

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INOVAÇÃO TECNOLÓGICA E
PROPRIEDADE INTELECTUAL

LUCAS FABRINI RAMALHO ZANANDREZ

**ESTUDO COMPARATIVO DO DESENVOLVIMENTO DE INOVAÇÕES EM ICT'S
E DE PRODUTOS EM EMPRESAS: O CASO DE UMA TECNOLOGIA PARA O
MONITORAMENTO DO *Aedes aegypti***

Belo Horizonte

2020

LUCAS FABRINI RAMALHO ZANANDREZ

**ESTUDO COMPARATIVO DO DESENVOLVIMENTO DE INOVAÇÕES EM ICT'S
E DE PRODUTOS EM EMPRESAS: O CASO DE UMA TECNOLOGIA PARA O
MONITORAMENTO DO *Aedes aegypti***

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais como parte dos requisitos para a obtenção do título de mestre em Inovação Tecnológica e Propriedade Intelectual.

Área de concentração: Gestão da Inovação e Empreendedorismo

Orientador: Prof. Dr. Álvaro Eduardo Eiras

Belo Horizonte

2020

043

Zanandrez, Lucas Fabrini Ramalho.

Estudo comparativo do desenvolvimento de inovações em ICT's e de produtos em empresas: o caso de uma tecnologia para o monitoramento do *Aedes aegypti* [manuscrito] / Lucas Fabrini Ramalho Zanandrez. - 2020.
145 f.: il. ; 29,5 cm.

Orientador: Prof. Dr. Álvaro Eduardo Eiras.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Inovação Tecnológica e Propriedade Intelectual.

1. Inovação. 2. Empreendedorismo. 3. Incerteza. 4. Tomada de Decisões. 5. Aedes. I. Eiras, Álvaro Eduardo. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Biológicas. III. Título.


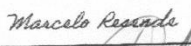

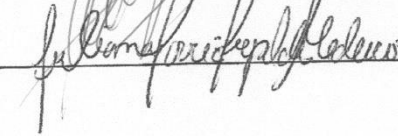
CDU: 658.016



ATA DA DEFESA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 112 DE Lucas Fabrini Ramalho Zanandrez

Às 10:00 horas do dia 29 de abril de 2020, em ambiente virtual, realizou-se a sessão pública para a defesa da Dissertação de *LUCAS FABRINI RAMALHO ZANANDREZ*. A presidência da sessão coube ao Prof. Dr. Álvaro Eduardo Eiras, ICB/UFMG, ORIENTADOR. Inicialmente o Presidente fez a apresentação da Comissão Examinadora assim constituída: PROF. DR. MARCELO CARVALHO DE RESENDE, FUNASA-BH/MINISTÉRIO DA SAÚDE; PROFA. MSC. JULIANA CORREA CREPALDE MEDEIROS, CTIT/UFMG; PROF. DR. LIN CHIH CHENG, DPTO. ENGENHARIA DE PRODUÇÃO/UFMG, PROF. DR. Rochel Montero Lago, ICEX/UFMG, SUPLENTE, E Prof. Dr. Álvaro Eduardo Eiras, ICB/UFMG, ORIENTADOR. Em seguida, o candidato fez a apresentação do trabalho que constitui sua Dissertação de Mestrado, intitulada "ESTUDO COMPARATIVO DO DESENVOLVIMENTO DE INOVAÇÕES EM ICTs E DE PRODUTOS EM EMPRESAS: O CASO DE UMA TECNOLOGIA PARA O MONITORAMENTO DO Aedes Aegypti". Seguiu-se a arguição pelos examinadores e, logo após, a Comissão reuniu-se, sem a presença do candidato e do público e decidiu considerar aprovada a Dissertação de Mestrado. O resultado final foi comunicado publicamente ao candidato pelo Presidente da comissão. Nada mais havendo a tratar, o Presidente encerrou a sessão e lavrou a presente ata que, depois de lida, se aprovada, será assinada pela Comissão Examinadora. Belo Horizonte, 29 de abril de 2020.

