo então um subconjunto de todas as empresas iniciantes que porventura foram criadas por alunos e funcionários de instituições acadêmicas. Além disso, essas empresas podem usufruir de patentes, direitos autorais ou outros mecanismos legais para proteger sua propriedade intelectual ou, em outros casos, podem assumir um modelo de proteção que envolve segredos comerciais e registro de know-how. (SHANE, 2004)

O foco deste trabalho é realizar um estudo sobre a *spin-off* Geeco, que nasceu a partir de tecnologias desenvolvidas nos laboratórios de tratamento de minérios, geomateriais e química da UFMG. A Geeco é uma empresa de materiais e engenharia que surgiu em 2018, com o propósito de atuar no mercado de reaproveitamento de resíduos minerais, siderúrgicos e de construção civil, a empresa teve sua origem dentro do programa de Inovação Abertada Samarco, o Desafio MinerAll e, desde então, a *spin-off* passou por diversas mudanças até entrar finalmente no mercado. Atualmente, a Geeco desenvolve soluções para o reproveitamento sustentável de resíduos industriais através do desenvolvimento de novos materiais e produtos, utilizando como base os geopolímeros.

Os geopolímeros são polímeros inorgânicos semelhantes a cerâmica produzidos a baixa temperatura, geralmente abaixo de 100 ° C, e consistem em cadeias ou redes de moléculas minerais covalentes, em que as matérias-primas são principalmente aluminossilicatos naturais, daí o nome “geopolímero” (DAVIDOVITS, 2017).

Os geopolímeros possuem ótimas propriedades, como alta durabilidade a ataques ácidos, resistência térmica e mecânica, alta dureza superficial e excelente textura superficial, podendo

substituir materiais como o cimento Portland convencional. Além disso, tem alto potencial para a incorporação de rejeitos da mineração, como agregados e adicionados ao precursor de geopolimerização (REN *et al.* 2021).

Sob essa ótica, o presente trabalho tem o objetivo de explorar a trajetória da *spin-off* Geeco, que pode ser dividida em 4 etapas principais: o desafio Minerall, aceleração, provas de conceito e primeiros projetos. Das fases descritas, esta dissertação propõe uma ênfase ao processo das provas de conceito, que culminaram no entendimento do trabalho com geopolímeros num ambiente real, o que possibilitaram as primeiras comercializações de tecnologias geopoliméricas. Para isto, aplicou-se a metodologia de pesquisa-ação, na qual o pesquisador investiga e intervém, aproximando-se do objeto pesquisado e favorecendo, assim a resolução dos problemas detectados no desenvolvimento da empresa.

2. JUSTIFICATIVA

Atualmente, diferentes locais, em especial o estado de Minas Gerais tem sofrido com a disposição de resíduos da mineração, principalmente de ferro, devido ao seu grande volume de geração.

Segundo a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM, 2018) em 2017, 562 milhões de toneladas de rejeitos de minério de ferro foram produzidos considerando apenas o estado de Minas Gerais, cerca de 95% desses rejeitos vão para barragens (FONTES *et al.* 2019).

Devido as tragédias de Mariana e Brumadinho, onde houve o rompimento dessas barragens, a pressão pela busca por soluções para o reaproveitamento e diminuição da disposição de rejeitos aumentou, além disso houve também um aumento na restrição da concessão de barragens, fortalecendo a necessidade de novos caminhos para lidar com o resíduo de mineração de ferro (FIGUEIREDO *et al*., 2019; THOMPSON *et al.* 2020; CARMIGNANO *et al.* 2021).

Uma das soluções possíveis para a resolução do problema é o uso de rejeitos de mineração como agregados ou precursores de materiais geopoliméricos (KIVENTERÄ *et al*., 2020). O principal

diferencial competitivo do geopolímero está na sua versatilidade, que possibilita uma diversidade de produtos para diversas aplicações com características únicas e superiores aos materiais tradicionais, além de contribuir para uma menor emissão de CO_2, menor consumo energético no processo produtivo, redução do extrativismo excessivo de agregados virgens, valorando e reaproveitando resíduos em alta quantidade que antes geravam passivos ambientais (HASSAN *et al.* 2019; KRISHNA *et al.*, 2021).

A tecnologia de geopolímeros pode ser utilizada para diversas aplicações, incluindo o desenvolvimento de artefatos para a construção civil (KIVENTERÄ *et al*., 2020). Devido ao grande volume de produção do mercado da construção civil, existe um interesse de se desenvolver soluções geopoliméricas a base de rejeito de minério de ferro para esse mercado, diversos pesquisadores ao redor do mundo, com ênfase para regiões que tem grande de disponibilidade de rejeito de minério de ferro tem estudado maneiras de levar essa tecnologia para o mercado (KURANCHIE, 2014; BORGES *et al.* 2019; BEULAH *et al.*, 2021).

Contudo, para que a tecnologia efetivamente se constitua como um produto e seja transferida ao mercado, é necessário que o ambiente seja favorável para o desenvolvimento e fomento de atividades de inovação (FUCK e VILHA, 2011). Neste contexto é possível indicar dois mecanismos mais comuns e possíveis para a transferência de tecnologias para o mercado, através do licenciamento tecnológico ou a criação de *spin-offs* acadêmicas (SILVA *et al.*, 2011), ambas com vantagens e desvantagens. As *spin-offs* acadêmicas podem estimular de maneira bastante eficiente a inovação e o desenvolvimento tecnológico, além de criar novos empregos e promover o desenvolvimento econômico da sua região e país (SINELL, BRODACK e DENEF, 2017). Sendo ainda uma opção de carreira para àqueles que desenvolvem a tecnologia em suas instituições de pesquisa (SOUZA, 2019).

Além das razões explicitadas anteriormente e visto a dificuldade em encontrar na literatura referências que compartilhem experiências empreendedoras no processo de criação de SOA, de maneira geral, este trabalho busca contribuir para o compartilhamento de experiências vividas no âmbito de criações de empresas de base tecnológica no contexto da universidade, visando inspirar novos pesquisadores acadêmicos a transformarem suas invenções em novos negócios.

3. OBJETIVO

Esta dissertação tem como objetivo geral descrever a trajetória da tecnologia de geopolímeros, passando pelo desenvolvimento de produtos, programa de pré-aceleração, prova de conceito até a criação de uma *spin-off* acadêmica.

3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Descrever o desenvolvimento de produtos para a construção civil baseado no rejeito da mineração de ferro e a tecnologia de geopolímero;
- Descrever a fase de pré-aceleração e aceleração do desafio MinerAll;
- Descrever a fase de prova de conceito da tecnologia;
- Descrever a trajetória de criação da *spin-off* Geeco.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

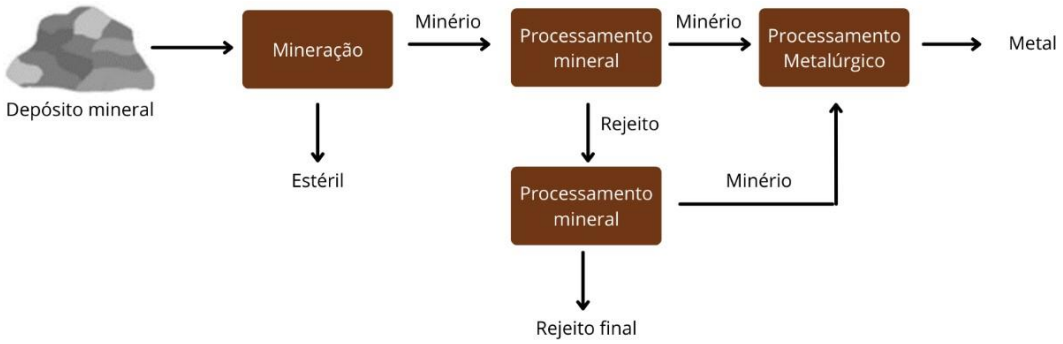
4.1. REJEITOS DE MINERAÇÃO

A indústria da mineração tem dentro de seu propósito a recuperação e extração de metais que são tecnicamente e, principalmente, economicamente valiosos do minério presente nas jazidas. (Kiventerä *et al*, 2020). Para se ter uma ideia do tamanho desse mercado, dados da consultoria de negócios PWC (2021) estimam que a parcela das 40 maiores mineradoras do mundo, que contêm quase a totalidade do faturamento mundial, obtiveram conjuntamente uma receita de U$ 545 bilhões de dólares em 2020. O minério de ferro sozinho, contribuiu com 22% do valor obtido, perdendo apenas para o cobre, querepresenta 26% da receita total.

O setor mineral brasileiro, tem desempenhado um papel importante na balança comercial do país, visto que a receita movimentada por esse setor corresponde a 63,8% do saldo total movimentado pelo mercado brasileiro, uma receita equivalente a US$ 32,5 bilhões (IBRAM, 2020). O setor apresentou ainda um crescimento de 2019 para 2020, uma vez que em 2019 esse saldo era de 51,6%. No Brasil o minério de ferro representa 66,36% da participação no faturamento do setor, tendo valor relativamente baixo, se comparado a outras *commodities*, o minério de ferro atingiu exportações quase 371 milhões de toneladas (IBRAM, 2020).

De acordo com Viana *et al.* (2012), tem-se na atividade mineira, a extração e a movimentação de grandes volumes de materiais. Uma das principais consequências da atividade extrativa mineral é a grande geração de resíduos. A quantidade de resíduos gerados depende dos processos utilizados nas etapas de lavra e concentração do minério. Na atividade de mineração, existem dois tipos principais de resíduos sólidos: os estéreis e os rejeitos. A Figura 1 descreve o processo genérico da mineração.

Figura 1 - Processo simplificado da mineração



Fonte: Adaptado de Araya, Kraslawski e Cisternas (2020)

Os rejeitos são os materiais resultantes dos processos de beneficiamento a que são submetidos os minerais. Por sua vez, os estéreis são os materiais escavados, gerados pelas atividades de extração (ou lavra) no decapeamento da mina, que não têm valor econômico e ficam geralmente dispostos em pilhas. Além desses, ainda existem outros resíduos, constituídos por um conjunto bastante diverso de materiais, como por exemplo: efluentes do tratamento de esgoto gerado nas plantas de mineração, carcaças de baterias e pneus utilizados pela frota de veículos (VIANA *et al.*, 2012).

Estima-se que a produção anual estimada de resíduos sólidos da mineração é de mais de 35 bilhões de toneladas, dos quais pelo menos 14 bilhões são considerados rejeito da operação de mineração. (ADIANSYAH *et al*, 2015*;* VALLERO E BLIGHT, 2019).

Segundo Araújo (2006), dependendo do tipo de minério e do processo utilizado, os rejeitos podem variar de materiais arenosos não plásticos até materiais argilosos de alta plasticidade. Além disso, com o passar do tempo, os minérios estão ficando cada vez mais pobres ou menos acessíveis, o que causa uma produção de rejeito cada vez maior para produzir uma mesma quantidadede material beneficiado. Sendo assim, é necessário o desenvolvimento de métodos para mitigar os problemas relacionados a esses resíduos (RODRIGUES, 2017).

No Brasil, o método mais comum para o acondicionamento e disposição de rejeitos é em superfície com a utilização de barragens de contenção de rejeitos, podendo esses apresentarem diferentes estados físicos, ou seja, polpa, pasta, espessado ou torta (rejeito filtrado), implicando em comportamentos geotécnicos específicos (PORTES, 2013).

As barragens podem ser consideradas estruturas responsáveis por reter os resíduos sólidos e a água provenientes dos processos de beneficiamento mineral (LOZANO, 2006). Segundo Davies & Martin (2000), uma solução atrativa visto o grande volume de rejeitos gerados e considerando os custos de disposição é a utilização destes materiais para a construção das próprias barragens de contenção de rejeitos.

No Brasil, a disposição de rejeitos em forma de polpa ainda é a técnica mais usada e requer grandes estruturas de terra (barragens) para sua disposição. Este tipo de disposição acarreta grande impacto ao meio ambiente devido as grandes áreas ocupadas pela bacia de rejeitos e possui grandes riscos associados (PORTES, 2013; RODRIGUES,2017).

Além dos fatores citados, os rompimentos de barragens de rejeitos, especialmente no Brasil, têm feito pressão para que outros métodos de disposição de rejeitos sejam estudados, como por exemplo a disposição em pilhas secas (TESSAROTTO, 2015; KINNUNEM *et al*, 2021).

Diversas metodologias e pesquisas têm sido desenvolvidas com o foco no reprocessamento do rejeito para recuperar os minerais de interesse e focadas na melhoria da eficiência da mineração para que sejam gerados cada vez menos subprodutos e que quando gerados esses sejam de menor volume e com maior estabilidade (TESSAROTTO, 2015; KINNUNEM *et al*, 2021).

4.2. REJEITOS DE MINERAÇÃO DE FERRO

Os rejeitos de minério de ferro (RMF) como qualquer outro rejeito são os resíduos resultantes dos processos de beneficiamento, comumente gerados sob a forma de polpa (água e sólidos) (FONTES, 2013; SILVA *et al.*, 2012). Um estudo feito pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT, 2016), estimou que 40% do minério de ferro bruto brasileiro é perdido como rejeito durante o processo de beneficiamento.

No Brasil, em 2020, foram produzidas 525 milhões de toneladas de minério de ferro aproximadamente (ANM, 2020), portanto a geração de rejeitos foi em torno de 210 milhões de toneladas. Esse valor tem uma tendência de crescimento para os próximos anos, Silva *et al.* (2012), em estudo de diagnóstico de resíduos da mineração, estima que em 2030, a mineração de ferro irá

gerar cerca de 265,5 milhões de toneladas de rejeitos, o que representaria 41,38% dos rejeitos da mineração de substâncias não energéticas.

Visto essas condições, é de suma importância o conhecimento das características dos rejeitos, uma vez que os rejeitos descartados e depositados em barragens podem apresentar concentração de ferro superiores a alguns minérios de baixo teor e que poderiam ser reaproveitados como subprodutos na própria usina ou em outro segmento industrial (ANDRADE, 2014; GOMES *et al.*, 2011).

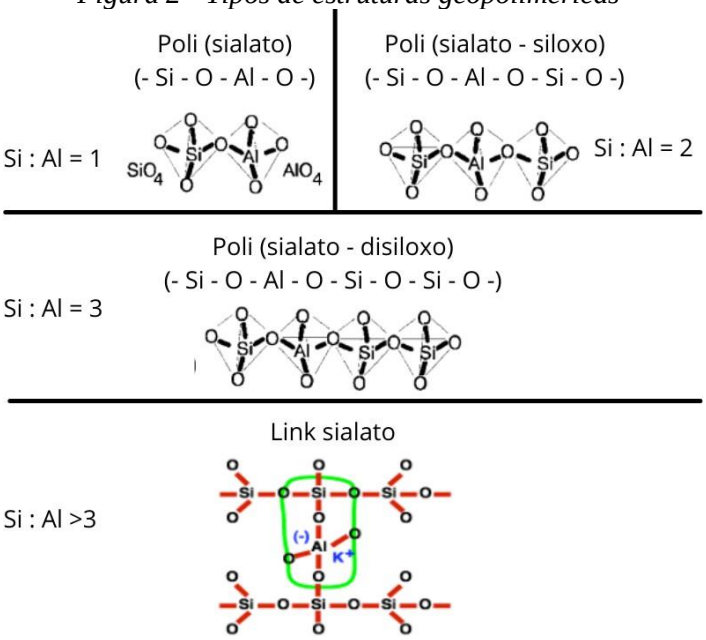
O rejeito de minério de ferro têm como principais constituintes o ferro, o silício e o alumínio (FONTES *et al.*, 2016; OSINUBI *et al.*, 2015). Os produtos e os rejeitos de minério de ferro podem ser definidos pelos teores de ferro, impurezas (SiO_2, Al_2O_3, PO_4), e pelas classes de frações granulométricas (GOMES, 2009). Os óxidos de ferro contido nos RMF's geralmente se situam na faixa de 8 - 59%, devido aos diferentes processos de beneficiamento e extração do minério, sendo necessárias sucessivas etapas de britagem, peneiramento e outros procedimentos (RODRIGUES *et al.*, 2017). Além disso, a heterogeneidade se justifica pelas diferenças na natureza de formação geológica do depósito (YELLISHETTY *et al.*, 2008).

4.3. GEOPOLÍMEROS

4.3.1. DEFINIÇÃO DE GEOPOLÍMEROS

Os geopolímeros são materiais inorgânicos que tem como característica uma rede tridimensional. Esses materiais são categorizados segundo a suas razões de Si/Al, podendo ser poli (sialato), poli (sialato-siloxo), poli (sialato-disiloxo) ou então sialatos de ordem superior a 3, razão de Si para Al maior que 3 (MING *et al*, 2016), que pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 - Tipos de estruturas geopoliméricas



Fonte: Adaptado de Davidovits 2002.

O termo poli(sialato) é utilizado para caracterizar a rede de tetraedros de SiO_4 e AlO_4 ligados alternadamente e compartilhando todos os oxigênios dos vértices. Sialato é a abreviatura de silico-oxo-aluminato (Si-O-Al-O). A estrutura dos polissialatos baseia-se na organização e arranjo espacial do silício (Si) e do alumínio (Al). É necessária a presença dos cátions como Na^+, K^+, Ca^{2+}, Ba^{2+}, NH_4^+, entre outros, para balancear as cargas negativas do Al^{3+}, em coordenação IV com o oxigênio, para tornar a estrutura eletricamente neutra. O produto dessa estabilização são ligações covalentes, reforçadas por forças de Van der Walls na forma de uma microestrutura molecular em forma de cadeia (DUXSON *et al.*, 2007a; REN *et al.*, 2021).

Dessa forma, a Equação 1 descreve a fórmula química dos geopolímeros como (DAVIDOVITS, 1991):

$$M_n\,[(Si\,O_2)_z\,.\,AlO_2]n.\,wOH_2O \qquad \text{(Equação 1)}$$

Sendo:

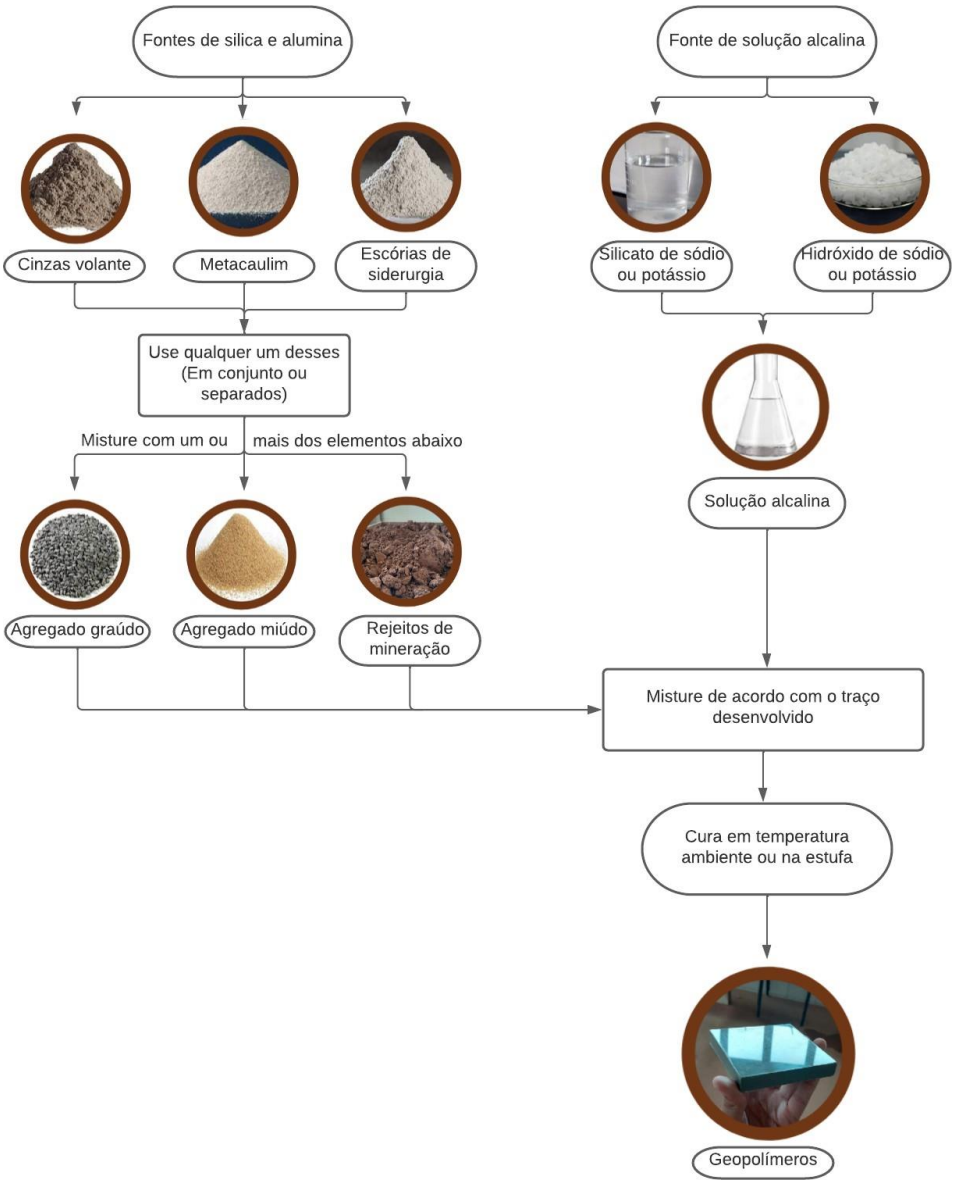
- M – um cátion (Na^+, K^+, ou Ca^{2+});
- n – o grau de polimerização;
- z – relação de Si para Al, é igual a 1, 2 ou 3;
- w – o grau de hidratação.

Os geopolímeros podem ser produzidos em temperaturas baixas, comumente abaixo de 100 °C, apresentando nesse caso uma natureza amorfa. Esses materiais também podem ter natureza cristalina para temperaturas acima de 500 °C, em geopolímeros baseados em sódio e, para temperaturas acima de 1000 °C em geopolímeros baseados em potássio (DAVIDOVITS, 2017).

4.3.2. OBTENÇÃO DOS GEOPOLÍMEROS

Na literatura, o método mais difundido e estudado para obtenção de geopolímeros está descrito na Figura 3.

Figura 3 - Esquema representativo da produção de geopolímeros



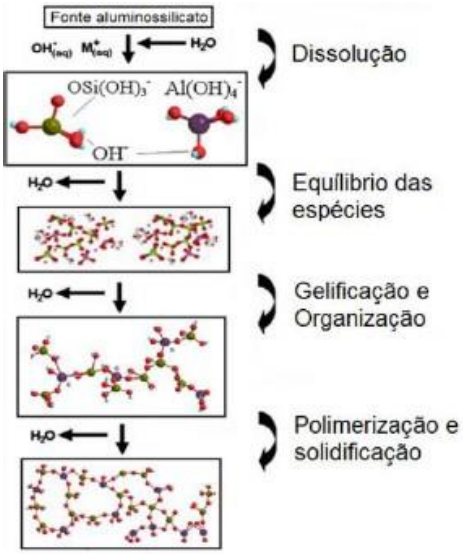
Fonte: Adaptado de Hassan *et al*, 2019

A geopolimerização é um processo complexo, que inclui dissolução, difusão, reorganização, formação de gel e policondensação (NATH *et al.*, 2016; JI e PEI, 2019). Apesar de serem apresentados linearmente, esses processos ocorrem simultaneamente. A princípio acontece a dissolução da fontede aluminossilicato sólido por hidrólise alcalina (consumindo água) produzindo as espécies de aluminato e silicato. Isso é seguido por uma difusão homogênea das partículas sólidas decompostasna fase líquida.

Juntamente com o silicato já presente na solução de ativação, é formada então uma mistura complexa de espécies de silicato, aluminato e aluminossilicato. A dissolução de aluminossilicatos amorfos é rápida em pH elevado, o que cria rapidamente uma solução de aluminossilicato supersaturada. Esse processo resulta na formação de um gel, pois os oligômeros na fase aquosa formam grandes redes por condensação, durante esse processo a água utilizada na dissolução é liberada lentamente e finalmente, após a gelificação, o sistema se reorganizar e a conectividade da rede de gel aumenta, resultando na rede de aluminossilicato tridimensional comumente atribuída aos geopolímeros. A Figura 4 ilustra esse processo de geopolimerização (DUXSON, 2007A; SILVA *et al.*, 2007; DAVIDOVITS, 1989).

Duxson *et al*. (2007b) descobriram que os geopolímeros podem apresentar microestruturas distintas em diferentes regiões da formação geopolimérica. Além disso: (1) a temperatura de cura desempenha um papel crítico na cinética de geopolimerização; (2) a reatividade do SiO_2 afeta a formação da rede de geopolímero, e o conteúdo de água estrutural no geopolímero diminui com o aumento da temperatura. (AUTEF *et al.* 2012; AUTEF *et al.* 2013)

Figura 4- Esquema representativo das diferentes etapas de formação dos geopolímeros



Fonte: Adaptado de DUXSON *et al*., 2007 apud FIGUEIREDO *et al.*, 2019)

4.3.3. PRINCIPAIS MATERIAIS PARA GEOPOLÍMEROS

O geopolímero é formado por espécies ricas em alumínio e silício, como as cinzas volante, metacaulim, escória, cinzas de casca de arroz, lama vermelha, dentre outros. Porém, indiscutivelmente, os materiais mais usados para produzir materiais geopoliméricos são as cinzas volante (KAYALI, 2016). Apesar disso, o metacaulim tem configurado o papel principal nas pesquisas recentes em geopolímero (JIA *et al.*, 2020), figurando junto com as cinzas volante como principais precursores para os geopolímeros. No entanto, é importante ressaltar que pesquisas significativas sobre o uso materiais alternativos ricos em sílica e alumina tem aumentado (KAYALI, 2016).

Cinzas Volante

As cinzas volante ou *fly ash* (FA) são um resíduo fino obtido da combustão de carvão pulverizado em usinas elétricas e de geração de vapor (AMRAN *et al.*, 2020; BHATT *et al*., 2019). Durante o processo de combustão, o carvão pulverizado é soprado na câmara de combustão da caldeira e queimado imediatamente para produzir um resíduo mineral fundido. O calor é extraído pelos tubos da caldeira que, em seguida, resfriam o gás de combustão para endurecer o resíduo mineral derretido que forma a cinza (ZHUANG *et al.*, 2016). Como resultado, as partículas mais grossas da cinza caem no fundo da câmara de combustão e são denominadas como cinza inferior ou escória. Enquanto isso, a partícula mais fina permanece suspensa no gás de combustão e é chamada de cinza volante. Um dispositivo de controle de emissão de partículas, como um precipitador eletrostático e o filtro manga removem a FA antes da exaustão do gás de combustão (CHOU, 2012). No entanto, é possível que restem partículas que não sofreram combustão na zona de chama do forno, essas partículas podem afetar negativamente as propriedades das cinzas volante (AMIN E ABDELSALAM, 2019). Além disso, o tipo, a quantidade e a proporção dos diferentes minerais presentes no FA dependem do tipo de carvão queimado.

As propriedades físicas e químicas da FA dependem muito da fonte do carvão, grau de pulverização, condições de combustão, coleta de cinzas, manuseio e métodos de disposição na planta, respectivamente (DWIVEDI E JAIN, 2014; BHATT *et al*., 2019). É comum que a FA varie de uma planta industrial para outra e até mesmo dentro da mesma planta, devido à falta de condições de queima controlada (AMIN E ABDELSALAM, 2019; AMRAN, 2021).

Metacaulim

O metacaulim (MK) é um tipo de argila calcinada obtida a partir do tratamento térmico da rocha caulim, que tem despertado grande interesse nos últimos anos (KHATIB *et al.*, 2018). O tratamento térmico converte a caulinita em fase metaestável desordenada. O metacaulim, mesmo passando pelo processo de tratamento térmico, permanece com a estrutura em camadas. Apesar disso, a estrutura parece mais aberta do que a da caulinita (LIEW *ET AL.*, 2012; CRISTOBAL *ET AL.*, 2010). Além disso, os íons Al hexa-coordenados da caulinita são convertidos em íons Al penta e tetra-coordenados como resultado do rearranjo atômico que destrói a camada hexagonal da caulinita (LECOMTE *et al.*, 2003). A extensão da conversão do íon Al hexa-coordenado em íons Al penta- e tetra-coordenados reflete a reatividade do metacaulim.

A reatividade máxima do metacaulim é adquirida quando o íon Al está minimamente hexa-coordenado (CRISTOBAL *et al.*, 2010). A temperatura de calcinação da caulinita geralmente cai na faixa entre 600 - 900 ° C. (MING *et al.*, 2016). O tamanho médio das partículas é menor do que as partículas de cimento *Portland* e maior do que as partículas de sílica ativa. A composição química ideal de metacaulim é geralmente superior a 90% de sílica e alumina (JONES, 2014; AVET *et al.*, 2018).

Escória Granulada De Alto Forno

A escória de alto-forno é a escória residual de alto-forno durante a fundição de ferro-gusa, fusão de silicato formada pela reação da cal refratária e quartzo de minério de ferro, alumina ou cinza de carvão em 1350-1550 ºC, e então o processo de têmpera produzirá a escória. Os principais componentes químicos da escória de alto forno incluem CaO, SiO_2, Al_2O_3, FeO e MgO. Semelhante a cinza volante, o material ativo na escória de alto forno é principalmente um material vítreo de característica amórfica, que pode chegar a mais de 90% da composição total do material, portanto, é frequentemente um precursor de materiais geopoliméricos (REN *et al.*, 2021).

A composição química e as características mineralógicas da escória de alto forno são afetadas pelas matérias-primas, equipamentos e processos atrelados. Os óxidos CaO, MgO, K_2O, Na_2O na escória de alto forno tem um efeito positivo em sua reatividade, enquanto altos teores de SiO_2, MnOe TiO_2 não são favoráveis à reatividade do material (TÄNZER *et al.*, 2014). Em baixo teor, o Ca^{2+} da escória de alto forno substituirá o Na^+, K^+ dos geopolímeros para equilibrar a carga elétrica, no entanto, o alto teor de cálcio destruirá a estrutura tridimensional do geopolímero e promoverá a conversão da cadeia tridimensional e polimérica em uma estrutura molecular hidratada. A escória de alto-forno preenche os poros do geopolímero para formar uma estrutura densa por meio do efeito de coleta e aumentar sua resistência à compressão

a longo prazo. A incorporação de escória de alto forno pode alterar as características de organização dos geopolímeros (CHITHIRAPUTHIRAN E NEITHALATH, 2013; NATH E SARKER, 2014).

Solução Ativadora

Além de um aluminossilicato, o geopolímero contém uma solução ativadora usada na maioria dos estudos. Um reagente que geralmente é composto por um cátion de um metal alcalino solúvel baseado em sódio ou potássio. Eles incluem silicatos alcalinos, hidróxidos, carbonatos, citratos e outras adições, como aluminatos de sódio ou clínquer de cimento (DAVIDOVITS, 1994; YIP, LUKEY E van DEVENTER, 2005). A solução reagente alcalina mais utilizada é uma mistura de hidróxidos (NaOH ou KOH) e solução de silicatos (Na_2SiO_3 ou K_2SiO_3) (XU e van DEVENTER, 2002; BARBOSA *et al.*, 2000, DAVIDOVITS, 1999). Além disso é possível também que o geopolímero seja constituido de uma mistura única onde o ativador estará na forma de um pó, ou seja, o silicato de sódio e o hidróxido de sódio são misturados em estado seco (NEUPANE, 2016).

4.4. CRIAÇÃO DE SPINOFFS E PROGRAMAS DE PRÉ-ACELERAÇÃO

Uma *spin-off* pode ser definida como uma nova empresa que deriva de outra organização ou instituição. No contexto acadêmico, esse termo pode ser definido como uma nova empresa que tem como intuito explorar uma propriedade intelectual que foi desenvolvida dentro do ambiente acadêmico (DOS SANTOS e TEIXEIRA, 2007). Essas organizações nascentes estimulam a inovação e o desenvolvimento, além de criar empregos e promover o desenvolvimento econômico da sua região e país (SINELL, BRODACK e DENEF, 2017).

O processo de formação de *spin-offs* acadêmicas pode ser definido em quatro etapas principais:

a) Geração de ideia de negócio a partir dos projetos de pesquisa;
b) Desenvolvimento e finalização desses projetos;
c) Geração da *spin-off*;
d) Fortalecimento da criação de valor econômico (DJOKOVIC e SOUITARIS, 2008).

Freitas *et al.* (2013) destacam as características que podem diferenciar essas organizações em três dimensões principais: o elo institucional, modelo de negócios e tipos de recursos. Além disso a sobrevivência e o fracasso dessas organizações podem se relacionar com a experiência e capacidade

de sobrevivências dos empreendedores em meio às incertezas do desenvolvimento do empreendimento e do mercado de atuação (GOMES *et al*., 2016).

Alguns dos problemas que as *spin-offs* acadêmicas costumam enfrentar são o longo caminho de retorno financeiro e a baixa competitividade no mercado (WITS, 2014). Existem cinco fatores determinantes na velocidade de geração de *spin-offs* acadêmicas:

- As competências complementares
- O *status* acadêmico dos fundadores
- A motivação pela qual o negócio se iniciou
- O apoio das instituições
- A natureza do conhecimento transferido da academia (MULLER, 2010).

Além disso, a complementariedade de habilidades na equipe reduz o tempo de estabelecimento dos empreendimentos, visto que os empreendedores não precisam desenvolver novas habilidades. Conhecimento complementar garantem que sejam supridas uma maior parte das competências necessárias para o negócio (MULLER, 2010).

A universidade pode fornecer suporte aos empreendedores, e consequentemente, aos novos empreendimentos constituindo e fomentando a cultura empreendedora em seu ambiente, através de programas e eventos (*workshops*, cursos etc.) de empreendedorismo, por exemplo.

4.4.1. SPIN-OFFS E OS PROGRAMAS DE EMPREENDEDORISMO

As *spin-offs* são parte do empreendedorismo acadêmico e esse movimento se inicia dentro do ambiente das universidades, com atividades que podem ser iniciativas próprias ou externas, tratando de assuntos que vão de disciplinas até *workshops* com o intuito de educar e informar sobre o tema (SOUZA, 2019).

Geralmente, as chances de sucesso de uma *spin-off* estão atreladas a experiência em gestão e vendas dos docentes que estão envolvidos na sua criação, uma vez que conforme esses ganham experiência nessas áreas, suas chances de sucesso aumentam (HAYTER *et al.*, 2018), além disso, quando não há uma dificuldade de escalonamento da tecnologia ou suporte/recurso a chance de sucesso do negócio também aumento, por se tratar na maior parte das vezes de negócios que . Quando existe estímulo dessas características e os docentes moldam suas capacidades e habilidades empreendedoras, o sucesso de seus modelos e de seus empreendimentos aumentam, podendo gerar um valor, inclusive financeiro, muito maior em relação ao licenciamento de uma tecnologia para sua

universidade mãe (DJOKOVIC; SOUITARIS, 2008).

É vantajoso manter os inventores acadêmicos próximos ao processo de desenvolvimento da *spin*-off, demonstrando a importância do suporte da universidade e da disponibilização do acesso a laboratórios, conexões e a capital humano. Esses fatores estão diretamente relacionados com o sucesso ou fracasso das *spin-offs*, uma vez que próximos a elas, possuem maior chance de sucesso (DJOKOVIC e SOUITARIS, 2008).

Ao longo dos anos, a experiência acadêmica dos discentes aumenta, tornando-os mais flexíveis, com rede de contatos mais ampla e teoricamente mais aptos para participarem de atividades empreendedoras, além disso quando o capital humano é direcionado para desenvolver oportunidades comerciais ao invés da ciência, a tendência é de melhora de desenvolvimento dessas *spin-offs* (HAYTER *et al*., 2018).

A equipe fundadora tem papel fundamental para o sucesso do empreendimento, a experiência técnica dos inventores, clareza dos papéis dos membros da equipe e nível de confiança e familiaridade entre os membros da equipe favorecem o crescimento das *spin-offs* acadêmicas, principalmente se algum desses membros tiver experiencia relevante em negócios, comercialização ou equipes multidisciplinares (HAYTER *et al*., 2018). Os programas de empreendedorismo universitário são muito importantes para o desenvolvimento das *spin-offs*. Os principais programas estão listados abaixo:

a) Incubadoras;
b) Parques tecnológicos;
c) Fundos sementes de universidades;
d) Educação para o empreendedorismo (programa de graduação ou oferta extracurricular);
e) Centros de prova de conceito;
f) Centro de pesquisa para a indústria;
g) Competições de empreendedorismo;
h) *Hackathons* (HAYTER *et al.*, 2018).

As incubadoras e os parques tecnológicos fornecem, em essência, infraestrutura física, recursos técnicos e financeiros, além do acesso a redes e treinamento para empreendedores acadêmicos. Geralmente os fundos sementes de universidades fornecem credibilidade para investidores externos e ajudam a fortalecer as redes com as partes interessadas regionais (HAYTER *et al*., 2018).

No que se refere às disciplinas de educação empreendedora, estas fornecem aos alunos e docentes conhecimento capaz de engajá-los e os incentivam a iniciarem um empreendimento. O conhecimento disponibilizado nessas atividades deve englobar pontos principais do desenvolvimento de spin-offs acadêmicas como treinamentos em negociação de PI, análise de mercado, avaliação de tecnologia e da viabilidade tecnológica (HAYTER et al., 2018).

Os centros de prova de conceito são citados pelos autores como mais um mecanismo de apoio ao empreendedorismo acadêmico por unir educação empreendedora com orientações e redes de serviços, mostrando que universidades que possuem esses centros tendem a produzir maior número de *spin-offs*, devido às possibilidades que esses centros oferecem de aumentar a escala de forma controlada (HAYTER *et al*., 2018).

Na literatura existem diversas definições e abordagens para o aumento de escala, Bisio e Kabel (1985) definem o escalonamento como o trabalho necessário para a partida e operação bem-sucedidas de uma unidade de produção industrial, cujos procedimentos de operação e desenho estejam em parte baseados em experimentações e demonstrações realizadas em escalas menores e/ou de laboratório, dentro dessa perspectiva, a principal característica desse processo é mitigar os três pilares de riscos: o Tecnológico, o de Engenharia e o Comercial.

O desenvolvimento tecnológico tradicionalmente não é visto com o foco do escalonamento tecnológico, segundo a metodologia de escalonamento cada etapa desse processo envolve a minimização de um risco. O desenvolvimento em laboratório reduz o risco tecnológico, ou seja, mitiga a chance de a tecnologia não funcionar. Nos processos subsequentes de escalonamento, etapa 2 e, as vezes, 3 dependendo da complexidade tecnológica da solução são avaliados os principais aspectos de otimização da rota tecnológica desenvolvida para maximizar a eficiência e viabilidade econômica (OLIVEIRA *et al.* 2019). Na etapa final se trabalham os detalhes da produção piloto que visam minimizar os riscos de engenharia e contribuem para diminuição do risco comercial, já numa escala de processo, geralmente grande, que visa mimetizar uma futura produção industrial para o produto desenvolvido (OLIVEIRA *et al.* 2019).

As competições de planos de negócios universitários incentivam discentes e docentes em estudar demanda de mercado e as etapas cruciais do desenvolvimento de tecnologias que visam se tornar soluções e serem efetivamente transferidas para o mercado. Já os *hackathons* focam na parte de desenvolvimento de soluções rápidas em pouco tempo, muitas vezes de aplicativos (HAYTER *et al*., 2018).

4.5. DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

Segundo Rozenfeld *et al.* (2006) o desenvolvimento de produtos consiste em um conjunto de

atividades que tem por objetivo chegar às especificações necessárias para atender as necessidades do mercado endereçado daquele mesmo produto, considerando as suas possibilidades, restrições tecnológicas e as estratégias competitivas de uma empresa.

É necessário, muitas vezes que as atividades de desenvolvimento de novos produtos identifiquem, e, até mesmo, se antecipem às necessidades do mercado, propondo soluções para as necessidades identificadas. Para que isso ocorra, além de pesquisa e conhecimento das necessidades de mercado (GRIFFIN, 2005), a empresa deve se preocupar com as atividades de identificação de possibilidades e restrições tecnológicas, tempo de desenvolvimento do produto e da tecnologia, condições de manufaturabilidade do produto projetado, qualidade esperada pelo mercado, aceitação do produto na cadeia de suprimentos e análise do custo e preço final do produto desenvolvido perante o mercado (TOLEDO *et al.*, 2002).

Ainda, segundo Kaminski (2000) e Verganti (2008), os projetos de desenvolvimento de novos produtos devem também contemplar aspectos sociais, administrativos, jurídico-legais e relacionados ao meio ambiente.

O desenvolvimento de produtos é um processo de negócio, focado em transformar oportunidades de mercado e possibilidades técnicas em bens e informações para a fabricação, distribuição, uso, manutenção e descarte de um produto comercial (CLARK e FUJIMOTO, 1991).

Seguindo esse raciocínio, pode-se afirmar que o processo de desenvolvimento de produtos, necessita e envolve de maneira geral a corporação, sendo necessária a integração da alta administração e diversas áreas funcionais e especialidades, como P&D, Marketing, Engenharia, Suprimentos, Produção e Logística (KAHN, 1996; GRIFFIN e HAUSER, 1996; OLSON *et al.*, 2001; ROZENFELD *et al.*, 2006; GARCIA *et al.*, 2008), contempla atividades como o planejamento estratégico, a fabricação e a distribuição dos produtos, e, até mesmo, a descontinuidade ou retirada do produto do mercado.

No processo de desenvolvimento de produtos, a tecnologia pode ser tanto uma oportunidade como uma limitação. Em alguns casos, a tecnologia é a variável que determina o desenvolvimento do produto, como por exemplo, se a empresa detém a tecnologia necessária para aquele produto ou se a empresa possui *know-how* para produção desse produto. Portanto, é relevante considerar que é necessário a atuação de forma integrada dos desenvolverdores das tecnologias nos processos que compõe as decisões e atividades do processo de desenvolvimento de produto (PDP) (JUGEND, 2010). No caso das spin-offs, esses são geralmente representados pelos docentes, inventores das tecnologias que darão origens aos produtos.

Muitos autores sintetizaram em seus trabalhos as dimensões do escopo do projeto de desenvolvimento de novos produtos, porém nesta pesquisa foram adotadas as quatro dimensões propostas por Rozenfeld *et al*. (2006), por se considerar que essa é adequada para o contexto do desenvolvimento de empresas de base tecnológica (GOMES, 2015).

As dimensões propostas por Rozenfeld *et al*. (2006) permitem avaliar a gestão do PDP de uma maneira consistente e facilitada para o objetivo da análise em questão, já que estas apresentam estruturas e processos simples (GOMES, 2015), essas dimensões são:

- Dimensão Estrátegica;
- Dimensão Organização;
- Dimensão Atividades e Informação;
- Dimensão Recursos

A dimensão estratégica, segundo Cheng (2000), tem como objetivo alinhar as necessidades do mercado, as possibilidades tecnológicas e as características da empresa para atingir um relevante nível de competitividade.

A dimensão organização tem como princípio os arranjas comportamentais e organizacionais que ocorrem durante a execução do projeto de desenvolvimento de produto (SILVA; ROZENFELD, 2007). As estruturas organizacionais nesse contexto podem ser divididas em:

- Estrutura Funcional, em que cada área de conhecimento é agrupada em um departamento;
- Estrutura por Projeto, em que os funcionários se dedicam exclusivamente a um projeto;
- Estrutura Matricial, que se divide em: peso pesado, onde os funcionários tem suas atividades de função e ainda desempenham no projeto e tem interação com grupos do projeto e, peso leve, onde se predomina a ligação com os funcionários que realizam funções similares.

A dimensão atividades e informações relaciona as atividades que serão realizadas ao longo do processo de desenvolvimento de produto, conforme as individualidades de cada empresa (SILVA; ROZENFELD, 2007). Autores como Clark e Wheelwright (1993) e Rozenfeld (2006) descrevem as atividades dessa dimensão a fim de sistematizar as melhores práticas do desenvolvimento de produtos e facilitar o controle de projetos, criando os chamados modelos de referência.

Neste trabalho será utilizado como referência o modelo proposta por Rozenfeld *et al.* (2006) que pode ser sintetizado em 3 macrofases, que estão descritas de maneira resumida a seguir:

a) Pré-Desenvolvimento

Esta etapa visa estabelecer a ligação entre os objetivos prioritários da empresa com o portfólio de projetos de produtos que serão desenvolvidos. Inicialmente, baseado na visão estratégica da empresa, são feitos levantamentos e a definição dos produtos que serão desenvolvidos pela empresa, após a definição dos produtos são determinadas as prioridades de projeto de desenvolvimento e por fim elaborado um planejamento individual de desenvolvimento para cada produto.

b) Desenvolvimento

No desenvolvimento, são estabelecidas as estruturas funcionais (físicas, de qualidade e estética, por exemplo) que o produto deve possuir para atender aos seus stakeholders e aos consumidores. Deve-se definir as informações técnicas e tecnológicas sobre requisitos e especificações, com a definição dos sistemas, subsistemas e componentes, que fornecem as funções esperadas para o produto.

É nessa macrofase que se realizam as atividades de projetar – construir – testar – otimizar o produto até a sua homologação. Portanto, as atividades de testes das tecnologias transferidas e incorporadas a um ou mais produtos ao longo do PDP devem ocorrer nesse momento.

c) Pós-Desenvolvimento

No pós-desenvolvimento será feito o acompanhamento dos resultados do produto no mercado, seu desempenho, produção e possíveis melhorias do produto, compreendendo também a análise de todo o ciclo de vida do produto. É importante que haja registro formal e contínuo de todas as lições aprendidas durante o acompanhamento do produto.

E por fim a ultima dimensão, a dimensão recursos são formados pelos métodos, técnicas, ferramentas e sistemas que podem ser aplicados como apoio às dimensões anteriores durante o PDP (SILVA; ROZENFELD, 2007; GOMES, 2015)

4.6. A METODOLOGIA DE PESQUISA-AÇÃO

Segundo Thiollent (1986), a metodologia de pesquisa – ação é um tipo de pesquisa social com base empírica que tem estreia relação com a resolução de um problema coletivo ou uma ação no qual os pesquisadores ou participantes representativos daquela situação problema estão envolvidos de modo cooperativo ou então participativo. Apesar de ser uma pesquisa de base

empírica, ou seja, que descreve situações concretas por meio de observações e ações em meios sociais, a metodologia não despreza a pesquisa teórica, considerando que não faria sentido desprezá-la.

Para que uma pesquisa seja caracterizada e qualificada como uma pesquisa-ação, é necessário que as pessoas envolvidas no processo investigativa tenham ações relevantes no escopo social da resolução do problema e que, portanto, requeira uma investigação mais elaborada, podendo também ser entendida como uma investigação – ação. De maneira geral poderia ser descrita como um ciclo de aprimoração prática através da oscilação entre agir no campo da prática e investigar a respeito dela (TRIPP, 2005).

Para Souza (2019), essa estratégia considera os múltiplos níveis na qual ele se encontra inserido; isto é, os indivíduos envolvidos diretamente no processo até a própria organização e seu ambiente, além dos grupos e relações intergrupais. Assim foram elencadas as principais características correlacionadas à estratégia de pesquisa-ação:

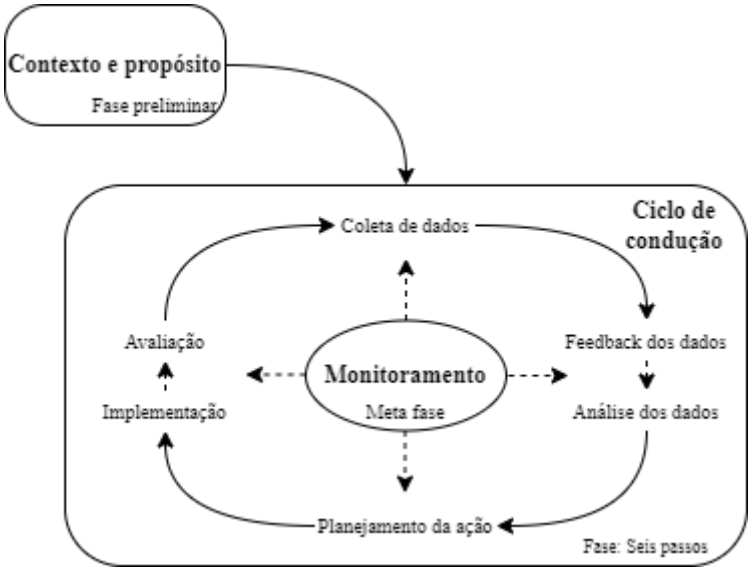
- Os sujeitos da pesquisa são os próprios pesquisadores ou os envolvidos com os mesmos;
- A pesquisa é vista como um agente de transformação;
- Os dados são gerados a partir de experiências diretas dos participantes de pesquisa (GRAY, 2012)

5. METODOLOGIA

O trabalho em questão reside na fronteira do conhecimento que permite a contribuição para o desenvolvimento da *spin-off* acadêmica Geeco. Em um primeiro momento foi realizado um estudo preliminar, que tinha por objetivo entender o contexto que a pesquisa seria realizada e a maneira de condução do trabalho. Ficou assim definido que o objetivo principal é compreender o impacto da realização das provas de conceito no desenvolvimento e estruturação da Geeco, além disso foi desenvolvido um estudo de mercado para o mercado pretendido de uma das provas de conceito realizadas.