Assinatura dos membros da banca examinadora:

	ALVARO EDUARDO EIRAS
	MARCELO CARVALHO DE RESENDE
	LIN CHIH CHENG
	JULIANA CORREA CREPALDE MEDEIROS

A todos aqueles que sentem um desejo incontrolável pela inovação, mas que pelos mais variados motivos ainda não puderam assumir grandes riscos.

AGRADECIMENTOS

Definitivamente, não foi fácil chegar até aqui. Não é que o processo vivenciado por aqueles que se aventuram no Mestrado é, de fato, recheado de altos e baixos?! Alguns momentos são tão intensos que a sensação é de jogar tudo para o ar e desistir. Por vários dias, me peguei olhando pela janela, vendo a vida passar e imaginando o que teria acontecido se eu não tivesse tomado algumas decisões. O que seria de mim se não tivesse iniciado esta pesquisa, se não tivesse ouvido alguns amigos e me aventurado nesta que foi a experiência mais desafiadora da minha carreira profissional? Muitas reflexões se devem às incertezas que, assim como na inovação, estão presentes em toda nova experiência e que, da mesma forma, podem ser gerenciadas e, principalmente, reduzidas pela adição de informações que auxiliam nas decisões. Alguns vão me chamar de *besta* por estar falando de inovação nos agradecimentos, mas, certamente, o que me manteve no jogo foi o fascínio por esse mundo novo que fui descobrindo e, ainda mais importantes, foram as pessoas que estiveram ao meu lado, ouvindo as minhas inseguranças, me fortalecendo e reduzindo as incertezas desse árduo processo.

Agradeço, primeiramente, aos meus pais, por sempre me apoiarem em todas as minhas decisões. Por terem garantido a minha boa educação desde cedo, muitas vezes, em detrimento de melhores condições de vida da nossa família. Educação é investimento e hoje colho os frutos dessa escolha tão difícil. Espero poder retribuir isso!

Agradeço ao meu irmão, Matheus, pela valorização da minha profissão e por proporcionar longos momentos de reflexão. Por me ensinar que música é mais do que um *hobbie* e que posso adotar o que aprendi na inovação também em uma banda de *rock*.

Agradeço, de coração, à minha esposa, Hipácia, que tem o incrível poder de me fazer feliz todos os dias e me aconselhar com as palavras certas nos momentos certos. Provavelmente eu sempre me lembrarei de quando precisei reformular toda a estrutura da dissertação e ela se sentou comigo, calmamente, e conseguiu me ajudar a organizar as ideias. Preciso sempre lembrá-la da sua coragem, pois ela também decidiu seguir na aventura mais corajosa das nossas vidas. Me ensinou o que é o amor verdadeiro. Amor é sentir orgulho das pessoas, admirá-las pelo que são e pelo que fazem, sem esperar nada em troca e querer sempre o bem, independente do que vier pela frente. Obrigado por fazer parte deste momento.

Agradeço aos amigos e amigas da Ecovec que foram meus parceiros desde 2017. Agradeço à Amanda, pela compreensão, pelo apoio ao projeto e por me ensinar todos os dias sobre liderança e sistemas. Agradeço à Ana Paula, por sua sensibilidade e empatia, sempre

presente, que me ensinou que nada é “jogado fora”. Agradeço à Nathália pelo companheirismo e por ensinar que até os pepinos mais complexos têm solução, sempre têm. Agradeço à Déborah, Thaís, Bruna e Victor por compartilharmos um espaço de convivência com ideais e grandes propósitos maiores do que nós mesmos e pela amizade que já se estende por anos. Agradeço à Dona Marlene, por sua simpatia, carisma e por cuidar tão bem do espaço de onde surgiu a maioria das ideias deste trabalho. Agradeço ao Luis pelas oportunidades que me proporcionou nesses anos e, também, à Ana Márcia que já não trabalha conosco, mas sempre me apoiou e me mostrou o caminho a ser trilhado em busca do sucesso. Em especial, agradeço ao parceiro César, que também se desligou da empresa, mas que foi a pessoa que deu o pontapé inicial neste projeto, com seus incansáveis questionamentos sobre o que podia ser melhorado em nosso produto. Agradeço a todos que passaram pela Ecovec, Pedro, Cecília e à equipe de TI, que me auxiliaram em alguma ideia ou pensamento, a partir de muitas conversas. Obrigado time!