Com isso, foram conduzidos posteriormente os ciclos da estratégia de pesquisa-ação, que tem como base a pesquisa de Thiollent (1986) e Tripp (2005), visto sua relevância para o tema da pesquisa-ação. Essa que por sua vez trata da coleta, feedback e análise de dados, planejamento da ação a partir dessa coleta de dados, implementação e avaliação para geração de mais dados, em ciclo, representado na Figura 5.

Figura 5 - Esquema representativo do modelo correlacionado a investigação na pesquisa-ação



Fonte: Adaptado de Dresch, Lacerda e Miguel (2015)

A partir da figura 5 é possível identificar alguns elementos principais, os dados em questão que estão sendo coletados e avaliados são os dados gerados que tenham relação com o objeto de interesse da pesquisa, que neste caso é o processo de criação da *spin-off*, o ciclo ocorre, em coleta, análise, planejamento, ação e mensuração/avaliação do resultado obtido, como num processo de melhoria continua, todo esse processo é tangibilizado por uma metafase, que neste contexto significa uma fase que não está presente na ordem do ciclo mas permeia todas as outras seis etapas do processo.

5.1. DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DE CONSTRUÇÃO DA METODOLOGIA

Inicialmente foi realizada a coleta de dados a partir dos registros de reuniões, relatórios internos, registros de planejamento estratégico, documentos de estruturação da empresa, documentos referentes a modelagem de negócios e as entregas propostas pelo Desafio MinerAll e para a prova de conceito. Em seguida, as informações coletadas ao longo da pesquisa foram discutidas, analisadas, interpretadas e validadas em conjunto com os atores vinculados aos projetos. Assim, a partir da organização destas informações e da análise documental realizada foi possível avaliar os principais pontos de evolução da criação da empresa contendo os seus principais marcos.

A coleta de dados também foi realizada por meio de entrevistas informais com os sócios e com os agentes de aceleração, dos programas participantes que a startup participou e os desafios de cada etapa. Este trabalho pode ser organizado em 5 partes principais relacionadas ao desenvolvimento da *spin-off* e um estudo de mercado direcionado a um dos produtos desenvolvidos durante as provas de conceito, do desenvolvimento durante o Desafio MinerAll até a estruturação do negócio Geeco. Dentro do programa MinerAll, a Geeco viveu o período de pré-aceleração, aceleração e escalonamento do negócio e realizou duas provas de conceito para a tecnologia, podendo este desafio

ter sido determinado em cinco etapas principais:

- Estudo de viabilidade e pré-aceleração;
- Pré - escalonamento e aceleração;
- Escalonamento e go-to-market;
- Prova de conceito;
- Estruturação da empresa.

A seguir é detalhada cada uma das cinco etapas:

Fase 1: Estudo de viabilidade e pré-aceleração

- Etapa 1 (Planejar): Durante essa etapa foram cumpridos os calendários de desenvolvimento proposto. Que era basicamente composto por: Etapa de Ideação, modelagem de negócios, descoberta de mercado, *pitch*, estudos prévios estimados de viabilidade econômica, técnica, comercial e do impacto social e ambiental.
- Etapa 2 (Agir): Foram desenvolvidas proposições de validação de "dor" de mercado, bem como, a participação em todas as atividades propostas pelos programas e conexão com stakeholders.
- Etapa 3 (Descrever): Os resultados foram descritos em um EVTECIAS preliminar (estudo de viabilidadetécnica, econômica, comercial e do impacto ambiental e social e em formato de apresentação de pitch.
- Etapa 4 (Avaliar): A avaliação de desempenho foi realizada nas bancas de apresentação e nos eventos de demoday, os quais a Geeco apresentou respostas positivas.

Fase 2 – Pré – escalonamento e aceleração

Etapa 1 (Planejar): Durante a aceleração foram cumpridos os calendários de desenvolvimento proposto pela edição, onde a empresa foi avaliada e sua continuação foi condicionada ao desempenho da empresa.

Etapa 2 (Agir): Foram realizadas as primeiras conexões diretas com empresas do mercado pretendido para compreender em maior detalhe as demandas, as necessidades do mercado. Nesta etapa foram iniciados os primeiros testes de produtos a base da tecnologia de geopolímeros desenvolvida.

Etapa 3 (Descrever): Os resultados do programa foram descritos em relatórios e entregues em formato de atividades, documentos e apresentação de pitchs. Além disso, os resultados foram

computados em planilhas de acompanhamentos pelos agentes de aceleração.

Etapa 4 (Avaliar): Dividida em duas etapas, foi verificado o desempenho técnico do material desenvolvido segundo a necessidade dos potenciais investidores, além da consistência do modelo de negócio da *spín-off* até aquele momento, após a avaliação favorável pela banca do desafio, a *spin-off* foi selecionada para a terceira fase do programa.

Fase 3 – Escalonamento e *go-to-market*

Etapa 1 (Planejar): Durante a aceleração foram cumpridos os calendários de desenvolvimento proposto pela edição, que foi dividido em 4 partes principais, onde a empresa foi avaliada trimestralmente e a continuação para a prova de conceito ficou condicionada ao desempenho da empresa.

Etapa 2 (Agir): Foram realizadas as várias conexões diretas com empresas, avaliação do mercado e desenvolvimento de estratégia comercial para o produto que estava sendo desenvolvido. Também foi desenvolvido todo o processo da produção piloto, dimensionados os equipamentos, feita todaa gestão de risco do projeto e definido o investimento necessário para realização da prova de conceito. Foram feitos os primeiros testes de validação dos produtos desenvolvidos pela Geeco.

Etapa 3 (Descrever): Os resultados do programa foram descritos em relatórios categorizados por etapa (trimestrais), além de outras entregas em formato de atividades, documentos e apresentação de pitchs. Além disso, os resultados foram computados em planilhas de acompanhamentos pelos agentes de aceleração e escalonamento.

Etapa 4 (Avaliar): A avaliação de desempenho foi realizada nas bancas de apresentação e nos eventos de demoday e interação junto a investidores, onde a Geeco foi selecionada para a terceira fase do programa.

Com o objetivo de responder à pergunta problema foi aplicada a metodologia de pesquisa-ação, no intuito de compreender o impacto da etapa de realização da prova de conceito em escala piloto no processo de posicionamento de mercado, maturação da empresa e captação de investimentos e parceiros.

Fase 4 - Prova de conceito – Piloto

- Etapa 1 (Planejar): Foram desenvolvidos um cronograma de planejamento piloto e gestão de

risco, o qual teve o objetivo de desenvolver a prova de conceito em escala piloto no intuito de gerar um ou mais produtos.

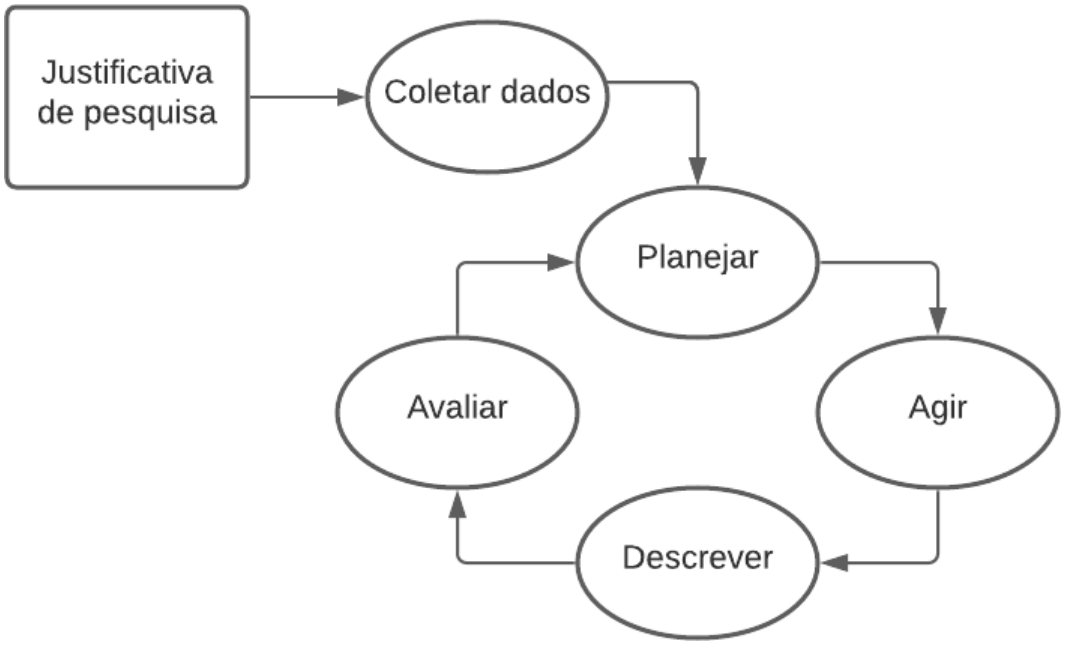
- Etapa 2 (Agir): De maneira sistêmica foram desenvolvidos experimentos com foco na produção de materiais geopoliméricos para diversas aplicações em laboratório.
- Etapa 3 (Descrever): Ao final de todos os experimentos foram realizados relatórios científicos e técnicos, os quais descrevem os principais resultados alcançados e o processo descritivo, melhores práticas de produção.
- Etapa 4 (Avaliar): A avaliação de desempenho foi realizada por meio da geração de conhecimento através do know-how obtido ou quantidade de publicações de artigos científicos.

Fase 5 - Estruturação da Empresa

- Etapa 1 (Planejar): Foi desenvolvido um calendário de atividades referentes a estruturação do negócio na perspectiva estratégica, de gestão do negócio, do desenvolvimento tecnológico e estratégia comercial.
- Etapa 2 (Agir): Foram realizadas imersões com o objetivo de propor estratégias para empresa no âmbito de financeiro, de marketing, de pesquisa e inovação, produção, no intuito de produzir documentos defensáveis para a primeira estruturação da empresa e auxílio na etapa de captação.
- Etapa 3 (Descrever): Durante o planejamento financeiro, estratégico, de pesquisa e produção foram realizados relatórios, a fim de documentar todo o processo.
- Etapa 4 (Avaliar): A avaliação dos documentos da empresa foi realizada pelos mentores da empresa.

Ao final de cada fase foram abordados os principais aprendizados e desafios, os quais foram fundamentais para as tomadas de decisão de reiniciar o ciclo. É importante notar que esse processo de pesquisa e ação se repetiu em ciclos completos durante todas as fases e em alguns casos mais de uma vez entre as fases referentes a trajetória da Geeco, na Figura 6 é possível visualizar o processo iterativo vivido.

Figura 6 - Etapas do desenvolvimento da pesquisa na estratégia metodológica de pesquisa-ação

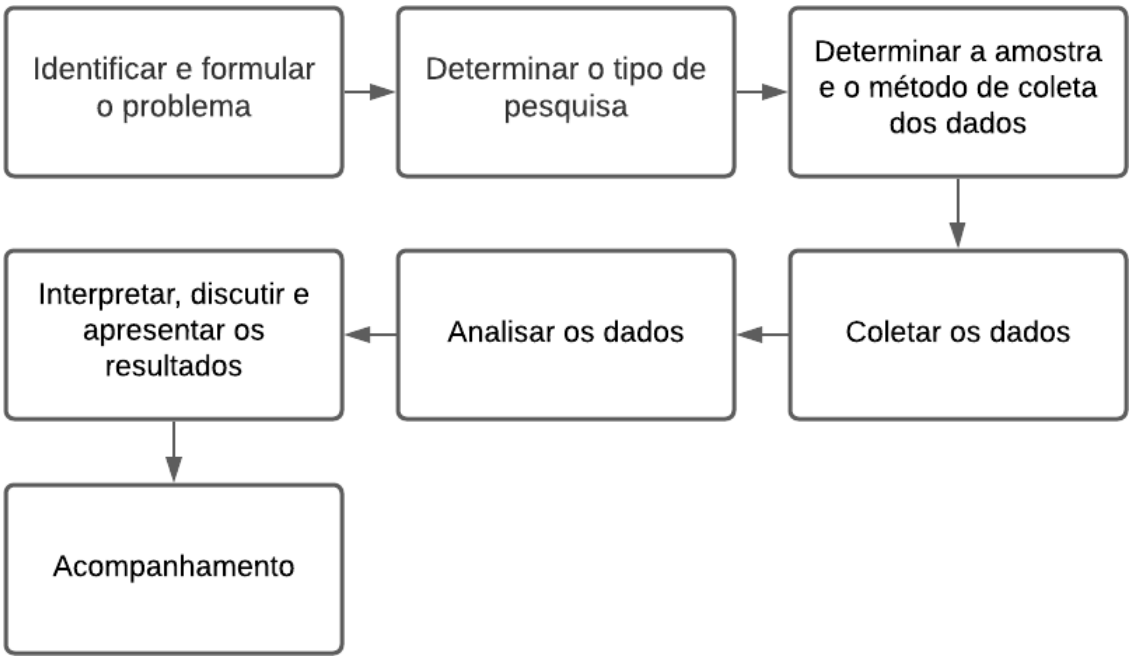


Fonte: Adaptado de Souza, 2019

5.2. PESQUISA DE MERCADO

Dentro da perspectiva deste trabalho, fez-se necessário para o aprendizado e validação do negócio a realização de um estudo de mercado sobre os vários produtos que a *spin-off* buscou desenvolver ao longo do desenvolvimento, ao final do processo de validação inicial, chegou-se a um produto viável. Após isso, foi realizada uma pesquisa de mercado acerca deste produto. Para que esse processo fosse desenvolvido utilizou-se da metodologia descrita por Sarstedt e Mooi (2019), que descrevem o processo de pesquisa de mercado como um fluxo de 7 passos principais que pode ser visto na Figura 7.

Figura 7 - Esquema representativo das etapas para realização de um estudo de mercado



Adaptado de Sarstedt e Mooi (2019)

Seguindo esse fluxo, o primeiro passo é a definição do problema de pesquisa, para tanto é necessário que sejam identificadas as oportunidades de comercialização e os sintomas de marketing, que são os problemas que a empresa possui naquele momento, como por exemplo novos produtos que não estão sendo adotados pelos consumidores. Em alguns casos, não há um problema, mas uma oportunidade (Sarstedt e Mooi, 2019).

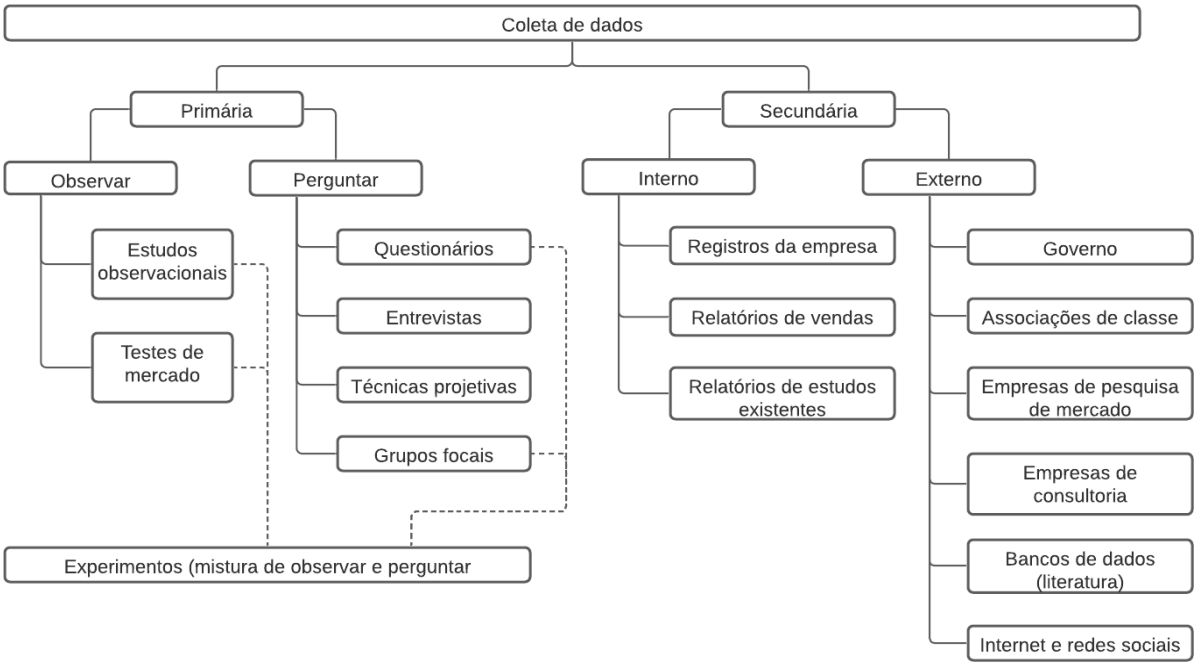
Geralmente existem três tipos de problemas de pesquisa: ambíguos, definidos e claramente definidos. Na delimitação deste trabalho, o foco será a resposta de um problema ambíguo. Contudo, também foi importante delimitar características específicas do mercado pretendido e, por isso, a pesquisa de mercado avançou para uma pesquisa descritiva. Na Figura 8 é possível compreender um pouco melhor o contexto de cada tipo de pesquisa e seus usos mais comuns.

Figura 8 - Usos da pesquisa exploratória, descritiva e causal

Fonte: Adaptado de Sarstedt e Mooi (2019)

A partir da delimitação de pesquisa descritiva, foi necessário também delimitar a fonte de coleta de dados e posteriormente de análise. Na Figura 9 é possível observar todas as formas de coleta de dados (Sarstedt e Mooi, 2019).

Figura 9 – Formas de coleta de dados



Adaptado de Sarstedt e Mooi (2019)

A pesquisa em questão esteve focada na coleta de dados secundários externos e dados primários de perguntas, uma vez que foram utilizados dados de entrevistas com potenciais compradores da tecnologia desenvolvida, stakeholders da cadeia de produção do material em questão. Foram feitas também, buscas em bancos de dados de associações de classes, no Google, com

empresas de consultoria, entidades governamentais e na literatura, a fim de compreender o comportamento do mercado escolhido.

A escolha do mercado foi determinada a partir da experimentação e de conversas com os stakeholders participantes do grande mercado da construção civil ao qual o material estava direcionado. Além disso ela foi necessária para estabelecer prioridades e eliminar ideias impraticáveis da perspectiva dedesenvolvimento de produtos geopoliméricos.

6. RESULTADOS

6.1. DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL BASEADO NO REJEITO DA MINERAÇÃO DE FERRO E A TECNOLOGIA DE GEOPOLÍMERO

6.1.1. PROCESSO DE PREPARO DE GEOPOLÍMEROS EM LABORATÓRIO

A preparação de geopolímeros em escala de laboratório seguiu inicialmente a metodologia descrita por Ferreira, 2022. O estudo foi realizado a fim de entender o processo de mistura e conformação da massa geopolimérica.

Os insumos utilizados foram Metacaulim Ultra adquirido pela empresa Metacaulim do Brasil, localizada em Jundiaí, São Paulo, Brasil, esse material contém 55,5% de SiO_2, 36,5% de Al_2O_3, 2,0% de Fe_2O_3, 1,0% de TiO_2 e 1,5% de K_2O. Silicato de sódio alcalino adquirido da empresa Unaprosil que tem contém uma relação (SiO_2/Na_2O) igual a 2,2, com 14,9% de Na_2O e 32,7% de SiO_2, com uma porcentagem de sólidos totais de 47,6%. Hidróxido de sódio adquirido da empresa Carbocloro com pureza mínima de 97%. Além disso, foram utilizados dois rejeitos produzidos pela Samarco, o rejeito arenoso de minério de ferro, que apresentou 86,3% de dióxido de silício (SiO_2), 11,9% de óxidos de ferro, 0,43% de óxido de alumínio e 0,57% de óxido de cálcio e a lama de pigmentação que tem composição majoritária de óxidos de ferro e que foi utilizada como pigmento. O teste foi conduzido avaliando as propriedades mecânicas do material, avaliação aparente do material, absorção de água e composição geopolimérica.

Inicialmente foram feitos testes preliminares para determinar os parâmetros de controle do material, desses parâmetros foi idealizada uma matriz fatorial de 3^2. Cada relação foi determinada em fatores (-1, 0, 1), formando umamatriz combinada que está apresentada no Quadro 1.

Quadro 1 - Variações geopoliméricas utilizadas para o estudo inicial do material

Variações	SiO_2/Al_2O_3	Al_2O_3/Na_2O
1	5	1,1
0	4,6	0,95
-1	4,2	0,8

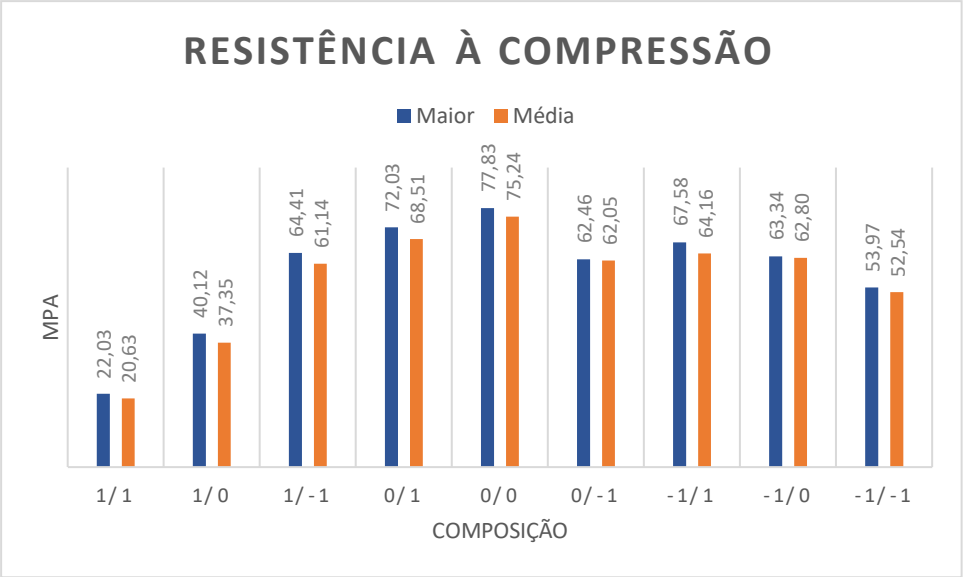
A partir dos resultados do experimento fatorial conduzido utilizando-se as condições estabelecidas, foram determinadas as características de cada material. Os corpos de prova iniciais foram moldados segundo as recomendações de proporções descritas na norma de moldagem de corpos de prova de concreto, ABNT NBR 5738:2015, com dimensões de 2 x 4 cm, de diâmetro e altura, respectivamente, Figura 10.

Figura 10 - Corpos de prova moldados

Fonte: Próprio Autor

Após a moldagem de todos os corpos, eles foram avaliados segundo sua resistência mecânica, com 7 dias de cura, na figura 11 estão os resultados obtidos, além da resistência mecânica, foram observadas a absorção de água, eflorescência aparente que é um fenômeno de formação de manchas brancas na superfície do material, além da aparência geral do corpo de prova.

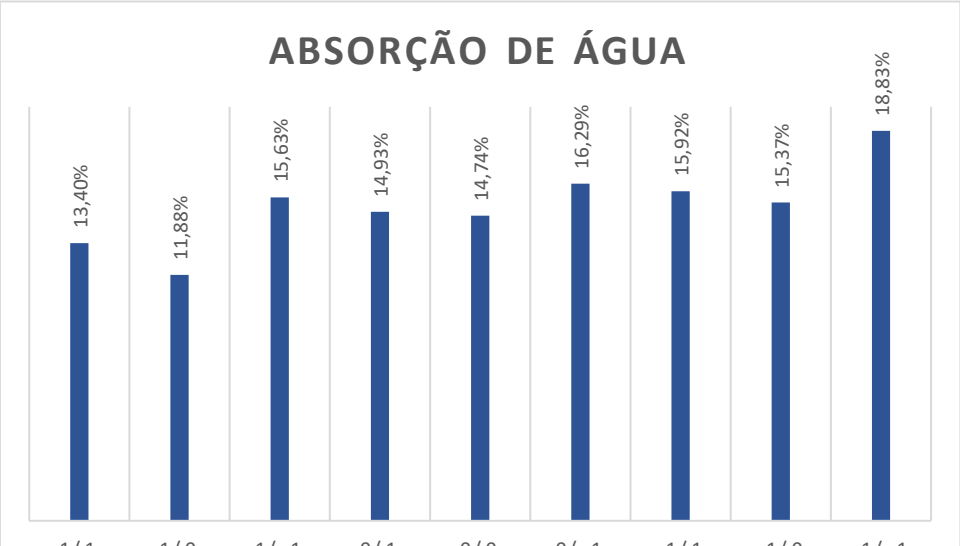
Figura 11 - Resistência a compressão com 7 dias de cura



A tendência observada guia para o ponto central em 0/0 e por isso essa formulação foi escolhida para a segunda fase de testes que foram realizados com aumento de escala e considerando já os materiais que seriam utilizados para a prova de conceito, existiam outros fatores que precisavam ser avaliados, como a absorção de água, Figura 12.

Um ponto importante a ser observado é que não existem materiais geopoliméricos de referência no mercado brasileiro, portanto a comparação principal foi feita com materiais cimentícios tradicionais, a base de cimento Portland, que tem resistência característica de 50MPa, além de ter sido comparado com diversos outros materiais geopoliméricos da literatura para validação da resistência característica do material, buscando estar adequado aos parâmetros da literatura (ISLAM *et al.* 2014, FONTES *et al.*, 2015; FIGUEIREDO *et al.* 2019; FERREIRA, 2021).

Figura 12 - Resultado da absorção de água dos corpos de prova moldados

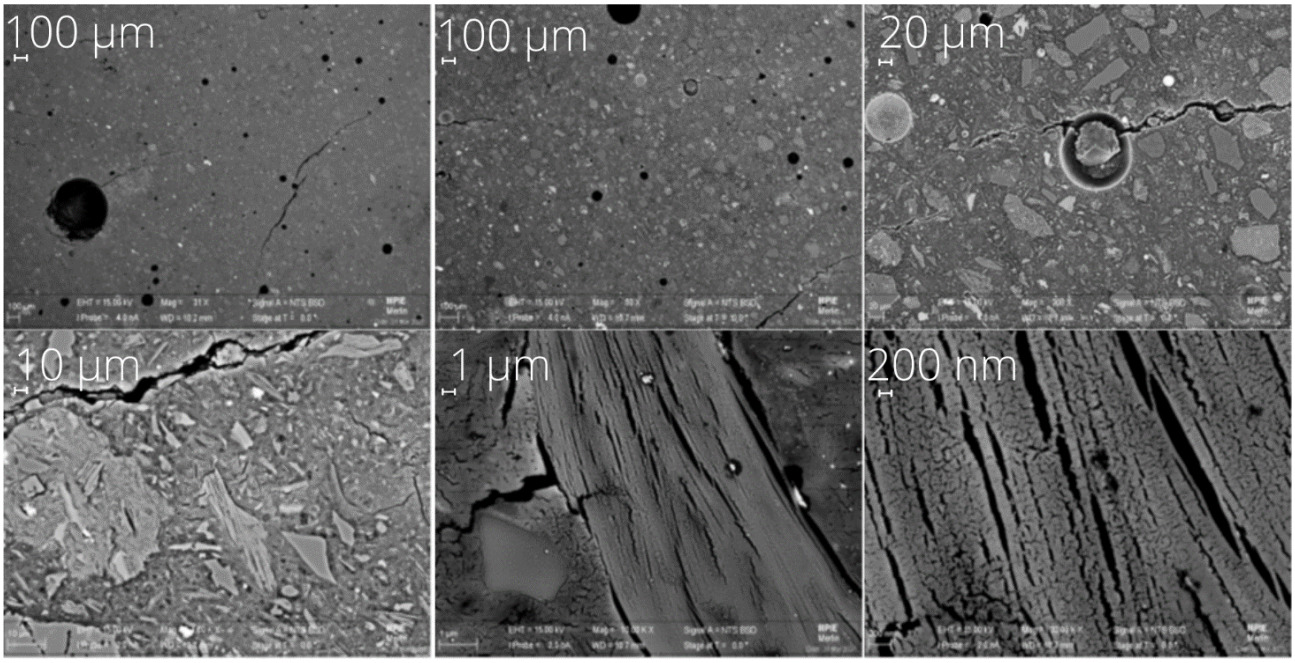


A absorção de água apesar de alta, estava dentro do esperado, pois o material não possuía agregados, normalmente com a inclusão de carga mineral, a absorção de água dos materiais é menor. A partir da análise dos dados, a melhor formulação foi o ponto central (0/0), que apresentou a maior resistência a compressão e teve uma absorção de água dentro do esperado. Além disso, quando comparados os fatores econômicos, a formulação 0/0 é um dos melhores custo-benefício, que será apresentado no estudo financeiro posteriormente.

Microestrutura da matriz geopolimérica

Apesar de ter a maior resistência, quando foi realizado testes subsequentes de resistência a compressão para a matriz 0/0, foi verificada uma redução da resistência máxima do material. Para entender esse fator foi realizada uma análise microestrutural do material, apresentada nas Figura 13.

Figura 13 - Análise microestrutural em diversas ampliações para a matriz geopolimérica

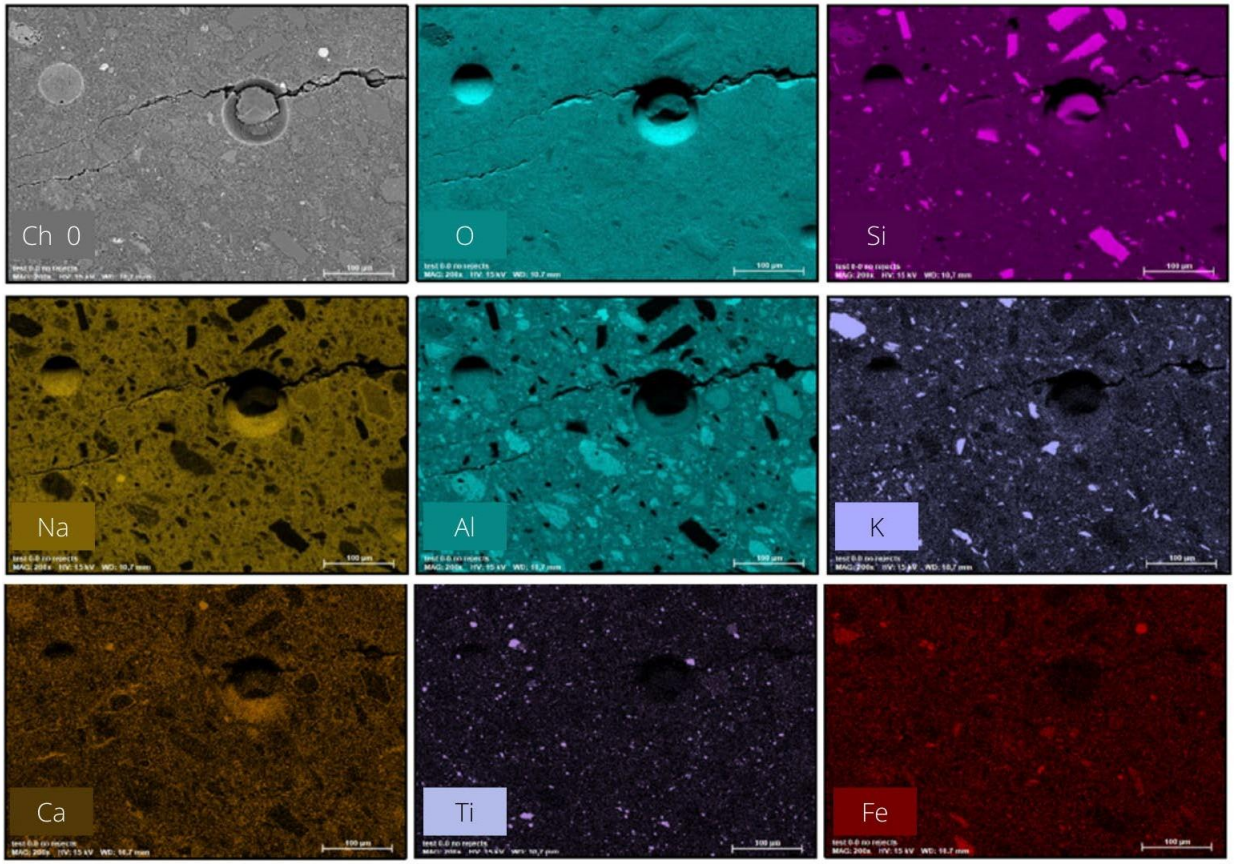


Fonte: Equipe da Geeco

A partir das figuras é possível verificar que a matriz desenvolvida é densa, com pouca porosidade, porém quando ampliada, apresentou microfissuras, muito provavelmente em decorrência da retração natural do material geopolimérico. Por se tratar de uma matriz geopolimérica que não possui agregados, essa microfissuração tardia explica a queda de resistência observada para o material e a relativa alta absorção de água. Dentro da perspectiva do material também foram realizados ensaios de EDS, espectroscopia de raios X com dispersão de energia, e os

espectros estão dispostos na Figura 14.

Figura 14 - EDS para a matriz geopolimérica desenvolvida



Fonte: Equipe da Geeco

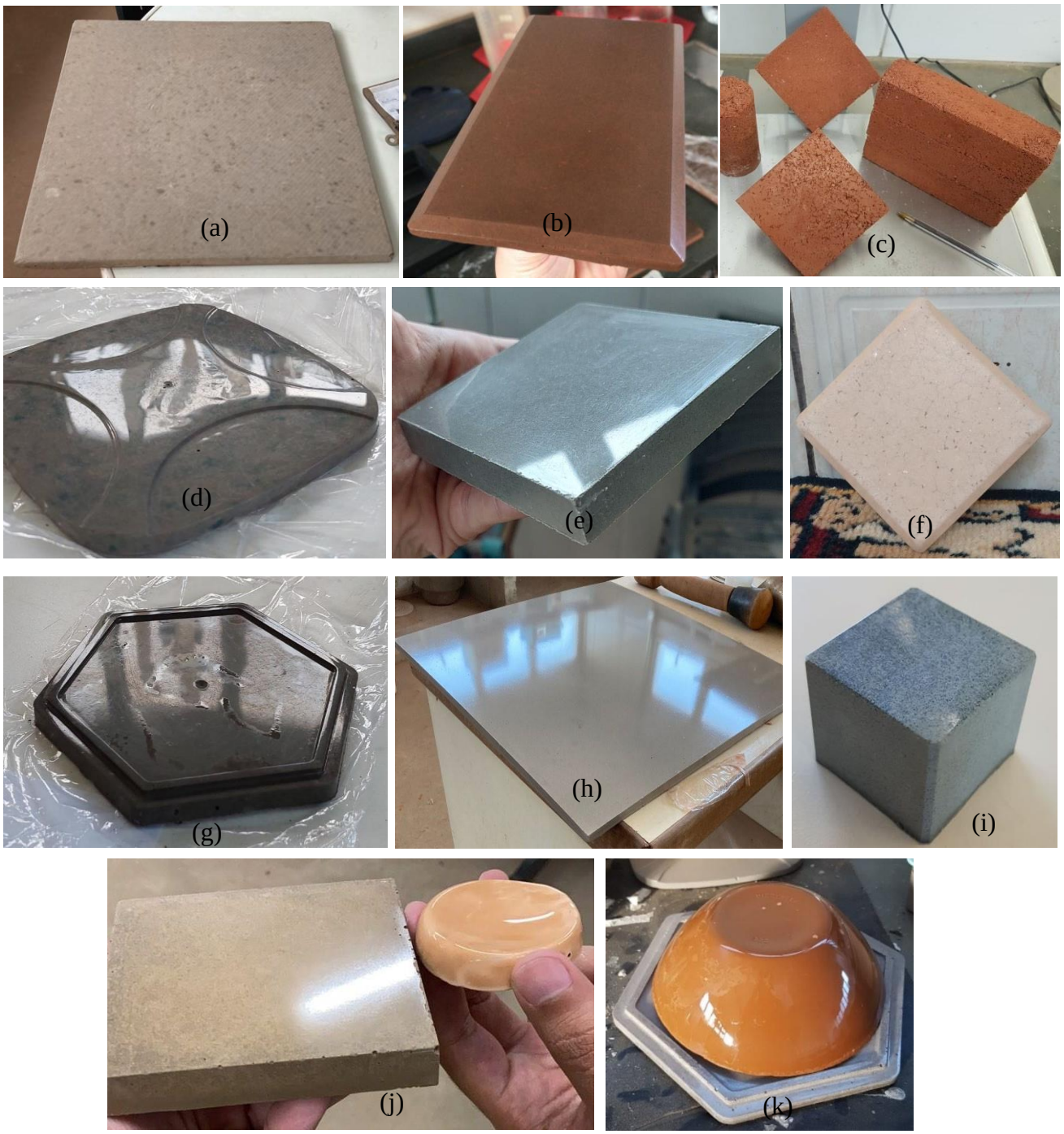
As figuras acima, indicam uma matriz com elementos bem dispersos. Um ponto interessante é a presença de cristais de quartzo bem definidos, o que pode indicar que o metacaulim utilizado ainda possui alguma composição de quartzo incluso para composição do produto final. Os elementos que foram avaliados e identificados com maior intensidade e que eram esperados foram alumínio, sódio, oxigênio, silício, ferro principalmente.

Preparo de geopolímeros a partir de diferentes rejeitos da mineração e siderurgia

Apesar do foco principal do estudo ter sido o rejeito de minério de ferro, foram desenvolvidas formulações com diversos tipos de rejeitos de mineração, tais como rejeitos de minério ferro e lamas de mineração de ferro, rejeito do processamento de zinco, rejeito de lítio, gnaisse, mármore,

manganês, escórias, frações finas de serpentinito, areia bayer e lama vermelha, dentre outros. A Figura 15 apresenta imagens de geopolímeros produzidos a partir de diferentes rejeitos.

Figura 15 - Peças geopoliméricas feitas a partir de diversos rejeitos de mineração e siderurgia: (a) rejeitos de minério ferro, (b) lama de mineração de ferro, (c) rejeito de zinco, (d) rejeito de lítio, (e) fração fina de gnaisse, (f) rejeito fino de mármore, (g) rejeito de manganês, (h) escórias de siderurgia, (i) frações finas de serpentinito, (j) areia bayer e (k) lama vermelha



Fonte: Próprio Autor

Todos esses materiais foram idealizados e testados para terem valores de resistência similares àqueles dos materiais desenvolvidos a partir das matrizes geopoliméricas desenvolvidas pela Geeco, contudo o foco deste estudo gira em torno do rejeito de minério de ferro.

6.2. DESAFIO MINERALL

A Geeco começou a sua trajetória dentro de um programa de inovação aberta idealizado pela Samarco, uma mineradora brasileira fundada em 1977, o Desafio MinerAll. O objetivo desse programa era o desenvolvimento de novos negócios a partir de 17 tecnologias que a Samarco tinha desenvolvido previamente para o reaproveitamento de seus co-produtos (rejeito arenoso e a lama).

Esses rejeitos não eram aproveitados comercialmente pela empresa dado que as tecnologias em questão não abrangiam o "*core business*" da mineradora. O programa Minerall deu oportunidade para estudantes universitários de se capacitarem como empreendedores, explorarem tecnologias de maneira comercial e gerar potenciais inovações em parceria com um grande empresa. Assim, por meio da geração dos *spin offs*, a Samarco buscava dar uma destinação mais sustentável para seus rejeitos, além de estimular a diversificação econômica em sua área de atuação.

Todo o programa foi conduzido por uma equipe multidisciplinar e transversal, que contava, além da Samarco e seu corpo de funcionários em suas várias áreas de funcionamento, também de profissionais especializados em escalonamento de tecnologias e desenvolvimento de novos negócios. Dentro dessa perspectiva uma das equipes dentre as 17 tecnologias e potenciais novos negócios iniciais, estava a *GMTech*, a equipe que deu origem efetivamente ao que hoje se constituiu como Geeco.

Para visualizar de maneira mais completa a trajetória da equipe GMTech até a consolidação como a spin-off Geeco e efetivamente sua entrada no mercado foi desenvolvido um fluxograma com os principais eventos, conquistas e desafios (Figura 16), é importante ressaltar que o desenvolvimento da prova de conceito em escala piloto, teste em ambiente relevante, foi realizada após toda a validação e planejamento de escalonamento e estratégia comercial, além da fundamentação do negócio de maneira preliminar, como forma de confirmação do estudo realizado, contudo durante todas as outras etapas foram realizados testes e validação técnica da tecnologia que estava sendo desenvolvida.

Figura 16 – Etapas do desafio MinerAll simplificadas

Fonte: Próprio Autor

6.2.1. FASE 1: PRÉ-ACELERAÇÃO

O desafio MinerAll tinha como objetivo inicial o desenvolvimento de um estudo de viabilidade técnica, econômica, comercial e de impacto ambiental e social (EVTECIAS) para as 17 tecnologias cedidas pela Samarco. Cada um dos grupos que foi formado durante o programa tinha o objetivo de desenvolver esse documento a fim de trazer novas soluções para a utilização dos coprodutos da mineradora.

O projeto como um todo, pode ser visto como um processo de inovação aberta, no qual as tecnologias desenvolvidas pela Samarco foram disponibilizadas para que alunos de graduação e pós-graduação pudessem utilizar, com o intuito de formar grupos para desenvolver os aspectos de negócio de cada uma das tecnologias.

Em números, o desafio contou com mais de 400 inscrições de alunos, de onde foram selecionados 85, aproximadamente. Esses estudantes foram para a primeira fase divididos em equipes, onde cada equipe era responsável pelo estudo e desenvolvimento de uma das 17 tecnologias. Essa fase teve duração total de aproximadamente 5 meses, dentre treinamentos, mentorias por parte da Samarco e dos especialistas contratados.

Ao final de todo o desenvolvimento e dos 5 meses foram gerados um total de 12 EVTECIAS, onde 5 equipes desistiram ao longo do processo de desenvolvimento do programa. Foi realizado uma banca, no modelo de pitch, ver Figura 17, onde os apresentadores têm 5 minutos para apresentar todos os aspectos do negócio com considerações finais de uma banca e a avaliação do EVTECIAS dessas equipes.

Figura 17 - Imagem da apresentação do Pitch da seleção da GMTech para o desafio MinerAll

Fonte: Próprio Autor

Tendo esses resultados, foi feita a escolha dos 6 projetos mais promissores, que seguiriam para a segunda fase do programa. Dentro dessa perspectiva, a *GMTech*, nome original da Geeco, era uma equipe composta por dois dos atuais fundadores da Geeco, além de outros 3 membros, que acabaram deixando o projeto, em determinados momentos do desenvolvimento da *spin-off*. A *GMTech* trabalhou com o rejeito arenoso Samarco, focada em oferecer soluções para a indústria do cimento e construção civil.

O processo da Fase 1 foi feito em etapas, entre conversas e treinamentos sobre como fazer um estudo de mercado, técnico e econômico. A *GMTech* acabou avaliando que a tecnologia proposta era inviável da maneira como foi proposta, devido a uma série de fatores, mas principalmente por incompatibilidade logística e por inexperiência dos membros naquele momento para determinar sistemas e processos de gestão eficientes para garantir o sucesso da operação da tecnologia. Esta inviabilidade partiu do entendimento de que mesmo que a tecnologia proposta pela Samarco fosse viável tecnicamente, o produto que era originado dessa tecnologia acabava não sendo viável pois não tinha competitividade com outros produtos semelhantes no mercado, um ponto importante é que, apesar da equipe ter inviabilizado a tecnologia proposta na época, não foi possível confirmar se a inviabilidade teria sido resolvida com outro arranjo tecnológico ou com uma equipe tecnicamente mais capacitada.

Devido a esses e outros fatores chegou-se à conclusão, ao final da primeira fase, de que era necessário “pivotar”, que é um conceito no meio do empreendedorismo e das startups, que significa mudar o caminho da tecnologia para que seja explorada outra oportunidade, pois a primeira foi invalidada ou apresenta maior dificuldade do que o novo caminho traçado.

A GMTech, na época, encontrou diversos problemas com a logística desse rejeito. Como a

tecnologia, apesar de consumir uma quantidade grande de rejeito, não possuia um valor agregado muito alto, tinha um limitador de raio logístico, que foi determinado com apoio da Samarco. A partir do estudo financeiro preliminar realizado e das empresas que foram pesquisadas, foi possível determinar que o rejeito estava muito distante dos principais centros consumidores. Após todo esse estudo e a visualização de que os custos de transporte inviabilizavam a comercialização a um preço que o mercado aceitaria, a ideia de tecnologia inicialmente proposta pela Samarco foi inviabilizada naquele momento.

Contudo, os membros da *GMTech* não queriam desistir do MinerAll e, apesar de já ter experiência no desenvolvimento de materiais e já terem a pesquisa que daria origem a tecnologia Geeco iniciada, buscaram auxílio em outros membros da Universidade Federal de Minas Gerais para que o projeto ganhasse um corpo técnico mais refinado e competente, capaz de solucionar os problemas que o produto idealizado tinham, além de adicionar valor agregado ao material e por fim que o frete fosse justificável frente a proposta de comercialização de um produto feito com o rejeito arenoso.

Além disso, houve diversos problemas relacionados à equipe, que estava desalinhada e não tinha competências complementares. Inicialmente, a equipe era composta apenas por engenheiros químicos, é importante ressaltar que durante o processo de construção da equipe *spin*-off houveram saídas e aquisições de pessoas da equipe original do projeto.

Os membros fundadores são Athos Lima e Larissa Torquato, que continuam trabalhando na *spin-off* até a data desta dissertação, na figura 18 é possível ver os membros Athos e Larissa no dia do Demoday da fase 1 após a apresentação e anúncio dos vencedores.

Figura 18 - Finalização do Demoday da Fase 1 do Desafio MinerAll

Fonte: Próprio autor

6.2.2. FASE 2: PRÉ-ESCALONAMENTO

No início do pré – escalonamento, a GMTech tinha dois objetivos, valorar mais a sua tecnologia para que fosse viável e justificável o transporte do rejeito para tal aplicação, além de desenvolvere garantir um time complementar para que a equipe tivesse mais chance de sucesso. A ideia inicial era desenvolver produtos de alto valor agregado a partir da tecnologia de geopolímeros, com foco na cadeia da construção civil.

Dentro dessa perspectiva e considerando a baixa expertise dos membros em trabalhar com essa tecnologia, a equipe buscou pessoas que conseguissem trabalhar com esses materiais. Foram pesquisados diversos institutos e empresas que já trabalhavam com geopolímeros. Descobriu-se que empresa Geopol e o *Mackenzie-SP* já atuavam no desenvolvimento pesquisas e tinham produtos comerciais em geopolímeros. Com isso, Athos e Larissa foram para São Paulo em busca de informações e aprendizados sobre os geopolímeros.

Com os esclarecimentos conduzidos pelos pesquisadores observou-se a necessidade de um membro na equipe com experiência em geopolímeros. Nesse momento, os membros da *spin-off*, apesar de já estarem pesquisando sobre geopolímeros e terem obtido resultados promissores, procuravam uma maneira de acelerar o processo de desenvolvimento tecnológico. Visto isso, foram buscar auxílio na UFMGAthos, que já estava pesquisando geopolímeros a cerca de 6 meses, foi para UFMG, no Departamento de Engenharia de Minas, para buscar mais informações sobre a tecnologia. Foi indicado de que nesse departamento algumas pesquisas já tinham sido conduzidas na área de reaproveitamento de rejeitos da mineração para a produção de geopolímeros. Neste

contexto, através do professor Galery, Athos foi apresentado ao estudante de mestrado Igor. Esse, por sua vez, era um pesquisador da área de geopolímeros com anos de experiência.

Igor Ferreira foi convidado para se juntar a GMTech formalmente em abril de 2019 e desde então compõe a equipe, contribuindo para o desenvolvimento de produtos geopoliméricos à base de rejeitos da mineração, sendo a primeira complementação necessária para o sucesso da equipe. Após a entrada do Igor e adequação das formulações utilizadas pela GMTech, foram desenvolvidos os primeiros testes para placas geopoliméricas com rejeito de minério de ferro. Na Figura 19 é possível visualizar Athos e Igor fazendo a dosagem dos materiais que foram utilizados na confecção das placas e na Figura 20 é possível visualizar os primeiros blocos e placas confeccionadas a partir do rejeito de minério de ferro.

Figura 19 - Athos e Igor durante o teste das primeiras placas geopoliméricas feitas a partir de rejeito da mineração

A segunda fase do desafio tinha como objetivo principal o condicionamento e preparo das tecnologias para a construção da planta piloto. Esse processo teve duração de 8 meses com foco no entendimento e viabilização da tecnologia para aumento de escala e definição mercado. Para tal objetivo, as equipes foram expostas a vários treinamentos e conteúdos focados no amadurecimento das soluções.

Figura 20 - Primeiros blocos a esquerda, e placas a direita, com rejeito desenvolvidas a partir de uma formulação padrão de geopolímeros

Fonte: Próprio autor

Contudo, existiram alguns problemas relacionados ao entendimento do material em nível microestrutural e dos aditivos utilizados. O primeiro protótipo desenvolvido apresentou problemas de empenamento e microfissuração superficial, Figura 21. Para auxiliar especificamente nessas características, principalmente focado na redução de custos, os membros da *spin-off* foram atrás de mais um possível membro na UFMG.