Agradeço ao meu orientador, Álvaro, que me aturou durante esses anos de parceria e ouviu minhas dúvidas e inseguranças. Mas que com uma ou duas reuniões, já eram sanadas e me davam gás para continuar. O Álvaro, apesar de muito rígido, principalmente com a escrita e questões de propriedade intelectual, me passou confiança e mostrou ser uma pessoa amável, de conversa fácil. Agradeço por tudo que me ensinou como Professor e amigo.

Agradeço ao Prof. Acebal e ao Luiz Gustavo, do CEFET-MG, por terem aceitado encarar o desenvolvimento de nosso produto. Por todo o companheirismo durante as reuniões e pela solicitude nas explicações sobre estatística, bem como pela construção de um sistema que conseguiu entregar muito mais do que imaginávamos ser possível. Parabéns a todos!

Agradeço aos colegas da Inovação e Professores, por me apresentarem e compartilharem do meu fascínio por esse universo que abriu e abrirá um milhão de portas para mim. Vou me lembrar por um bom tempo da aula sobre perfil empreendedor que me mostrou que não é necessário ter empreendido de fato para ser um empreendedor. E que empreendedorismo não é só gerar lucro, mas sim, gerar valor para alguém.

Agradeço à UFMG por mais uma vez, me oferecer a infraestrutura e as pessoas certas para me guiarem pelo caminho do aprendizado e da educação de excelência. Sou grato por ter tido essa oportunidade novamente e por ter a chance de retribuir tudo isso diretamente através do conhecimento em propriedade intelectual. Que sensação boa que é saber *como se faz*.

A todos que, de alguma forma, estiveram presentes comigo. Cada palavra deste trabalho carrega um pouco de vocês, que nutriram minhas ideias durante mais de dois anos. Muito obrigado!

“Se algo matar mais de 10 milhões de pessoas nas próximas décadas, é mais provável que seja um vírus altamente contagioso do que uma guerra. Não mísseis, mas micro-organismos. Bem, um dos motivos disso é que investimos muito em estratégias antinucleares, mas investimos muito pouco em um sistema que detenha uma epidemia. Não estamos preparados para uma próxima epidemia. (...) Tratamento sem prevenção é simplesmente insustentável”.

Trecho da palestra de Bill Gates no evento TED em março de 2015.

RESUMO

Recentemente, as universidades passaram a atuar como promotoras da inovação na nova economia do conhecimento. Uma manifestação vívida dessa quebra de paradigma são as *spin-offs* acadêmicas, que surgem do licenciamento de tecnologias dos laboratórios das universidades. Um exemplo brasileiro é a Ecovec, *spin-off* da Universidade Federal de Minas Gerais e pioneira no monitoramento do mosquito *Aedes aegypti*. A área da gestão de desenvolvimento de produtos fornece orientações sobre como uma empresa deve se organizar para a implementação de inovações, com vistas à redução de incertezas, porém pouco se sabe sobre o estudo dos processos de inovação realizados em universidades e sobre as barreiras enfrentadas no desenvolvimento de inovações visando a transferência para empresas. A partir da observação de um caso iniciado com a interação entre Ecovec e sua universidade de origem, mas que parte para um projeto de desenvolvimento de uma inovação totalmente orquestrado por duas instituições de pesquisa parceiras, observou-se que tipo de incertezas, complexidades e decisões estiveram presentes. Adicionalmente, compararam-se as complexidades e decisões do projeto àquelas observadas pela literatura sobre desenvolvimentos de produtos em empresas. O objetivo foi investigar as particularidades de universidades no desenvolvimento de inovações. Por meio da avaliação das decisões tomadas no projeto de inovação, concluiu-se que houve diferenças em relação às tomadas em projetos de desenvolvimento de produtos em empresas. Observou-se a decisão de abandonar um novo conceito surgido no projeto e a alta relevância da escolha pela proteção intelectual da inovação. As complexidades e incertezas já mapeadas pela literatura se repetiram no projeto, porém, houve subestimação das incertezas de mercado e significativa redução de incertezas organizacionais e interorganizacionais devido à presença de parceiros de longa data na equipe de desenvolvimento e à presença de um Núcleo de Inovação Tecnológica com experiência com contratos de transferência de tecnologias. O projeto, que teve participação ativa do autor deste trabalho, culminou em uma inovação que está em processo de proteção intelectual para transferência para a *spin-off* acadêmica, consolidando a parceria universidade-empresa e visando a conclusão do ciclo de pesquisa, desenvolvimento e licenciamento da tecnologia. A avaliação de suas particularidades é, portanto, uma evidência de como organizar processos de inovação em universidades e provoca reflexões para futuras pesquisas.