Figura 21 - Placa de geopolímero apresentando defeito dimensional (empenamento)

Fonte: Próprio autor

No Departamento de Química da UFMG, a equipe foi apresentada a Caroline Prates, doutoranda em Química, especialista em desenvolvimento de produtos a base de rejeitos de mineração, com ênfase na produção de insumos geopoliméricos para redução de custo, na Figura 22 é possível

visualizar Caroline e Igor após uma apresentação de *pitch*.

Figura 22 - Caroline e Igor após apresentação de pitch para o desafio MinerAll

Fonte: Próprio Autor

A composição da equipe GMTech está apresentada no Quadro 2.

Quadro 2 - Membros fundadores e sócios da Geeco

SÓCIO	EXPERIÊNCIA PROFISSIONAL
Athos Silva Lima	Mestrando em Inovação tecnológica pela UFMG. Graduado em Engenharia Química pelo Centro Universitário de Belo Horizonte (2019). Foi fundador da Empresa Júnior de Engenharia Química do UNIBH, participou de diversos eventos de empreendedorismo, como o Startup U (2016), Fenitec (2017), Anima Nest (2017).
Caroline Duarte Prates	Doutoranda e mestre em química inorgânica pela UFMG, tem graduação também em química, com ampla experiência no trabalho com rejeitos de mineração para o desenvolvimento de produtos focados no reaproveitamento desses materiais.
Igor Crego Ferreira	Mestrando em Tecnologia Mineral pela UFMG. Graduado em Engenharia de Minas também pela UFMG, tem ampla experiência no estudo e desenvolvimento de tecnologias geopoliméricas. Tem também experiência em processamento mineral e reaproveitamento de rejeitos de mineração, tendo trabalhado com diversos rejeitos para desenvolvimento de soluções diversas.

Larissa Torquato	Graduada em Engenharia Química pelo Centro Universitário de Belo Horizonte (UNIBH). Têm ampla experiência laboratorial, tendo atuado dentro de várias empresas, atualmente se especializando na área de suprimentos e geotecnia

Fonte: Elaborado pelo Autor

Para desenvolvimento dos aspectos de mercado e negócio, os especialistas contratados apoiaram a equipe da GMTech, com exposições de conteúdos acerca do conhecimento da cadeia de valor do mercado, segmentações e tendências com o objetivo de identificar, inicialmente, a existência de uma oportunidade real. Um ponto de muita atenção para essa etapa foi a validação das hipóteses de dor de mercado com os potenciais futuros clientes que foram levantados e validados, identificados aspectos de *market fit* para as possíveis soluções, todo o processo foi baseado em metodologias ágeis, para criação de propostas de produtos, levantamento e testes de hipóteses dos modelos de negócio.

A GMTech passou por diversos ciclos de testagem do modelo de negócio, produto e *market fit*. Visto que a equipe não tinha nenhum especialista da área da construção civil, principal possível mercado para a tecnologia geopolimérica, foi necessário que a equipe adquirisse essa expertise através do contato com os especialistas de mercado e com especialistas técnicos da universidade.

Paralelo a esse desenvolvimento de mercado, entendimento de processos e funcionamento financeiro que fizesse sentido para cada negócio, estava sendo feito estudo o escalonamento dessas tecnologias. Nesse estudo foram definidos aspectos tecnológicos, definição de rotas produtivas, parâmetros de validação e desenvolvidos os projetos conceituais e básico do negócio, onde o primeiro tem como objetivo o conceito da tecnologia ou a oportunidade por trás do que foi proposta solucionar e o segundo é o desenvolvimento técnico do que foi proposto.

Dessa forma, o desenvolvimento tecnológico seguiu em paralelo ao desenvolvimento de mercado e negócios.

6.2.3 FASE 3: ESCALONAMENTO E "*GO-TO-MARKET*"

A terceira fase, com duração de 12 meses, teve o objetivo principal de desenvolver a planta piloto e executar as provas de conceito das três soluções mais promissoras definidas na Fase 2. Foram realizados levantamentos para mapear os principais players que poderiam ter interesse nas soluções, realizou-se reuniões com potenciais clientes e parceiros e foram definidos os principais modelos de negócio a serem adotados.

Através de uma metodologia focada no desenvolvimento de provas de conceito intermediárias e minimização de riscos atrelados as desenvolvimento tecnológico, foi desenvolvido um caminho, que de maneira resumida, conforme apresentado a seguir:

- Planejamento do processo e definição das provas de conceito
- Gestão de riscos e planejamento de cronograma
- Execução das provas de conceito e coleta de resultados

Dentro deste período de 12 meses foram determinadas 4 etapas cruciais para o desenvolvimento da spin-off:

- Modelagem de negócios
- Estruturação financeira
- Estruturação jurídica
- Estruturação comercial

Na Etapa 1 foi refeita e revisada toda a estruturação do negócio, usando conceitos de modelagem de negócios, trabalhando todos os pilares essenciais para o negócio, como canais de comunicação, mercado pretendido, fontes de investimento, premissas financeiras, investimento necessário, aspectos de desenvolvimento da equipe e de tração, para garantir uma estruturação empresarial mínima para que a Spin-off começasse a se tornar de fato um negócio.

Todos os aspectos foram trabalhados de maneira mais ampla, com foco para o impacto que a solução poderia gerar para o ecossistema como um todo. Foram trabalhadas as ferramentas de diagnóstico de inovação, forças de Porter, 4Ps da gestão da inovação e determinadas a missão, visão e valores da spin-off.

A partir dessas análises, que serão apresentadas posteriormente, foi possível determinar toda a estratégia inicial e caminhos a serem seguidos pela *spin-off* até aquele momento, traçando um caminho para o teste em ambiente relevante e, principalmente, abrindo espaço para o erro. Com isso foi possível validar os modelos desenvolvidos e verificar se havia consistência ou se o mesmo precisava de melhorias.

Estruturação financeira

Após esse período, foi trabalhado na Etapa 2, conceitos mais aprofundados na área financeira, com foco principal em determinar minuciosamente como executar um estudo financeiro que garantisse precisão do ponto de vista de tomada de decisão. Para tanto todos os sócios receberam

capacitação e treinamento na área financeira. Foram determinados o Capex (*Capital Expenditure*), que significa investimentos em bens de capitais, e o Opex (*Operational Expenditure* ou despesas operacionais) da Geeco. Além das fontes de receita, foram determinados os investimentos necessários e todas as despesas com funcionários, combustível, comercial, tributárias, manutenção de equipamentos e com serviços terceirizados.

Além disso, toda a parte de entendimento dos indicadores financeiros e análise de sensibilidade foram abordados.

Foram detalhadas as premissas básicas para a execução do estudo. Para iniciar as operações relacionadas à produção dos revestimentos geopoliméricos, é necessário seguir algumas etapas antes, e para isso considerou-se uma taxa média de atratividade (TMA) de 15%, 20% e 25% (SILVA e JANNI, 2021). Para tanto, determinou-se que a Geeco iria:

- Desenvolver, ao longo de todo o projeto, escala reduzida se comparada às grandes empresas de revestimento;
- Alugar um espaço físico para alocar a planta;
- Comprar os maquinários necessários para a produção do revestimento cerâmico;
- Considerar pelo faturamento uma alíquota efetiva do regime tributário do SIMPLES nacional de 10,63%;
- O preço do produto (placa de revestimento) seria de R$ 90/m².
- O custo variável calculado foi de aproximadamente 45% do valor da receita bruta anual estimada;
- A duração desse projeto será de 5 anos para remuneração.

Estruturação jurídica

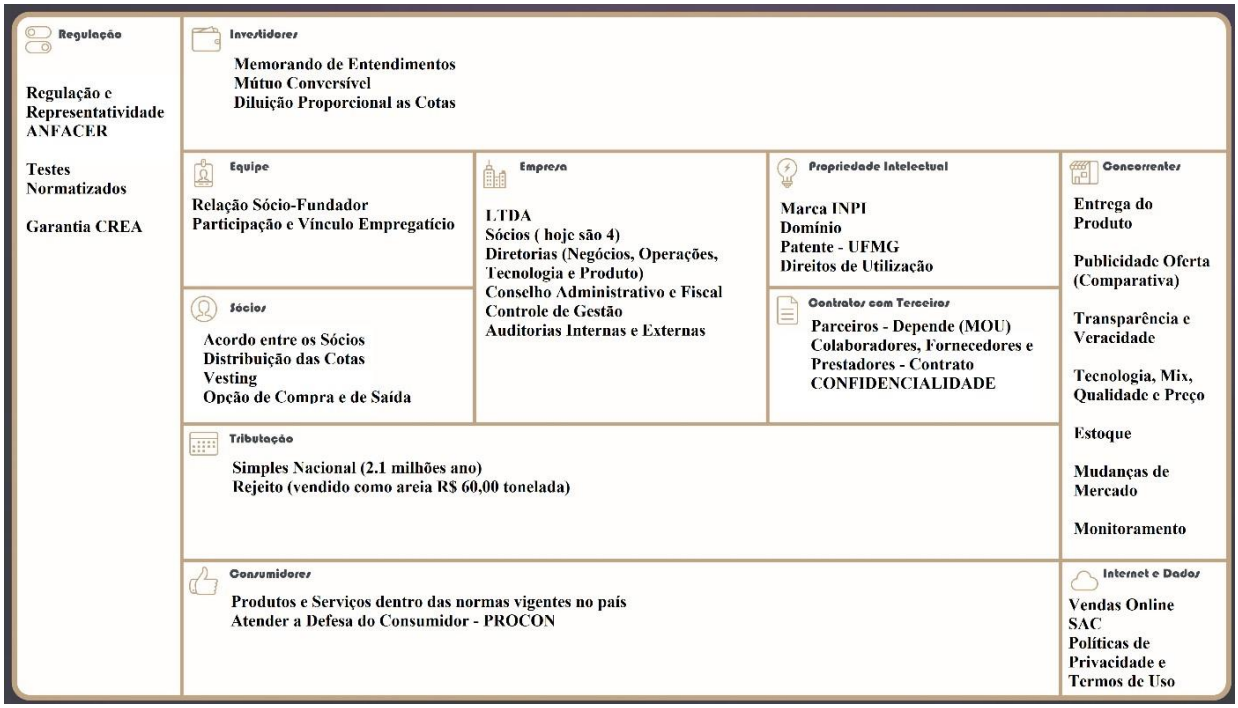
Na etapa de estruturação jurídica, foram revisados todos os aspectos de regulação, proteção e instrumentos jurídicos mais necessários para empresas entrantes, onde foram oferecidos consultorias e treinamentos com especialistas e que foram ajustados para cada negócio do MinerAll.

A estruturação passou por pilares de regulamentação, relação com investidores, equipe, empresa, propriedade intelectual, concorrentes, consumidores, tributação, sócios, empresa, contratos com terceiros, internet e dados. A partir dos treinamentos várias ações foram desdobradas para construção de documentos e estruturas jurídicas mínimas para funcionamento da operação da *spin-off*.

Dentro desse processo, foi gerado um canvas jurídico (Quadro 3) para guiar melhor as

estruturas necessárias para o negócio e os pontos que a equipe deveria se preocupar.

Quadro 3 - Canvas jurídico da Geeco



Elaborado pela Geeco

A partir desse canvas, vários pontos foram detectados como falhos e que eram importantes para determinar o sucesso da Geeco, que até então chamava GMTech. O primeiro ponto foi a mudança do nome, uma vez que o processo de registro e utilização de marca prevê diversos critérios no INPI, e do ponto de vista jurídico é necessário tomar muito cuidado em como utilizar os nomes, uma vez que ao registrar marca, diversos aspectos são levados em conta, um deles é a similaridade e generalidade do nome. No caso de GMTech, existiam outros nomes que impediam ou dificultavam muito o registro da marca e por isso foi necessário mudar para Geeco, que era mais "forte" do ponto de vista jurídico, que também foi escolhida pelos sócios fundadores da empresa e que foi validada pelos especialistas jurídicos que estavam acompanhando a equipe na época.

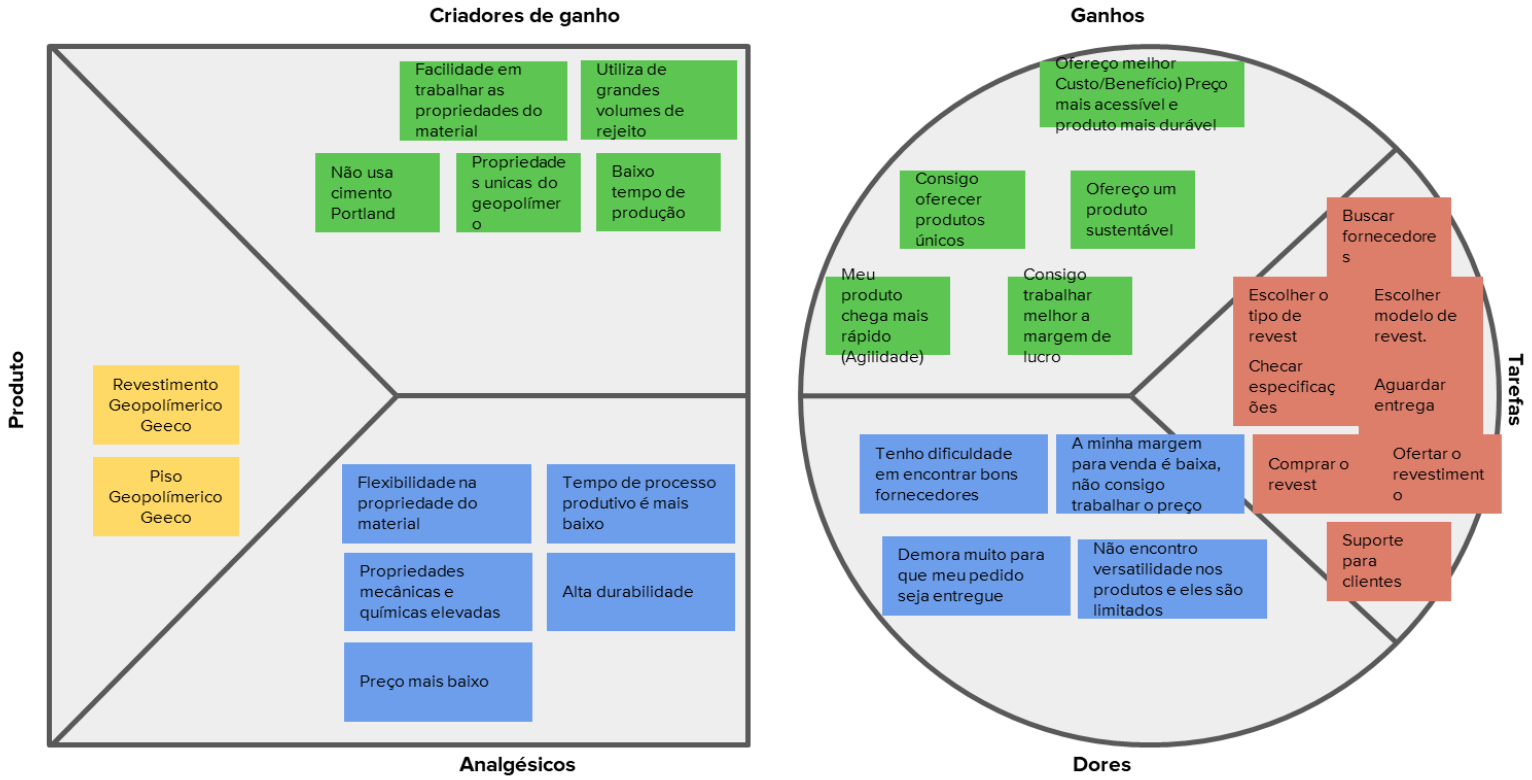
Além disso, diversos mecanismos jurídicos internos foram criados, como o acordo de sócios, os modelos de contratos com terceiros e investidores e o registro da Geeco como uma empresa formal, sob o aspecto de uma sociedade limitada.

Estruturação comercial

A última etapa do processo mais teórico do desafio foi o desenvolvimento da estruturação comercial. Como em todos os outros aspectos, nessa etapa foram focadas as operações de venda que a *spin-off* porventura teria. Através de treinamentos com especialistas na área comercial, foi desenvolvido um funil de vendas, um *playbook* de vendas, entre outras ferramentas comerciais para o desenvolvimento do negócio como um todo.

O processo inicialmente começou com a percepção do valor gerado ao cliente e para tanto foram desenvolvidos os canvas de proposta de valor e o *script* de vendas. A Figura 23 traz o canvas desenvolvido durante o programa.

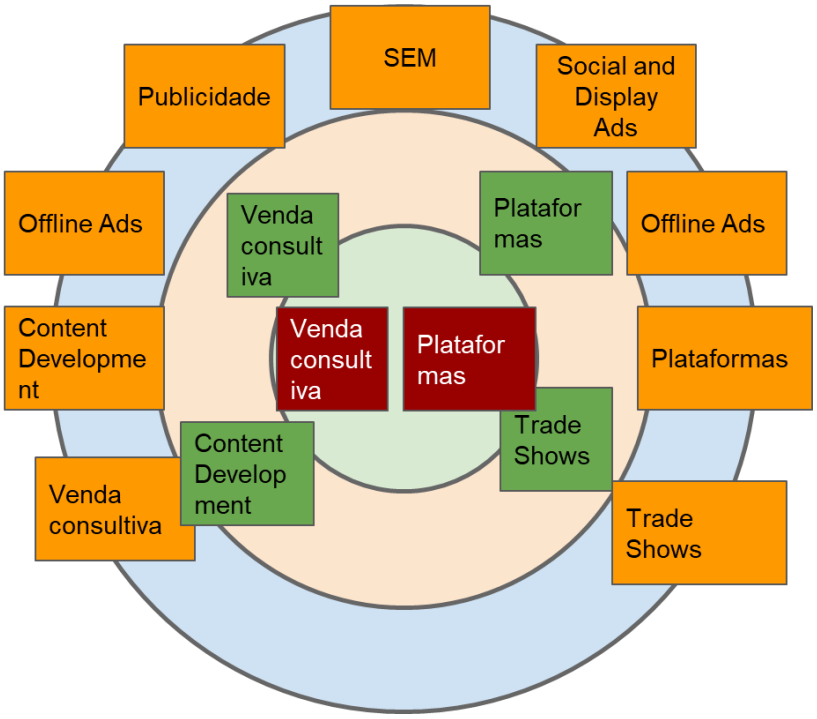
Figura 23 - Canvas de proposta de valor desenvolvido pelo Geeco na fase final do programa MinerAll



Elaborado por Geeco

Além disso foram estudados os canais de comunicação para a Geeco através do *Bullseye Framework*, buscando entender quais as melhores estratégias de comunicação. Na Figura 24 pode ser visto o *framework* desenvolvido.

Figura 24 - Bullseye Framework desenvolvido para a emprese Geeco



Elaborado pela equipe da Geeco

A partir da definição do valor que a *spin-off* gera e os canais de comunicação poderia oferecer, foram definidos o script de vendas e toda a estratégia comercial da empresa, que ficaram registrados no playbook de vendas da Geeco. Além disso, todas as artes, logo e designs foram alterados nessa parte do desafio a fim de desenvolver uma imagem mais concisa e que transmitisse melhor os valores e os objetivos da *spin-off*, na Figura 25 pode ser vista a capa do *pitch* desenvolvido durante essa etapa de desenvolvimento comercial.

Figura 25 - Capa da apresentação comercial da Geeco

Fonte: Próprio Autor

Ao mesmo tempo que todas essas ações sobre o negócio foram desenvolvidas, o desenvolvimento técnico estava acontecendo para garantir que a prova de conceito fosse realizada e que a tecnologia estivesse funcional ao final de 1 ano de desenvolvimento.

6.3. ESTUDO DO MERCADO DE REVESTIMENTOS

Ao final de toda a perspectiva produtiva e do estudo de alguns produtos, os sócios fundadores da Geeco entenderam que os materiais com maior valor agregado eram mais viáveis para os geopolímeros no primeiro momento, visto que alguns insumos dos geopolímeros são destinados a mercados mais nobres e consequentemente são mais caros do que um mercado bem estabelecido e que tem muita disponibilidade de capacidade produtiva como o cimento Portland. Os pisos intertravados não apresentaram viabilidade economica, apesar disso, o segundo produto explorado, os revestimentos cimentícios, eram viáveis. Por esse motivo foi realizado um estudo do mercado de revestimentos cimentícios especificamente.

Dentro da perspectiva deste mercado é comum que surjam novas tecnologias, materiais, texturas, ampliando a possibilidade do mercado de se desenvolver materiais cada vez mais versáteis e que possibilitem mais usos.

A produção nacional de revestimentos cimentícios para parede gira em torno de 225.000 m2/mês, e a de revestimentos cimentícios para pisos, em torno de 300.000 m2/mês, é interessante notar que o mercado vem tem aumentos expressivos nos últimos anos, no ano de 2020 o crescimento estimado foi de 12% e a demanda continua crescendo, motivado principalmente pelo apelo do aconchego do lar, pessoas em casa e com a nova dinâmica do mercado pós-pandemia, em geral, motiva a compra de revestimentos personalizados (SEBRAE, 2017).

As empresas que se caracterizam por revestimentos para paredes são a maioria entre os players deste segmento que, atuam no conceito de revestimento para acabamento, com tendência para os revestimentos 3D. De toda a produção, 75% vai para a classe A e apenas 25% da produção para as classes econômicas B e C, fazendo deste mercado um negócio nichado em um mercado mais elitizado. O mercado de revestimentos cimentícios movimenta sozinho cerca de R$ 500 milhões/ano no Brasil. Em termos de mix de produção, o que irá determinar se a empresa irá atuar somente com parede ou somente com piso ou com ambas as configurações, é a capacidade de especialização no trato com o cimento, considerando que o traço do produto é um elemento complexo e determinante da qualidade (SEBRAE, 2017).

As empresas deste segmento se diferenciam por peças com elementos de design, espessura fina, uma capacidade destacada em estudos da massa, itens bem gabaritados em termos dimensionais, pré-impermeabilização oriunda de fábrica, uma oferta sistemática de trocas e assistência técnica, além

de boa durabilidade superfícial, resistência ao manchamento e atérmicidade que se destacam como características desejáveis e diferenciais. O giro dos cimentícios no ponto de venda é baixo, sendo produzido por encomenda, um dado interessante é que uma única empresa de porcelanatos, líder nacional, é capaz de produzir quase 4 vezes mais do que todos os players de cimentícios juntos, chegando a atingir 840.000 m^2/mês para revestimento de paredes (SEBRAE, 2017).

Do ponto de vista de produção, os investimentos são baixos, com uma perspectiva de retorno relativamente rápida, com uma produção pequena do ponto de vista do geopolímero para o mercado de revestimentos, uma empresa que pretenda produzir 2500 m^2/mês, consegue atingir esta meta de produção com apenas um turno de 8 horas, não havendo a necessidade de se manter nenhum equipamento em operação 24h x 7 dias.

Dentre os principais equipamentos necessários para operar uma boa fábrica neste segmento estão: misturador planetário para girar massa, moldes bem gabaritados e resistentes, mesa de vibração para moldes e/ou vibroprensagem. O investimento em uma fábrica de pequeno porte, com cerca de 10 colaboradores na produção e 5 no administrativo, pode ser estimado em cerca de R$ 750.000,00 com um *payback* de aproximadamente 3 anos.

6.3.1. PREÇOS PRATICADOS DO MERCADO

Os preços dos revestimentos cimentícios de 12 empresas pesquisadas variam de R$ 45 a R$ 315 por m^2. O motivo dos altos preços para algumas placas está diretamente relacionado a necessidade de importação do cimento branco, que em alguns casos vem da Túrquia, além do processo de produção e tratamento artesanal e aspectos de design com as placas que acaba encarecendo o processo.

Do ponto de vista do geopolímero, o preço das placas geopoliméricas focadas no mercado de revestimentos cimentícios teriam custo de insumos em torno de R$ 26 e custo médio após todos os processos, acabada para o cliente em cerca de R$ 90 na sua cor base, cinza ou branco. Esses valores foram obtidos de maneira prática tendo como base os resultados colhidos durante o desenvolvimento da prova de conceito.

Uma observação interessante é que durante a realização deste estudo, afunilamento de mercado e da proposta de desenvolvimento da planta piloto e da realização da prova de conceito, todo o conceito de projeção financeira que tinha sido prevista durante a terceira etapa do programa foi prevista, visto que vários processos que tinham sido imaginados quando focados nesse mercado tem

um caráter mais artesanal e uma produção muito menor, sendo um negócio que preza pela qualidade e design ao invés da quantidade de giro de produto.

A Geeco avaliou que para a atual situação da empresa e condizendo com todo o pensamento que foi construído ao longo do programa, era melhor se especializar em um nicho onde o geopolímero tem um diferencial claro e uma proposta de valor mais forte.

Como abordado anteriormente, o mercado de revestimentos cimentícios geralmente é movimentado pela Classe A da sociedade, e a principal vitrine para que seja possível a visibilidade no mercado é nas feiras de mostra nacionais e internacionais, dentre as quais se destacam a Casa Cor e a Expo Revestir, a maior parte das empresas pesquisadas neste setor tem o range logístico para atendimento a nível nacional, tendo uma parcela das empresas com capacidade de exportação da produção.

Os produtos são muito variados nesse mercado, onde foram possíveis encontrar placas com os mais diversos modelos e tamanhos, variando de placas de 20 x 20 cm até placas de 150 x 150 cm. Com espessura média que varia entre 1,5 e 3 cm. As empresas nesse setor estão sempre se movimentando para trazer inovações e estão em busca de materiais sustentáveis e substitutos de seus insumos importados. Com o geopolímero, é possível entregar para os clientes um produto alternativo, versátil, com inclusão de rejeito de minério de ferro e com custo competitivo incorporando às empresas que buscam um mercado de novas tendências, novas tecnologias e que valorizam o meio ambiente. Como um diferencial, as empresas que aderirem a tecnologia Geeco poderão atender a requisitos para adquirir selos ou rótulos ambientais que demostra a credibilidade dos avanços ambientais em seus produtos para seusclientes e outros.

6.3.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O MERCADO DE REVESTIMENTOS CIMENTÍCIOS

Além de valorar rejeitos e reduzir custos, os geopolímeros são materiais novos no mercado brasileiro de maneira geral e que possuem potencial de aplicação do rejeito da maioria das atividades extrativistas minerais e beneficiamentos siderúrgicos em sua constituição e o uso de outros insumos antes não aproveitados, se tornando ainda mais barato e viável o seu uso neste segmento em específico. O objetivo principal das considerações sobre o mercado de revestimentos é conhecer o mercado e desenvolver a partir disso, definir estratégias de entrada.

De maneira geral existem poucas empresas nesse mercado, demonstrando uma possibilidade de entrada, quando comparado com o setor de revestimentos cerâmicos (RDV, 2022). Da conversa com as empresas pesquisadas foi possível tirar que geralmente os clientes desse tipo de produto são: boutiques de revestimentos, homecenters ou mesmo o cliente final.

Existem várias empresas que podem disponibilizar insumos para geopolímero, tendo um poder de barganha reduzido, mesmo se comparado ao poder de barganha equilibrado do mercado do cimento, que dispõe de vários fornecedores. O fato de a matéria-prima ser acessível e o processo simples relativamente simples com custo de equipamentos razoável faz com que novos concorrentes possam surgir a qualquer momento. As barreiras de entrada razoáveis de se considerar são: a qualidade do traço, excelência em nível de serviço e suporte técnico, expertise no tratamento da massa. no momento, o revestimento cimentício a base de geopolímeros é o produto substituto de outros materiais de revestimento, como madeiras, cerâmicas, rochas naturais e outros tipos (SEBRAE, 2017).

Análise SWOT

A SWOT, também conhecida como FOFA, consiste em uma matriz com análise do ambiente interno (forças e fraquezas) e externo (oportunidades e ameaças). Dessa forma, é possível analisar fatores associados a esse mercado, a fim de traçar estratégias que impactam na competitividade das empresas, no Quadro 4 é possível visualizar a matriz SWOT desenvolvida.

Quadro 4 - Matriz SWOT para o geopolímero no mercado de revestimentos cimentícios

Forças	Fraquezas
• Produto com alta versatilidade; • Alta resistência e durabilidade; • Maior resistência térmica.	• Produto com preço por m² ainda alto; • Geopolímero ainda não é muito conhecido no mercado;
Ameaças	**Oportunidades**
• Revestimentos 3D em materiais alternativos (AAC); • Cerâmicas mais versáteis; • Melhoria em aspectos como durabilidade e resistência.	• Crescimento do mercado em 2021 e aquecimento do mercado de construção e imobiliário. • Pessoas buscam espaços mais aconchegantes e personalizados devido ao trabalho remoto.

Fonte: Elaborado pela Geeco

6.4. PROVA DE CONCEITO DESAFIO MINERALL

Efetivamente, a prova de conceito em ambiente relevante do desafio MinerAll foi realizada posteriormente a todas as outras etapas de desenvolvimento técnico e validação em escalas menores do produto (protótipos), essa fase de teste em ambiente relevante ocorreu após a fase de escalonamento e *go-to-market*. Além do desenvolvimento do negócio, a Geeco tinha uma tecnologia que precisava ser testada em diversos aspectos para validar a sua eficiência e desempenho frente aos produtos que pretendiam ser desenvolvidos. Para isso, o geopolímero e a execução das etapas de engenharia e de processo produtivo foram testados em escalas, partindo da bancada, até um teste industrial que foi realizado com uma empresa parceira.

O processo começou com o desenvolvimento da tecnologia ainda em laboratório e do entendimento dos componentes que estavam relacionados à tecnologia de geopolímeros, seus insumos. Para o desenvolvimento da Geeco, foram explorados diversos insumos diferentes, porém optou-se por trabalhar com insumos comerciais, uma vez que num futuro próximo, seria necessário adquirir quantidades muito grandes de material para realizar a prova de conceito com o parceiro.

Ficou determinado que a Geeco faria três provas de conceito com características produtivas e focos de aplicação diferentes, esses testes são:

- Piso geopolimérico padrão 50 x 50 cm para aplicação externa texturizado;
- Piso intertravado geopolimérico padrão 10 x 20 x 6 cm para aplicação em pavimentos de alto tráfego > 50 MPa;
- Peças de artesanato com formatos e cores diversas para trabalho com a população, contudo essa não foi realizada devido a pandemia de Covid-19.

Cada uma dessas frentes seguiu características específicas de trabalho e serão apresentadas individualmente.

6.4.1. PISO GEOPOLIMÉRICO

Todos os materiais seguiram uma lógica de preparação semelhante com algumas alterações, a principal alteração neste caso é que foram feitas algumas modificações na proporção de água e processo de desmolde e tratamento das placas para evitar problemas com retração e consequentemente com empenamento das placas. As etapas para esse material foram confecção de placas 20 x 20 cm sem rejeito, depois 10 x 20 cm com rejeito, depois testes com placas 50 x 50 com rejeito, para depois testar as placas 50 x 50 cm com texturização e acabamento para aplicação.

As placas foram feitas utilizando a medida de 20 x 20 cm inicialmente sem rejeito e aplicadas em uma área dentro da UFMG (Figura 26), as placas de 20 x 20 cm foram observadas durante alguns meses antes da realização da prova de conceito da Samarco.

Figura 26 - Placas após o desmolde x Placas após 6 meses de aplicação

Fonte: Próprio Autor

As placas sem agregado apresentaram como descrito no teste anterior uma absorção de água muito grande, o que é demonstrado pela coloração escura adquirida pelas placas ao serem molhadas, como pode ser visto em algumas placas na Figura 26. A partir desses dados e de toda a gestão de risco do projeto, foram traçadas ações para reduzir a absorção de água das placas e evitar que possíveis patologias acontecessem, isso corrobora com o resultado da microestrutura apresentado anteriormente, onde é possível visualizar várias microfissuras em nível micrométrico no material, fazendo com que a absorção de água fosse consideravelmente alto, contudo neste ponto do desenvolvimento já não houve empenamento das placas, o que foi um avanço que dentro da gestão de risco foi o passo que era necessário para avançar.

Após essa formulação e aplicação desse material, foram desenvolvidas mais placas, agora com o foco em acrescentar rejeitos para melhoria das propriedades de absorção de água que foram utilizadas na prova de conceito, com a adição de rejeito a absorção de água ficou em torno de 9% além disso foi feito um teste de adição de lama de minério de ferro como material de pigmento, Figura 27.

Figura 27 - Placas com adição de rejeito de minério de ferro recém moldadas

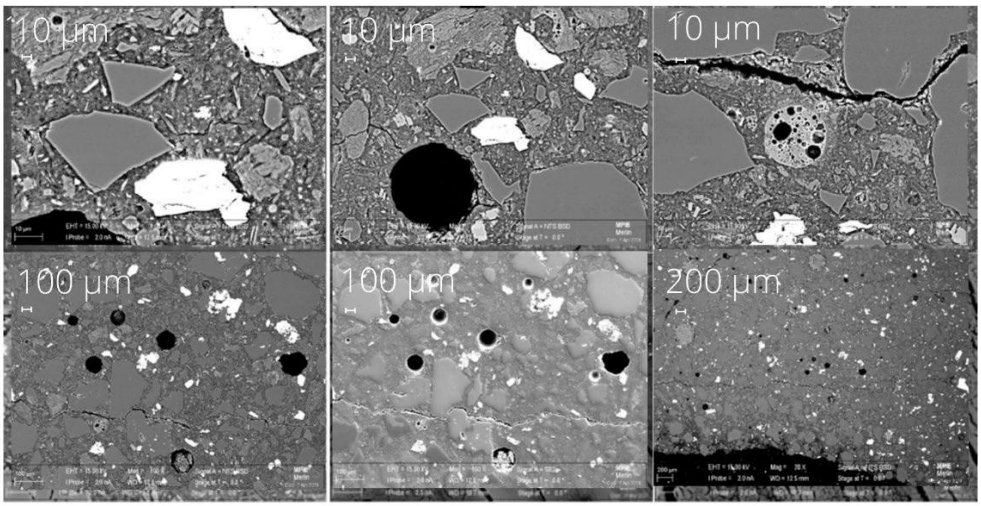
Fonte: Próprio Autor

Um fato interessante é que ao adicionar o rejeito de minério de ferro e apenas 1% de lama as placas ganham um aspecto bem amarronzado quando estão molhadas e quando estão secas tem um aspecto mais voltado para o cinza-amarronzado. Contudo essas placas apresentavam absorção de água muito menor que os 14% que eram obtidos na matriz, muito disso foi em decorrência da modificação da microestrutura do material.

Microestrutura do material geopolimérico com adição de rejeito

Para verificar as diferenças entre a matriz inicial do material e a matriz adicionada de rejeito, foram feitas as mesmas análises que foram realizadas para a matriz 0/0 utilizada para essa pesquisa. Na Figura 28 é possível ver as microscopias do material adicionado de rejeito de minério de ferro.

Figura 28 - Microscopia do geopolímero utilizado para confecção das placas

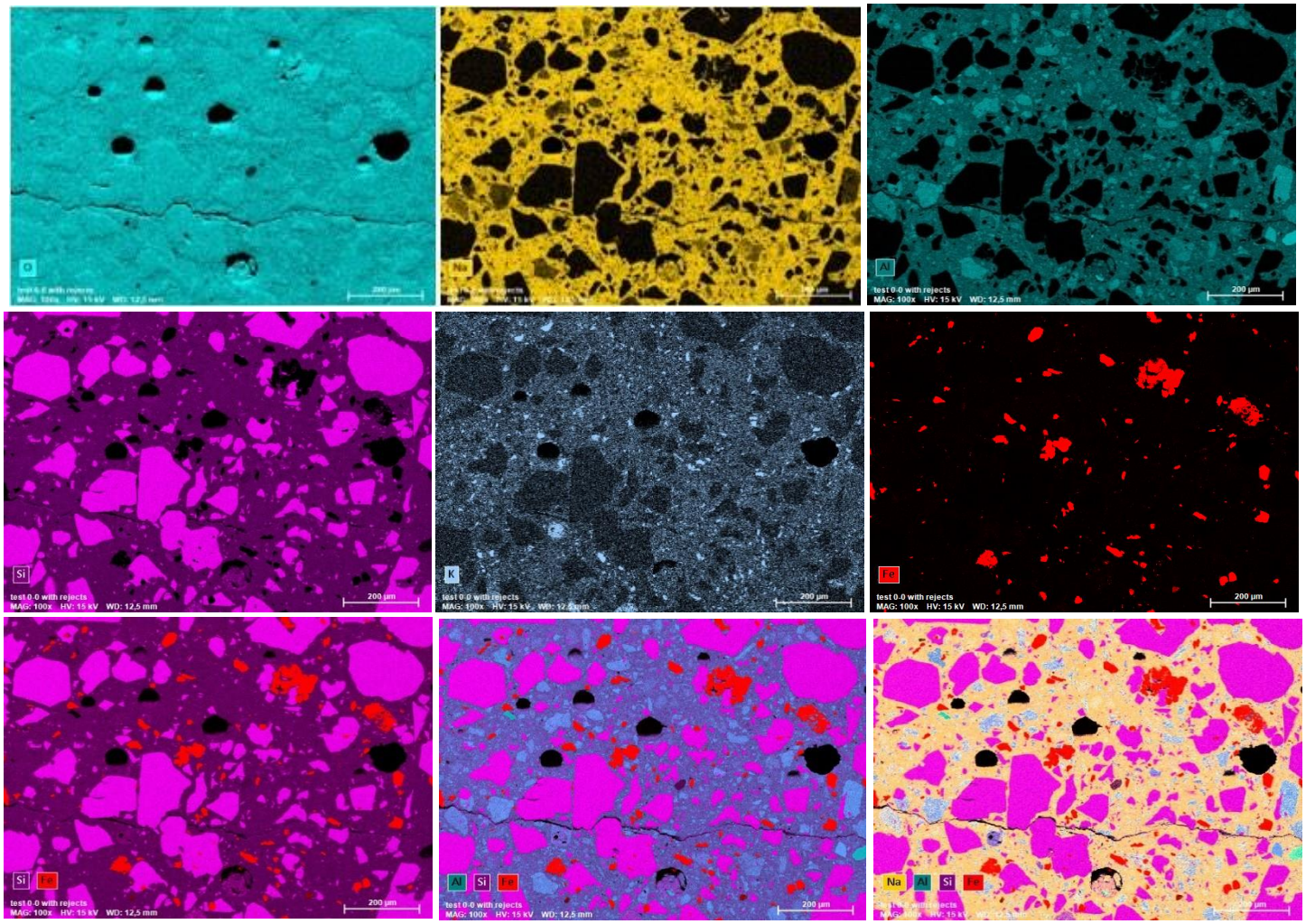


Fonte: Próprio Autor

É possível verificar que a maior parte da microfissuração não ocorreu, na presença do rejeito, e que o material ficou mais denso e com aspecto mais cristalino devido, principalmente, ao aumento da quantidade de cristais de quartzo presentes no material, que fazia composição de 50% do material. Contudo o material ainda apresentou porosidade interna, o que pode ter contribuído para manter a absorção de água próxima de 9% e a resistência não ter sido ainda maior que o valor obtido.

Além disso, foi feito uma medida por espectroscopia de raios X com dispersão de energia para verificar a interação dos elementos dentro da matriz do material geopolimérico com rejeitos de minério de ferro, que estão apresentados na Figura 29.

Figura 29 - EDS da amostra geopolimérica com adição de rejeitos da mineração de ferro



Fonte: Próprio Autor

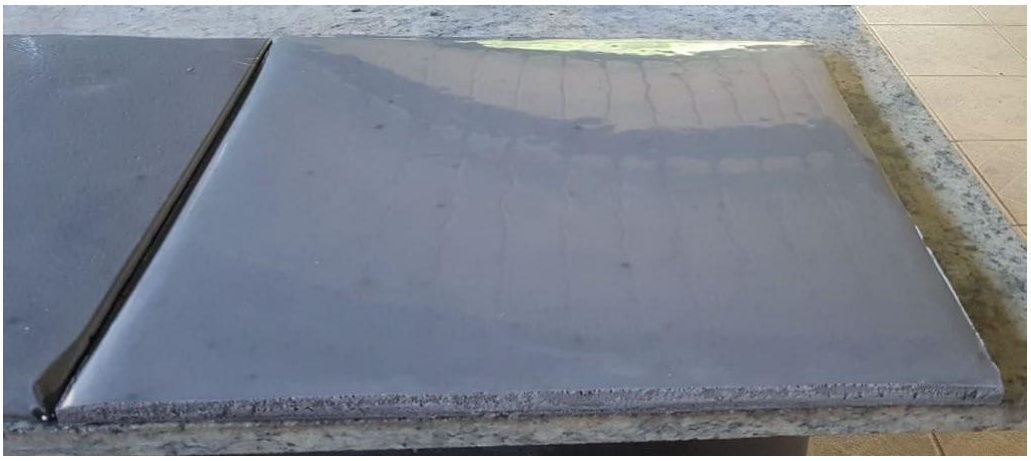
Foi possível verificar que o material apresenta uma matriz dispersa, rica em sódio, alumínio e silício principalmente, a análise do ferro demonstra que o ferro presente na forma de óxidos não apresenta interação com o restante da matriz, apresentando ainda alta cristalinidade e grãos muito bem formados e dispersos na matriz, demonstrando também que existe uma parcela do silício que

está bem dispersa na matriz e que reagiu dentro da formulação geopolimérica, mas que o quartzo presente no rejeito também possui alta cristalinidade e baixa reatividade com a matriz.

Escalonamento da produção de placas geopoliméricas

Em paralelo a essas análises estava sendo estudado o aumento do tamanho das placas pois a proposta era fazer a confecção de placas que tivessem 50 x 50 cm (Figura 30). Um aspecto interessante é que para as placas de 50 x 50 cm já foi utilizada uma técnica de acabamento que permitia um brilho espelhado sem a necessidade de aplicação de resinas ou vernizes.

Figura 30 - Primeiro protótipo da placa de 50 x 50 cm da formulação 0/0 com adição de rejeito



Fonte: Próprio Autor

Durante todo o processo de criação e aumento de escala desse material, foi feita a gestão de risco, tanto da produção como do processo e da tecnologia em si, sob supervisão dos especialistas que estavam acompanhando o processo em parceria com a Samarco. Foi desenvolvido uma lista de potenciais riscos e ações para mitigar cada um desses riscos e todo o processo que foi seguido teve como base a minimização dos riscos envolvidos para a realização dos testes em ambiente relevante,a matriz de gestão de risco foi classificada entre três classes de risco principal: baixo, médio e alto impacto e para cada um desses problemas foi feita uma tratativa para assumir, mitigar ou evitar o risco ao máximo, disponível no Quadro 5.

Quadro 5 - Matriz de Risco x Ação para as provas de conceito realizadas

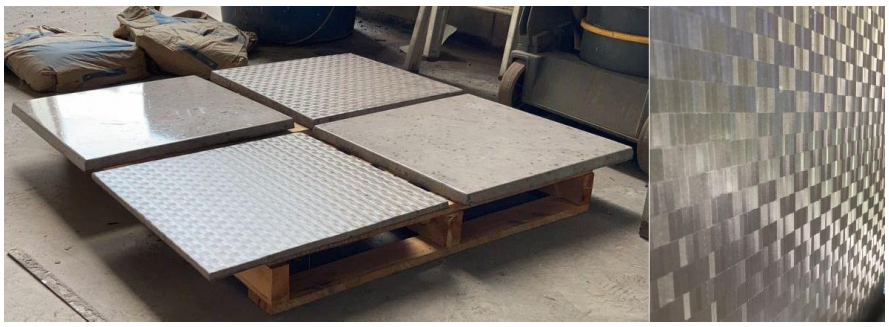
RISCOS DA POC	PROBABILIDADE	IMPACTO	CLASSE	AÇÃO
Defeito de equipamento	Pouco Provável	Substancial		Caso primeiro misturador falhe, já temos um fornecedor de misturador de prontidão para aluguel e substituição da misturador com defeito, além disso, em último caso, seria possível fazer a mistura com redução de escala e de forma manual, apesar de não ser indicado.
Quebra de equipamento	Pouco Provável	Intolerável		Caso primeiro misturador quebre, já temos um fornecedor de misturador de prontidão para aluguel e substituição da misturador com defeito, além disso, em último caso, seria possível fazer a mistura com redução de escala e de forma manual, apesar de não ser indicado.
Não atingir parâmetros de qualidade	Pouco Provável	Substancial		Antes de todas as bateladas de produção, testes de qualidade são executados e após a produção também para assegurar, em caso de não atendimento, repetição da batelada com as correções necessárias.
Contaminação do produto	Dificilmente	Tolerável		
Problema na qualidade dos insumos	Pouco Provável	Substancial		Lista de potenciais fornecedores e corpo técnico capaz de recalcular formulações com base na qualidade dos insumos e mesmo assim assegurar qualidade mínima dos produtos
Samarco não disponibilizar rejeito em tempo hábil	Pouco Provável	Tolerável		Disponibilidade de rejeito no laboratório, suficiente para realizar parcialmente a POC e para adiantar a produção enquanto os trâmites do rejeito fornecido pela Samarco estiver andando.
Necessidade de compra de insumos inesperados	Eventualmente	Trivial		
Doenças sócios	Eventualmente	Substancial		Devido ao cenário, escala de produção pensada nisso, desenvolvimento de um manual de produção de geopolímeros que será utilizado em caso de substituição temporária de mão de obra e pessoas já acionadas e de prontidão para produção, parte do recurso dos sócios será alocado para isso caso necessário
Morte de familiar próximo (funcionários)	Pouco Provável	Tolerável		Aceitar diminuição de produção e em caso de afastamento prolongado, seguir o processo de "Doença Sócios"
Falta de energia	Eventualmente	Intolerável		Cronograma de manutenção da CEMIG acompanhado e da previsão do tempo também, garantindo que as produções sejam feitas de forma planejada fora desses cenários
Falta de água	Dificilmente	Tolerável		
Fechamento de rodovia	Pouco Provável	Moderado		Busca de outras rotas e acompanhamento das notificações de trânsito para verificar possíveis fechamentos de rodovia
Greves e/ou manifestações	Dificilmente	Substancial		
Condições Climáticas Desfavoráveis	Quase certo	Tolerável		Adequação de formulação e produção baseado na condição climática, evitar produções em tempo de chuva forte
Atraso no serviço de terceiros	Eventualmente	Moderado		Cronograma pensado com margens para eventuais atrasos no serviço de terceiros
Atraso no recebimento de insumos	Quase certo	Moderado		Solicitação de insumos feita com bastante antecedencia a produção e cronograma pensado para atrasos de recebimento
Não encontrar ponto de estoque	Dificilmente	Trivial		
Funcionário contratado não ir	Pouco Provável	Tolerável		Mais de uma pessoa contatada e disponível para prestação de serviço
Quebras de transporte	Pouco Provável	Moderado		Produção de placas excedentes para eventuais substituições por avarias de transporte
Impedimento de aplicações	Pouco Provável	Intolerável		Disponibilidade de outros locais para aplicação, parâmetros de medição flexiveis a diversos cenários.

Fonte: Próprio Autor

Durante a execução das POC's a equipe da Geeco continuou os testes acerca das propriedades do geopolímero no laboratório parceiro da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) localizado em Pedro Leopoldo. A execução das POC's contou com algumas alterações no escopo, sob recomendação da equipe Samarco, porém correu tudo conforme o esperado apesar de alguns pequenos atrasos no recebimento de materiais e desenvolvimento das peças em virtude da pandemia de Covid-19.

A produção foi feita inteiramente pela equipe da Geeco, utilizando como maquinários, um misturador de argamassa tipo ANVI 120 com capacidade para 160 kg de mistura por batelada, uma mesa vibratória para artefatos de concreto com tamanho de 2 x 1 m, formas metálicas de aço inox e o material geopolimérico, sendo um processo simples, que não necessitou de acabamento. As placas produzidas estão dispostas na Figura 31 sendo possível observar os aspectos de texturização do material.

Figura 31 - Placas geopoliméricas e texturização produzidas para a POC



Fonte: Próprio Autor

As placas foram aplicadas em frente a uma casa que também foi construída com material a base de rejeito de mineração de ferro que está localizada no laboratório de Pedro Leopoldo (Figura 33). Dentro do processo de produção foi feita toda aplicação do contrapiso e aplicação das placas (Figura 32).

Figura 32 - Aplicação das placas geopoliméricas produzidas

Fonte: Próprio Autor

Figura 33 - Área da casa onde foram aplicadas as placas: (a) - Sem aplicação do piso; (b) - Com aplicação do piso; (c) – Piso aplicado de outro ângulo

(a)

(b)

(c)

Fonte: Próprio Autor

6.4.2. BLOCOS INTERTRAVADOS

Além desse material, foi realizada a confecção de blocos intertravados do tipo paver para testar o seu desempenho como produto também, os blocos foram confeccionados em parceria com uma empresa da região de Pedro Leopoldo, a Unistein, que além de ter cedido a equipe e maquinário para realização do teste industrial (Figura 34), ainda fez a caracterização do material segundo a normatização vigente para pavimentação intertravada. Na Figura 35 é possível visualizar os produtos desenvolvidos.

Figura 34 - Maquinário utilizado para a confecção dos blocos intertravados

Fonte: Próprio Autor

Figura 35 - Blocos intertravados desenvolvidos

Fonte: Próprio Autor

Para a normatização de blocos intertravados, a ABNT NBR 9781, são determinados 3 parâmetros principais do ponto de vista de desempenho do material, absorção de água, resistência a compressão e resistência a abrasão. Durante o período de teste na Unistein, foram realizadas as análises de resistência a compressão e absorção de água. Foram desenvolvidos traços para as faixas de resistência média exigida pelo material, esses foram para 35 MPa, 50 MPa e 20 MPa drenante, os blocos de 35 MPa são desenvolvidos para baixo tráfego, os de 50 MPa para alto tráfego ou tráfego pesado e os drenantes são aplicados preferencial em locais que não necessitam de tanta solicitação mecânica, como calçadas e que tenham o foco na contribuição da diminuição da retenção de água nas ruas, gerando um piso permeável, que pode ser visto na Figura 36.

Figura 36 - Piso drenante desenvolvido a partir do material geopolimérico

Fonte: Próprio Autor

Os testes que foram conduzidos em parceria com a Unistein foram desenvolvidos com os pisos intertravados de classe de 50 MPa que era o alvo de estudo do material geopolimérico, por ter a maior necessidade de solicitação mecânica e o objetivo do geopolímero de ser um material de alto desempenho. Na figura 37 podem ser observados os resultados consolidados dos testes que foram realizados para o material com 1, 7, 28 e 365 dias para resistência mecânica e foi realizado também o teste de absorção de água do material (Quadro 6). A absorção de água dos corpos se manteve constante ao longo do tempo e ficou em torno de 5,78%, os blocos desenvolvidos tinham inclusão de 70% de rejeito arenoso.

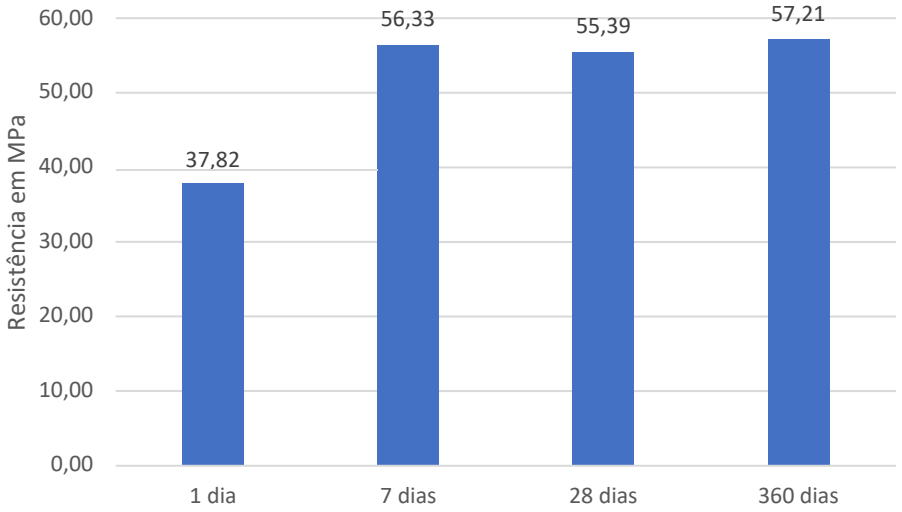
Quadro 6 - Média da absorção de água obtida nos testes de imersão após secagem em estufa

Teste	Absorção de água
CP 1	4,75%
CP 2	6,23%
CP 3	5,74%
CP 4	5,35%
CP 5	5,61%
Média	5,54%

Fonte: Próprio autor

O fato de a média de absorção de água ter diminuído em relação a matriz desenvolvida durante a pesquisa, que apresentou absorção de água superior a 10%, indica que a compressão sofrida pelos blocos intertravados no seu processo de moldagem favoreceram uma melhor compactação e garantiram, possivelmente, uma menor porosidade.

Figura 37 - Gráfico de resistência a compressão dos pisos intertravados para as idades avaliadas

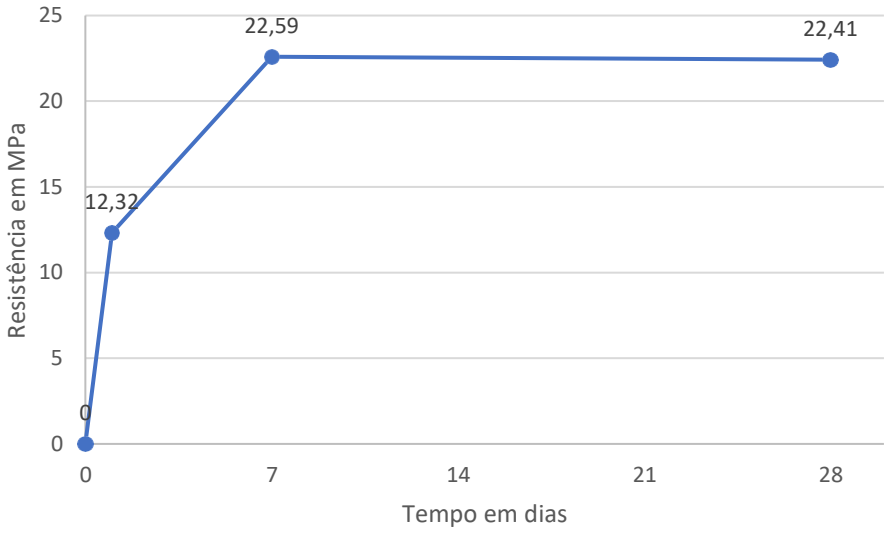


Fonte: Próprio autor

A média de resistência dos corpos com 7 dias já era superior ao requisitado pela norma para o tipo de pavimento desenvolvido > 50 MPa (Figura 37), além disso é possível verificar que após 1 ano, os pavimentos desenvolvidos ainda mantinham sua média de resistência, o que demonstra boa estabilidade para o processo e para os pisos conformados para o teste.

O piso drenante foi avaliado apenas em idades mais jovens, tendo sido avaliado apenas até os 28 dias de cura, porém também apresentou boa estabilidade e atendeu os parâmetros mínimos para comercialização, que é a resistência a compressão mínima de 20 MPa, os resultados obtidos pelo piso drenante geopolimérico podem ser visualizados na Figura 38.

Figura 38 - Gráfico da resistência a compressão para os pisos drenantes desenvolvidos nas idades avaliadas



Fonte: Próprio Autor

6.5. TRAJETÓRIA DE CRIAÇÃO DA *SPIN-OFF* GEECO

De maneira descritiva, todas as etapas vividas até a consolidação da Geeco estão apresentadas textualmente nas seções anteriores deste trabalho, contudo para uma visualização mais clara, a Figura 39 traz toda a trajetória da Geeco com os pontos mais importantes vividos pela spin-off em cada uma de suas fases.

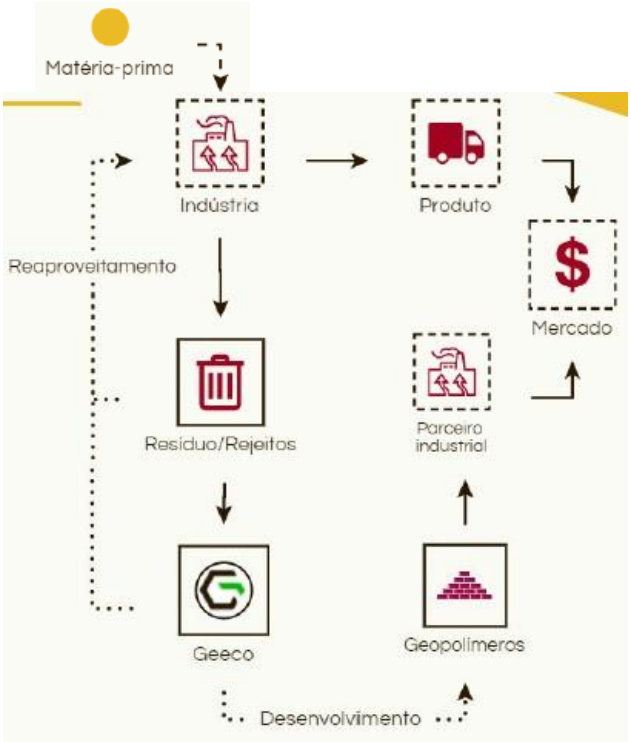
Figura 39 - Linha temporal da trajetória Geeco

Fonte: Próprio Autor

Após todo esse trabalho do Desafio MinerALL e acompanhamento das provas de conceito, foi possível aprender muito com o processo de trabalho de desenvolvimento de materiais geopoliméricos e, principalmente, de demanda de mercado e de oportunidades. Dentro do processo vivido, a Geeco chegou à conclusão de que o processo oferecido poderia seguir duas rotas, uma de determinação de aplicações dos materiais gerados para insumos e processos que porventura fossem do ponto de vista de desenvolvimento dos materiais geopoliméricos e, principalmente, da estruturação da *spin-off* como um todo.

Vistos os custos atrelados a instalação de uma planta produtiva e fazendo utilização do risco atrelado a esse tipo de empreendimento, a Geeco optou por seguir um processo de *bootstrapping*, segundo Freear, Sohl e Wetzel (1995), esse financiamento é definido como uma "forma altamente criativas de adquirir recursos sem tomar dinheiro emprestado ou levantar financiamento de capital de fontes tradicionais", ou ainda Bhide (1992) refere-se ao financiamento *bootstrap* como o financiamento de empreendimentos com recursos pessoais modestos, não havendo aporte de fontes externas tradicionais. No caso da Geeco, estruturou-se uma operação onde o recurso necessário para as operações vieram totalmente da venda de projetos, sem aporte de capital de giro inicial e investimentos altos em Capex e Opex, num processo de desenvolvimento de projetos como o que está apresentado na Figura 40.

Figura 40 - Processo de trabalho da Geeco atualmente



Fonte: Próprio Autor

Durante todo esse processo vivido até chegar ao modelo de negócio mais atual, o motivo pelo qual a Geeco se estruturou ativamente foi a forte necessidade de resposta que o mercado necessitava,

velocidade e principalmente, planejamentos e processos mais organizados dentro da empresa e para fora da empresa. Vários desses pontos foram sendo amadurecidos a partir desse processo vivido durante toda a trajetória da Geeco, o autor, teve várias experiências e amargou erros por falta de gestão estratégica, estratégia de marketing e gestão de negócios, que eram fatores que a Geeco como um todos, em seus sócios, apesar de muito bons tecnicamente, careciam de *know-how*.

Contudo, de maneira prática e alinhados às mentorias do programa vivido e das experiências externas e convivência com o meio da inovação e da universidade, essa maturidade surgindo e com isso, os resultados tem se tornado mais visíveis. Já são práticas recorrentes dentro da Geeco, alinhamentos do setor comercial e da estratégia de comunicação e comercial da spin-off, reuniões de planejamento financeiro e de validação frequente do modelo de negócio, reunião de projetos e suprimentos. As estratégias elaboradas para cada uma dessas áreas eram fundamentais para definir a função de cada um dentro da empresa e para atribuir as atividades chave e principais de cada um dos membros da empresa. Desses conceitos foram desenvolvidos o planejamento estratégico da Geeco a longo prazo e para curto prazo e a partir disso tem sido um processo de aprendizado diária a vivência com a inovação voltada para o mercado.

6.6. PROJETOS ATUAIS DA GEECO

Após a realização dos testes em ambiente relevante e alinhado ao desenvolvimento do modelo de negócios e estruturação da empresa, a Geeco começou a prospectar projetos na área de desenvolvimento de materiais geopoliméricos. No Quadro 7 é possível verificar alguns dos projetos da Geeco.

Quadro 7 - Resumo dos projetos atuais da Geeco e seus status

Projeto	Resumo	Status
Acelera Rio Doce	O projeto tem como objetivo o desenvolvimento de artesãos através de aspectos de arte, design, cultura, empreendedorismo e a tecnologia de geopolímeros para gerar peças de artesanato autoral que seja capaz de gerar renda, valor social e tenha potencial de atingir o mundo com a arte desenvolvida.	Em execução
Marcos Caminho de São Jose	Desenvolvimento de Marcos para um Caminho histórico da Região de Rio Doce/MG a base de geopolímero e rejeitos de minério de ferro da região.	Submetido a prefeitura de Rio Doce
Pisos para Rio Doce	Desenvolvimento de Pisos intertravados personalizados para a aplicar numa área de eventos da cidade de Rio Doce/MG, os pisos foram desenvolvidos com o brasão da cidade e aspectos exclusivos, totalmente a base de geopolímeros.	Submetido a prefeitura de Rio Doce
Nexa - Fase 2	Desenvolvimento de um material geopolimérico exclusivo e direcionado para a utilização do rejeito de beneficiamento de zinco, para posteriormente direcionar esse material para o mercado da construção civil de interesse da mineradora, com foco na segurança de utilização do material, desempenho final e custo-benefício	Em execução

Omniwix	Co-desenvolvimento de argamassas geopoliméricas para impressão 3D a partir de diferentes fontes de resíduos industriais	Em execução
MRN	Estudo e utilização do rejeito de alumínio para confecção de materiais geopoliméricos que utilizem quantidades elevadas de coprodutos gerados pela mineradora, com foco no desenvolvimento de uma prova de conceito utilizando esse material e posterior aplicação na mineradora para uso interno.	Em execução
Arcelor	Estudo, caracterização e desenvolvimento de soluções geopoliméricas a base de coprodutos da cadeia da siderurgia focados na complementariedade dos materiais e destinação correta dos coprodutos gerados pela empresa.	Em execução
Deca	Aplicação do rejeito cerâmico para geração de novos produtos de base geopolimérica para a empresa.	Em execução

Fonte: Próprio Autor

6.7. PROPOSTA DE MODELO DE DESENVOLVIMENTO DE *SPIN-OFF* ACADÊMICA DA ÁREA DE GEOPOLÍMEROS

Após todo o desenvolvimento e aprendizado adquirido durante o processo de construção da *spin-off* acadêmica Geeco, sugere-se aqui um possível caminho para o desenvolvimento de uma *spin-off* a partir de projetos da academia. Na Figura 41 é possível visualizar a proposta de modelo desenvolvido a partir da experiência adquirida com este trabalho.

É possível definir o processo em 5 etapas principais, que estão dispostas na Figura 41, contudo é importante ressaltar que ao iniciar esse projeto tinha como caracteríticas:

- Equipe de estudantes sem conhecimento técnico da tecnologia e do processo em questão;
- Tinha uma tecnologia insipiente;
- Não possuia um produto, nem o mercado definido;
- Não tinha nenhum modelo de negócios;
- Tinha pouquíssima experiência com empreendedorismo;
- Tinham pouca ou nenhuma experiência com pesquisa.

E a partir desse processo vivido, hoje tem uma *spin-off* estabelecida e iniciando faturamento, com perspectiva de crescimento. Ficou definido que as pessoas eram fundamentais para o sucesso da *spin-off* e quanto mais cedo isso for estabelecido, maior a chance de sucesso da *spin-off*. Outro ponto de sucesso é a pesquisa da SOA estar muito bem consolidada e que, preferencialmente, o desenvolvedor da tecnologia fizesse parte ativa do time, mesmo que como consultor, visto que várias adaptações técnicas são muito mais rápidas e possíveis com essa pessoa no time. Essa necessidade de modificação intensa é acentuada em SOAs mais jovens, sendo ainda mais relevante

a participação dos idealizadores da pesquisa em posição ativa na empresa.

Foi fundamental ter pessoas com boa capacidade comunicativa, facilidade de aprendizagem, e que conseguiam trabalhar sob pressão, tendo alinhamento de expectativas, principalmente considerando que eram necessárias que as coisas fossem desenvolvidas de maneira acelerada e que passavam por modificações constantes.

A gestão da empresa deve ser estabelecida o mais breve possível e divisão das responsabilidades de trabalho também, cada membro deve saber o seu papel e deve ter o seu dever dentro da empresa, isso direciona as ações que forem geradas e garante que todos os pontos sejam verificados, para garantir que os pilares do negócio estejam em constante evolução.

Para *spin-offs* nascentes é fundamental que se tenha um enfoque na propriedade intelectual, de captação de recursos e comercial e gestão muito bem definidas, para evitar problemas com as instituições mães e para garantir a sustentabilidade do negócio, visto que é importante que todos os termos e que tudo seja transparente entre as instituições para evitar disputas jurídicas e problemas internos que podem vir a inviabilizar a empresa, entenda muito bem como é a política de inovação e de propriedade intelectual da sua instituição mãe.

O escalonamento deve ser controlado e de preferência passar por pelo menos 3 etapas de escalonamento: teste em laboratório, teste em maior escala em laboratório, teste piloto do material desenvolvido. Quanto mais cedo o desenvolvimento for realizado pensando em facilitar o processo de escalonamento, maior é a chance de sucesso do material, uma vez que buscar processos simples, replicáveis e escaláveis são necessidades que garantem menores investimentos e menor esforço de adaptação.

O custo-benefício do produto desenvolvido deve ser direcionado para sua aplicação e compatível com o valor do seu produto ou serviço, para isso é importante, que a comunicação seja clara, consistente e simples, visando o entendimento do cliente. Sua proposta de valor e o que será resolvido, deve estar acima do seu produto, o seu produto é só um meio para resolver os problemas do seu cliente e isso precisa ficar claro internamente na empresa e deve ser a motivação motriz dos sócios.

O mercado está em constante mudança, a *spin-off* é uma empresa com uma “veia” tecnológica muito forte, é importante preservar e fortalecer essa “veia” para estar sempre na vanguarda tecnológica e continuar mantendo o diferencial competitivo e dificultando novos entrantes no seu mercado alvo.

Quadro 8 – Modelo para a criação de uma spin-off acadêmica da área de materiais geopoliméricos

	ESTRUTURAÇÃO DA EQUIPE E FAMILIARIZAÇÃO COM A TECNOLOGIA	PRÉ - ACELERAÇÃO	ACELERAÇÃO	ESCALONAMENTO E PROVA DE CONCEITO	GO TO MARKET
ATIVIDADES REALIZADAS	• Definição da equipe • EVTECIAS	• Definição de dor de mercado • Definição da tecnologia • Definição do modelo de negócios	• Otimização do modelo de negócio • Definição da área jurídica e comercial • Definição dos aspectos financeiros e estudo do mercado alvo	• Teste em escala relevante • Desenvolvimento da linha de processos piloto para o material • Desenvolvimento da matriz de risco	• Refinar estratégia comercial e de comunicação; • Definir estratégias de tração; • Novos desenvolvimentos; • Buscar ter bons *cases* de sucesso para o produto;
PROBLEMAS ENCONTRADOS	• Inviabilidade de modelo de negócios • Equipe com conflitos internos; • Habilidades individuais da equipe não se complementavam e não tinham alinhamento.	• Tecnologia ainda insipiente; • Definição de segmento de mercado; • Definição do processo e custos de insumos muitos altos; • Definição do modelo de negócios.	• Não existia estruturação mínima do negócio; • Funções dentro da empresa não estavam definidas; • A tecnologia ainda precisava ser testada em ambiente relevante.	• Atrasos decorridos da Pandemia; • Tecnologia inviável dentro de um das provas de conceito testadas; • Erros durante o escalonamento, calibração do traço para o contexto.	• A proposta de valor, não comunicava bem com o potencial cliente; • Existir desalinhamento do mercado pretendido, com a necessidade de mercado.
PONTO CRÍTICO	Equipe	Tecnologia	Modelo de negócios	Processo e viabilidade financeira	Comunicação pouco efetiva
RECOMENDAÇÕES	As pessoas são fundamentais para o sucesso da *spin-off*, mantenha o desenvolvedor da tecnologia pelo menos perto do time, busque *skills* complementares. Busque preferencialmente pessoas que tenham boa capacidade comunicativa, facilidade de aprendizagem, suporte trabalhar sob pressão e garanta que as coisas fiquem claras e que o alinhamento de expectativas seja excelente. É fundamental um bom entendimento da tecnologia para possibilitar pivotar e testar de maneira acelerada.	Um entendimento mais aprofundado da tecnologia foi fundamental nessa etapa, muitas vezes serão necessárias várias adequações. É fundamental que seja aplicado um ciclo de testagem no material, de maneira acelerada para evitar trabalhar muito características que não são relevantes no produto. Se existe a escolha de incluir um gestor no projeto, ele é fundamental para o direcionamento, se não existe essa possibilidade, alguém precisará aprender e se dedicar a executar essa função.	É fundamental que os pilares do negócio estejam estabelecidos e exista uma recorrência de manutenção e um responsável por cada pilar do negócio. Todos são importantes, contudo para *spin-offs* nascentes é fundamental que se tenha um enfoque na área jurídica, de propriedade intelectual, de captação de recursos e comercial, desenvolvimento técnico e processos muito bem estabelecidas desde o início. Para evitar problemas com as instituições mães e para garantir a sustentabilidade do negócio	O teste de escalonamento deve ser controlado e de preferência passar por pelo menos 3 etapas de escalonamento: teste em laboratório, teste em maior escala em laboratório, teste piloto do material desenvolvido. É necessário estabelecer fazer uma gestão de risco bem elaborada para conter e mitigar os potenciais riscos, considerando que os recursos para desenvolvimento de materiais geralmente é limitado. Você deve se preocupar e assegurar o custo benefício do seu produto para o mercado pretendido.	A comunicação com o cliente deve ser clara, consistente e simples, visando o entendimento do cliente. Sua proposta de valor e o que você vai resolver, deve estar acima do seu produto, o seu produto é só um meio para resolver os problemas do seu cliente e isso precisa ficar claro internamente na empresa. O mercado está em constante mudança, a *spin-off* é uma empresa com veia tecnológica, é importante preservar e fortalecer essa veia para estar sempre na vanguarda tecnológica.

7. CONCLUSÕES E CONTRIBUIÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

As *spin-off* acadêmicas são negócios formados com o objetivo de comercializar a propriedade intelectual desenvolvida na universidade, em qualquer uma de suas vertentes. Sob essa perspectiva é possível visualizar que este modelo é uma oportunidade interessante para que uma instituição transforme seu conhecimento em valor, seja social, financeiro ou outro.

Esta pesquisa em questão teve como objetivo principal o estudo sobre a *spin-off* acadêmica Geeco, onde o pesquisador buscou trazer, além de conhecimento do desenvolvimento tecnológico a trajetória de desenvolvimento da *spin-off* como um todo e qual o impacto que a realização das provas de conceito e do processo de ter vivido o desafio MinerAll trouxe para o negócio.

Foi desenvolvida uma contextualização com base em referencial teórico do processo de desenvolvimento de materiais geopoliméricos e quais suas possibilidades de desenvolvimento, trazendo ainda uma perspectiva de como isso poderia ser inserido como um produto e quais os passos para chegar até lá.

A metodologia aplicada foi pesquisa-ação e através dela foi possível explorar a trajetória da spin-off dentro dos processos que foram divididos em 5 fases principais: desenvolvimento de geopolímeros, fase de pré-aceleração, fase de escalonamento, prova de conceito e estruturação da Geeco. Todo esse processo foi pautado, principalmente, nos avanços da tecnologia geopolimérica, em seu aumento de escala e aumento do processo produtivo, além das mudanças que foram percebidas no modelo de negócio a partir da perspectiva dos sócios, sempre com o foco nos aprendizados e desafios de cada fase, com objetivo de ser um suporte para empreendimentos nascentes de base tecnológica da área de materiais, bem como sendo um material que contem dicas para evitar que erros sejam cometidos ao longo do processo de criação de empresas de base tecnológica.

Durante todo o processo de desenvolvimento da *spin-off* Geeco, foi possível verificar que a cultura para a criação de SOAs está melhorando, contudo ainda existem muito processos burocráticos que limitam o processo de criação desse tipo de modelo de transferência de tecnologia. Além disso é necessário que ainda sejam criados facilitadores para que exista uma cultura a inda mais rica para o fomento de empreendedorismo e inovação e, principalmente, da cultura do empreendedor pesquisador, através de mecanismos facilitados para criação de spin-offs, facilitação do processo de transferência de tecnologia, criação de patentes e de parques tecnológicos, além de incentivos para criação de novos negócios de base tecnológica internos da Universidade (MAIA, 2008; HAYTER *et al.*,2018).

A avaliação geral é que o ambiente imersivo ao qual a Geeco teve acesso, facilitou o processo de geração do negócio e foi primordial para a modelagem de negócios, validação do mercado, análise do perfil de cliente, acesso ao ecossistema, construção de uma cadeia de stakeholders e de rede de contatos e principais de cases através das provas de conceito, mostrando o potencial que programas de aceleração tem para a formação de negócios, mesmo que a mortalidade das empresas dentro desse tipo de programa seja elevada.

Foi possível concluir do processo vivido que o principal fator de atenção dentro da equipe Geeco e dentro das spinoffs e equipes que participaram dos programas de aceleração junto com a Geeco, que a equipe era o fator que mais causava mortalidade dos negócios nascentes, portanto a avaliação é que uma boa equipe faz grande diferença no sucesso de um empreendimento de base tecnológica, além disso, saber escutar o mercado e fazer adequações iterativas dentro do processo de relacionamento com o mercado, buscando sempre ir de encontro ao que o cliente efetivamente precisa é outro fator que provocou muitas mudanças no modelo de negócio da Geeco e principalmente na sua proposta de valor e que se provou um fator que garante um maior sucesso para a *spin-off*.

A interação dentro de um programa que tinha a interface com uma grande indústria, facilitava o processo de adequação temporal para a validação dos processos de desenvolvimento e de teste relacionados a prova de conceito, o desafio MinerAll dentre suas inúmeras contribuições, contribuiu para que toda a gestão de risco fosse feita com base em parâmetros que são tradicionalmente utilizados por grandes empresas e que foram direcionados e aplicados ao contexto individualizado de cada participante. O modelo de personalização da proposta, possibilitou que empresas em tempos diferentes ou escalas diferentes, tivessem, ambas bons resultados para seus níveis de maturidade e acelerou o processo de desenvolvimento sem gerar frustração pelo enquadramento geral da *spin-off* com outras empresas mais ou menos maduras ou com modelos de negócio muito diferentes, a partir dessa interação a Geeco se tornou uma empresa com senso crítico moldado dentro de um processo de interação entre entidades industriais, o mercado consumidor, o agente de inovação, aceleradores corporativos e a universidade, conseguindo se integrar e adequar-se para comunicação com todos esses atores.

Dentro a perspectiva de realização das provas de conceito e do processo de escalonamento, foi possível concluir que o escalonamento ele não é linear e que é necessário que seja feito em escalas, pois determinados tipos de processos podem parecer extremamente triviais em laboratório e se constituírem e verdadeiras dores de cabeça quando o aumento de escala ocorre, é importante dividir o escalonamento em etapas, buscando reduzir custos e garantir que os resultados sejam mais previsíveis e positivos, uma vez que se planejado, pensado e feita uma boa gestão de risco do processo, a chance de sucesso do novo produto ou do novo negócio aumenta.

A vivência de um processo produtivo, mesmo que ainda em pequena escala, de entender a aplicação do material, conversar com fornecedores e clientes, determinar melhorias nas rotas de processo, definar área de estoque, lidar com logística de entrega de material e despacho de material foram vivências que a Prova de Conceito trouxeram em um ambiente controlado do processo que será replicado em escalas maiores, sem a vivência desse processo a Geeco não teria se desenvolvido de maneira tão rápida para sua inclusão no mercado.

Para estudos futuros seria interessante a seguir na temática de modelos para o desenvolvimento de inovação e construção de negócios na área de materiais, com o foco em geopolímeros uma boa linha de pesquisa seria o desenvolvimento de modelos para padronização de formulações e produtos geopoliméricos, visto que esses materiais tem bastante dificuldade em padronização e normatização visto a vastidão de materiais primas que podem ser utilizadas.

Por fim, estudos complementares para o mapeamento de iniciativas e da relevância desses iniciativas para a cadeia mineral focadas em *startups*, *spin-off*, tendo enfoque no potencial de competividade das iniciativas de inovação focadas em sustentabilidade ambiental e social, frente as iniciativas puramente econômicas.

A partir do explicitado foi possível concluir que a interação vivida em cada etapa da jornada que a Geeco traçou foi de suma importância para a evolução rápida da Geeco, desenvolvendo uma tecnologia, modificando-se de uma ideia até um modelo de negócio consistente e que gera valor para seus clientes. Os fatores principais de sucesso da Geeco, além do ecossistema, o aprendizado e suporte de especialistas e o desenvolvimento da POC, está atrelado a resiliência da equipe, sua capacidade de aprendizagem rápida, criatividade para a resolução de problemas e capacidade de assumir responsabilidades, essas características foram fundamentais para alcançar cada um dos marcos que a Geeco teve e sua trajetória de desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

ADIANSYAH J. S. *et al.* **A framework for a sustainable approach to mine tailings management: disposal strategies**. Journal of Cleaner Production, 2015. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.07.139.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). **Anuário mineral brasileiro**, 2020. Disponível em: <https://dados.gov.br/dataset/anuario-mineral-brasileiro-amb>. Acesso em: 18 de abr. 2022.

AMIN, M. e ABDELSALAM, B. A. **Efficiency of rice husk ash and fly ash as reactivity materials in sustainable concrete**. Sustain. Environ. Res. 2019, https://doi.org/10.1186/s42834-019-00352.

AMRAN, Y. H. M. *et al*. **Clean production and properties of geopolymer concrete; a review.** J. Clean. Prod. 2020, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119679.

AMRAN, M.; DEBBARMA, S. e OZBAKKALOGLU, T. **Fly ash-based eco-friendly geopolymer concrete: A critical review of the long-term durability properties**. Construction and Building Materials, v. 270, 2021. ISSN 0950-0618. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121857.

ARAYA, N.; KRASLAWSKI, A. e CISTERNAS, L. A. **Towards mine tailings valorization: Recovery of critical materials from Chilean mine tailings.** Journal of Cleaner Production, v. 263, 2020, ISSN 0959-6526. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121555.

AUTEF, A. *et al.* **Role of the silica source on the geopolymerization rate**. J. Non-Cryst. Solids 358, 2886–2893, 2012.

AUTEF, A. *et al.* **Role of the silica source on the geopolymerization rate: a thermal analysis study**. J. Non-Cryst. Solids 366, 13–21, 2013.

AVET, F.; LI, X. e SCRIVENER, K. **Determination of the amount of reacted metakaolin in calcined clay blends**. Cement and Concrete Research, v. 106, p. 40-48, 2018. ISSN 0008-8846. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.01.009.

BARBOSA, V.F.F.; MACKENZIE, K.J.D. e THAUMATURGO, C. **Synthesis and characterisation of materials based on inorganic polymers of alumina and silica: sodium polysialate polymers**. International Journal of Inorganic Materials, 2(4): p. 309-317, 2000.

BHATT, A. *et al.* **Physical, chemical, and geotechnical properties of coal fly ash: a global review**. Case Stud, Constr. Mater., 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00263.

BISIO, A.; KABEL, R. L. **Scale up of chemical processes – conversation from laboratory scale tests to sucessful comercial size desing.** Wiley Interscience Publication: New York, 1985.

BORGES, P. H. R. *et al.* **Reuse of iron ore tailings in the production of geopolymer mortars**. Revista Escola de Minas, v. 72, n. 4, p. 581–587, 2019.

CALLISTER, W. D, RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia de materiais – uma introdução.** 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

CARMIGNANO, O. *et al.* **Iron Ore Tailings: Characterization and Applications.** Journal of the Brazilian Chemical Society [online], v. 32, n. 10 [Accessed 3 April 2022], pp. 1895-1911. Available from: <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20210100>. 2021. ISSN 1678-4790. DOI: https://doi.org/10.21577/0103-5053.20210100.

CHENG, L.C. **Caracterização da gestão de desenvolvimento do produto: delineando o seu contorno e dimensões básicas**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO 2., São Carlos, SP. Anais... UFSCar, 2000. p.1-9.

CHITHIRAPUTHIRAN, S. e NEITHALATH, N. **Isothermal reaction kinetics and temperature dependence of alkali activation of slag, fly ash and their blends**. Constr. Build. Mater. 45, 233–242, 2013.

CHOU, M. I. M. **Fly Ash** in: Encycl. Sustain. Sci. Technol., 2012. DOI:10.1007/978-1-4419-0851-3_121.

CLARK, K. B.; FUJIMOTO, T. **Product development performance: strategy, organization and management in the world auto industry.** Boston: HBS Press, 1991.

CLARK, K. B.; WHEELWRIGHT, S. C. **Managing new product and process development: text and cases**. New York: Free Press, 1993.

CRISTOBAL, A.G.S. *et al.*, **Zeolites prepared from calcined and mechanically modified kaolins: A comparative study**. Applied Clay Science, 49: p. 239-246, 2010.

COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS. **Ação de esclarecimento do CBDB junto à imprensa.** Disponível em: http://cbdb.org.br/acao-de-esclarecimento-do-cbdb-junto-a-imprensa-quem-e-o-comite-brasileiro-de-barragens-cbdb. Acesso em: 15 de mar. 2022.

DAVIDOVITS, J. **Geopolymers - Inorganic polymeric new materials**. J. Therm. 1157 Anal. 37, 1633–1656, 1991. DOI: https://doi.org/10.1007/BF01912193

DAVIDOVITS, J. **30 Years of Successes and Failures in Geopolymer Applications-Market trends and Potential breakthroughs**. Geopolymer Institute, Saint Quentin, France, 2002.

DAVIDOVITS, J. **Review. Geopolymers: Ceramic-Like Inorganic Polymers**. Journal Ceramic Science and Technology, [S.L.], v. 8, n. 3, p. 335-350, 2017. DOI: 10.4416/JCST2017-00038.

DAVIDOVITS, J. **Chemistry of geopolymeric systems.** Terminology. in Second International Conference Geopolymere'99. Saint-Quentin, 1999.

DAVIDOVITS, J. **High-alkali cements for 21st century concretes**. In Concrete Technology, Past, Present and Future. 1994: Metha, P.K, American Concrete Institute, Farmington Hills.

DAVIDOVITS, J. **Geopolymer Chemistry and Applications.** Ed. 5th. 2020.

DAVIDOVITS, J. **Geopolymers and geopolymeric materials.** J. Therm. Anal. 35, 429–441, 1989.

DJOKOVIC, D.; SOUITARIS, V. **Spin-outs from academic institutions: A literature review with suggestions for further research**. Journal of Technology Transfer, v. 33, n. 3, p. 225–247, 2008.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P. e MIGUEL, P.A.C. **Uma análise distintiva entre o estudo de caso, a pesquisa-ação e a *design science research***. Revista Brasileira de Gestão de Negócios, 17(56),

pp.1116-1133, 2015.

DUXSON, P. *et al.* **Geopolymer technology: The current state of the art.** J. Mater. Sci. 42, 2917–2933, 2007a. DOI: https://doi.org/10.1007/s10853-006-0637-z

DUXSON P. *et al*. **The effect of alkali and Si/Al ratio on the development of mechanical properties of metakaolin-based geopolymers**. Colloids Surf. A 292, 8–20, 2007b.

DWIVEDI, A. e JAIN, M. K. **Fly ash – waste management and overview: a review.** Recent Res. Sci. Technol., 2014.

FERREIRA, I. C.; GALÉRY, R.; HENRIQUES, A. B.; TEIXEIRA, A. P. C.; PRATES, C. D.; LIMA, A. S. e FILHO, I. R. S. **Reuse of iron ore tailings for production of metakaolin-based geopolymers**. Journal of Materials Research and Technology, 2022, ISSN 2238-7854. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.03.192.

FIGUEIREDO, R. A. M, COURA, E. e MAZZINGHY, D. **Obtenção de argamassa geopolimérica a partir de rejeitos de flotação de minério de ferro**, XXVIII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, Belo Horizonte, 2019.

FIGUEIREDO, M.D. *et al.* **Tailings from Fundão Tragedy: Physical–Chemical Properties of the Material That Remains by Candonga Dam.** Integr Environ Assess Manag, 16: 636-642, 2020. DOI: https://doi.org/10.1002/ieam.4227

FONTES, W. C. *et al.* **Assessment of the use potential of iron ore tailings in the manufacture of ceramic tiles: From tailings-dams to "brown porcelain".** Constr. Build. Mater. **2019**, 206, 111.

FONTES, W. C., MENDES, J. C., SILVA, S. N., PEIXOTO, R. A. F. **Mortars for laying and coating produced with iron ore tailings from tailing dams**. Construction and Building Materials, v. 112, p. 988–995, 2016.

FONTES W. C. **Utilização do rejeito de barragem de minério de ferro como agregado reciclado para argamassas de revestimento e assentamento.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Ouro Preto, 2013.

FREITAS, J. S. *et al.* **Structuration aspects in academic spin-off emergence: A roadmap-based analysis.** Technological Forecasting and Social Change, v. 80, n. 6, p. 1162–1178, 2013.

FUCK, M. P.; VILHA, A. M. **Inovação Tecnológica: da definição à ação.** Contemporâneos: Revista de Artes e Humanidades (Online), p. 1–21, 2011.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (FEAM). **Inventário de Resíduos Sólidos da Mineração Ano Base 2017**. FEAM: Belo Horizonte, 2018, p. 47. Disponível em: <feam.br/banco-de-noticias/1692-feam-publica-inventario-de-residuos-solidos-da-mineracao>. Acesso em: 01 de abr de 2022.

GARCIA, R.; SANZO, M. J.; TRESPALACIOS, J. A. **New product internal performance and market performance: evidence from Spanish firms regarding the role of trust, interfunctional integration, and innovation type**. Technovation, vol. 28, p. 713- 725, 2008.

GRAY, D. E. **Pesquisa no Mundo Real: Série Métodos de Pesquisa.** 2. ed. ed. Porto Alegre, 2012.

GRIFFIN, A; HAUSER, J. R. **Integrating R&D and marketing: a review and analysis of the literature.** Journal of Product Innovation Management. Vol. 13, p. 191-215, 1996.

GRIFFIN, A. **Obtaining customer needs for product development.** In: Kahn, K. B. (Ed.). The PDMA handbook of new product development, 2ª ed, p. 211-227, 2005.

GOMES, L. A. de V. *et al.* **Inovação como transição: uma abordagem para o planejamento e desenvolvimento de spin-offs acadêmicos.** Production, v. 26, n. 1, p. 218–234, 2016.

GOMES, M. A. **Caracterização tecnológica no aproveitamento do rejeito de minério de ferro**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

GOMES, M. A.; PEREIRA, C. A.; PERES, A. E. C. **Caracterização tecnológica de rejeito de minério de ferro**, Revista Escola de Minas, Ouro Preto, v. 64, n. 2, p. 233-236, 2011.

GOMES, P. O. B. **Caracterização do processo de desenvolvimento de produto de empresas de base tecnológica incubadas da grande Vitória – ES.** Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia de Produção. Universidade Federal do Espírito Santo, 2015.

HASSAN, A.; ARIF, M.; SHARIQ, M. **Use of geopolymer concrete for a cleaner and sustainable environment-A review of mechanical properties and microstructure**. Journal of Cleaner Production, 223, 704-728, 2019.

HAYTER, C. S. et al. **Conceptualizing academic entrepreneurship ecosystems: a review,analysis and extension of the literature**. Journal of Technology Transfer, v43, n. 4, p. 1039–1082, 2018.

ISLAM, A. *et al.* **The development of compressive strength of ground granulated blast furnace slag-palm oil fuel ash-fly ash based geopolymer mortar**, Materials and Design 56 (2014) 833-841.

INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA – IPT, 2016. **Tratamento de rejeitos é solução alternativa e economicamente viável à barragem de mineradoras**. Disponível em: http://www.ipt.br/noticias_interna.php?id_noticia=1043. Acesso em: 16/08/2019

JI, Z e PEI, Y. **Bibliographic and visualized analysis of geopolymer research and its application in heavy metal immobilization: A review**. Journal of Environmental Management, 231, p. 256–267, 2019.

JIA, D. *et al.* **Geopolymers and Their Matrix Composites: A State-of-the-Art Review.** In: Geopolymer and Geopolymer Matrix Composites. Springer Series in Materials Science, vol 311. Springer, Singapore, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-15-9536-3_2

JUGEND, D. **Gestão da integração entre desenvolvimento de produtos e de tecnologias: estudo de casos em empresas industriais de médio porte e intensivas em tecnologia.** Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – SP, 2010.

KAHN, K. B. **Interdepartmental integration: a definition with implications for product**

development performance. The Journal of product innovation management, v. 13, p. 137 – 151, 1996.

KAMINSKY, P. C. **Desenvolvendo produtos com planejamento, criatividade e qualidade.** Rio de Janeiro: LTC, 2000.

KAYALI, O. **Sustainability of fibre composite concrete construction**, Editor(s): Jamal M. Khatib, In Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering, Sustainability of Construction Materials (Second Edition), Woodhead Publishing, 2016, Pages 539-566, ISBN 9780081009956, https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100370-1.00021-4.

KHATIB, J. M. *et al.* **Metakaolin**. Editor(s): Rafat Siddique, Paulo Cachim. In Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering, Waste and Supplementary Cementitious Materials in Concrete, Woodhead Publishing, 2018, Pages 493-511, ISBN 9780081021569. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102156-9.00015-8.

KINNUNEN, P. *et al.* **Review of closed water loops with ore sorting and tailings valorisation for a more sustainable mining industry**. Journal Of Cleaner Production, [S.L.], v. 278, jan. 2021. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123237.

KIVENTERÄ, J. *et al.* **Mine tailings as a raw material in alkali activation: a review.** Int. J. Miner. Metall. Mater. v. 27, 1009–1020, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/s12613-020-2129-6.

KRISHNA, R. S. *et al.* **Mine tailings-based geopolymers: Properties, applications and industrial prospects.** Ceramics International, 2021. ISSN 0272-8842. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.03.180.

LECOMTE, I. *et al.* **Synthesis and characterization of new inorganic polymeric composites based on kaolin or white clay and on ground-granulated blast furnace slag**. Journal of Materials Research, 2003. 18: p. 2571-2579.

LIEW, Y.M. *et al.*, **Processing and characterization of calcined kaolin cement powder**. Construction and Building Materials, 30: p. 794-802, 2012.

LOZANO, F. A. E. **Seleção de locais para barragens de rejeito usando o método de análise hierárquica.** Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, USP, São Paulo: 2006.
INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Mineração em números: 2020**. Infográfico: Dados do setor mineral – 2020. ed. 1. Brasília, 2020.

MING, L.Y. *et al.* **Structure and Properties of Clay based Geopolymer Cements: A Review**. Progress in Materials Science, 2016. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/ j.pmatsci.2016.08.002

MÜLLER, K. **Academic spin-off's transfer speed-Analyzing the time from leaving university to venture.** Research Policy, v. 39, n. 2, p. 189–199, 2010.

NATH, P. e SARKER, P. K. **Effect of GGBFS on setting, workability and early strength properties of fly ash geopolymer concrete cured in ambient condition**. Construction and Building Materials. v 66, p. 163-171, 2014.

NATH, S.K. *et al*. **Kinetics study of geopolymerization of fly ash using isothermal conduction calorimetry**. J. Therm. Anal. Calorim. 127, 1953–1961, 2016.

NEUPANE, K. **Fly ash and GGBFS based powder-activated geopolymer binders: a viable sustainable alternative of portland cement in concrete industry**. Mech. Mater. 103, 110 e 122, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.mechmat.2016.09.012.

OLIVEIRA, M.; FRANCO, M. e LAGO, R. – **Ebook "Guia Prático de Escalonamento de Tecnologias"**. p. 51, 2019.

OLSON, E. M. *et al.* **Patterns of cooperation during new product development among marketing, operations and R&D: implications for project performance.** Journal of Product Innovation Management, v. 18, p. 258-271, 2001.

OSINUBI, K. J.; YOHANNA, P.; EBEREMU, A. O. **Cement modification of tropical black clay using iron ore tailings as admixture.** Transportation Geotechnics, v. 5, p. 35–49, 2015.

PORTES, A. M. C. **Avaliação da disposição de rejeitos de minério de ferro nas consistências polpa e torta.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG. Belo Horizonte, 2013.

PRICEWATERHOUSECOOPERS (PWC). **Mine 2021**. Technical report. Jun. 2021.

RADAR DE VENDAS (RDV). Disponível em: https://useradardevendas.com.br/. Acesso em: 18 de abr. 2022.

REN, B. et al. Eco-friendly geopolymer prepared from solid wastes: A critical review. Chemosphere, v. 267, 2021. ISSN 0045-6535. DOI: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128900.

RODRIGUES, R. D. S.; ROBERTO, P.; BRANDÃO, G. **Influência da liberação mineral nas etapas de moagem**. Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração, v. 14, n. 3, p. 279–287, 2017.

ROZENFELD, H. *et al.* **Gestão de desenvolvimento de produto: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.

SARSTEDT, M., MOOI, E. **A Concise Guide to Market Research.** Springer Texts in Business and Economics. Springer, Berlin, Heidelberg, 2019. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-662-56707-4_1.

SOUZA, L. V. **Considerações sobre a trajetória de desenvolvimento e o processo de internacionalização da spin-off acadêmica biomimetic solutions.** Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, 2019.

SEBRAE. **Relatório de inteligência – mercado de revestimentos cimentícios.** SEBRAE – Inteligência Setorial. Disponível em: https://sebraeinteligenciasetorial.com.br/sobre. Acesso em: 09 de abr, 2021.

SHANE, S. **Academic Entrepreneurship: university spinoffs and wealth creation.** USA: New Horizons in Entrepreneurship, 2004.

SILVA, A. C. *et al.* **Processo de transferência de tecnologia da univerisdade para a indústria: estudo de caso envolvendo a conversão do glicerol.** Quimica Nova, v. 34, n. 10, p. 1852–1855, 2011.

SILVA, S. L.; ROZENFELD, H. **Proposição de um modelo para avaliar a gestão do conhecimento no processo de desenvolvimento de produtos**. Ciência da Informação, v. 36, n. 1, 2007.

SILVA, P. H. O e JANNI, V. **Relação da taxa mínima de atratividade no cenário econômico atual com a viabilidade econômica de projetos. Boletim do Gerenciamento**, v. 25, n. 25, p. 68-75, ago. 2021. ISSN 2595-6531. Disponível em: <https://nppg.org.br/revistas/boletimdogerenciamento/article/view/582>. Acesso em: 30 dez. 2021.

SILVA, P. M. A.; VIANA, P. J. e CAVALCANTE, L. B. A. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Atividade de Mineração de Substâncias Não Energéticas – Relatório de Pesquisa.** Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), Brasília, 2012.

SINELL, A.; BRODACK, F.; DENEF, S. **Design and Academic Entrepreneurship. The Role of Design in *Spin-off* Processes**. The Design Journal, v. 20, n. sup1, p. S457–S468, 2017.

SOUZA, P. M. T. G. **A prática da formação de uma cultura acadêmica empreendedora: aprendizados acumulados a partir da experiência de um instituto nacional de ciência e tecnologia.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, 2019.

TESSAROTTO C., **Empilhamento a Seco para Rejeitos de Processos Minerais (Dry Stacking)**, 2015, XXVI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa

THIOLLENT, M. **Metodologia da Pesquisa-Ação**. São Paulo: Cortez, 1986.

THOMPSON, F. *et al.* **Severe impacts of the Brumadinho dam failure (Minas Gerais, Brazil) on the water quality of the Paraopeba River**. *The Science of the total environment, 705*, 135914, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135914

TOLEDO, J. C., ALLIPRANDINI, D. H., FERRARI, F. M., MARTINS, M. F., MARTINS, R. A., SILVA, S. L. **Modelo de referência para a gestão do processo de desenvolvimento de produto: aplicações na indústria brasileira de autopeças.** 343p. Relatório final do projeto FAPESP. Departamento de Engenharia de Produção, Grupo de Estudo e Pesquisa em Qualidade, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002.

TRIPP, D. **Pesquisa-ação: uma introdução metodológica.** In: Educação e Pesquisa, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 443-466, set./dez. 2005. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/ep/ v31n3/a09v31n3.pdf. Acesso em 30 jun. 2018

VALLERO, D. A. e BLIGHT, G. **Chapter 6 - Mine Waste: A Brief Overview of Origins, Quantities, and Methods of Storage☆**. Editor(s): Trevor M. Letcher, Daniel A. Vallero, Waste (Second Edition), Academic Press, 2019, Pages 129-151, ISBN 9780128150603. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815060-3.00006-2.

VERGANTI, R. **Design, meanings and radical innovation: a metamodel and research agenda.** Journal of Product Innovation Management, vol. 25, p. 436-456, 2008.

VIANA, J. P. *et al*. **Diagnóstico dos resíduos sólidos da atividade de mineração de substâncias não energéticas.** Relatório de pesquisa, IPEA, Brasília: 2012.

WITS, S. B. **International Networking Strategies in Academic Spin-off Companies.** jul, 2014.

XU, H. e van DEVENTER, J. S. J. **Geopolymerization of multiple minerals**. Miner. Eng, 15: p. 1131, 2002.

YELLISHETTY, M. *et al*. **Reuse of iron ore mineral wastes in civil engineering constructions: A case study**. Resources, Conservation and Recycling, v. 52, p. 1283–1289, 2008.

YIP, C.K.; LUKEY, G.C. van DEVENTER, J. S. J, **The coexistence of geopolymeric gel and calcium silicate hydrate at the early stage of alkaline activation.** Cement and Concrete Research, 35(9), p. 1688-1697, 2005.

ZHUANG, X. Y. *et al.* **Fly ash-based geopolymer: clean production, properties, and applications.** J. Clean. Prod., 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.019.