Palavras-chave: inovação, incertezas, complexidades, tomadas de decisão, *Aedes aegypti*.

ABSTRACT

Recently, universities have started to act as promoters of innovation in the new knowledge economy. A vivid manifestation of this paradigm shift are academic spin-offs, which arise from the licensing of technologies from university laboratories. A Brazilian example is Ecovec, a spin-off from the Federal University of Minas Gerais and a pioneer in monitoring the *Aedes aegypti* mosquito. The product development management area provides guidance on how a company should organize itself to implement innovations, with a view to reducing uncertainties. However, little is known about the study of innovation processes carried out at universities and about the barriers faced in the development of innovations aimed at transferring to companies. From the observation of an interaction between the spin-off Ecovec and its university of origin, we observed what kind of uncertainties, complexities and decisions were present throughout the development of an innovation conducted by partner research institutions. Additionally, the project's complexities and decisions were compared to those observed in the literature of product developments made by companies. The aim of this study was to investigate the particularities of universities in the development of innovations and how they can organize themselves for innovation. Through the evaluation of the decisions made in the project, it was concluded that some of them were different from those made in projects carried out in companies. The decision to abandon a new concept that emerged during the project and the high relevance of the choice to carry out the intellectual protection of the technology were observed. The complexities and uncertainties already mapped by the literature were repeated in the project. However, there was an underestimation of market uncertainties and a significant reduction of organizational and interorganizational uncertainties due to the presence of long-standing partners and the presence of a Technological Innovation Office with experience with technology transfer contracts. The project, which had the active participation of the author of this study, culminated in an innovation that is in the process of intellectual protection for transfer to the academic spin off, consolidating the university-company partnership and aiming at the conclusion of the cycle of research, development and technology licensing. The evaluation of its particularities is, therefore, evidence of how to organize innovation processes in universities and provokes reflections for future research.

Keywords: innovation, uncertainty, complexity, decision-making, *Aedes aegypti*.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Inovação a nível de componentes ou arquitetura e seu grau de novidade
- Figura 2.** Esquema hierárquico da Gestão da inovação e gestão do desenvolvimento de novos produtos
- Figura 3.** Modelo de processo de inovação
- Figura 4.** Modelo *stage-gates* de desenvolvimento de produtos
- Figura 5.** Posicionamento de atividades com base no grau de complexidade e risco
- Figura 6.** Modelo de processo de tomada de decisão
- Figura 7.** Processo para identificação de decisões tomadas durante o desenvolvimento da inovação
- Figura 8.** Linha do tempo de reuniões do projeto de desenvolvimento da inovação
- Figura 9.** Distribuição mundial do mosquito *Aedes aegypti*
- Figura 10.** Morfologia do *Aedes aegypti*, com listras no tórax em formato de lira (canto superior direito)
- Figura 11.** Ciclo biológico de desenvolvimento do *Aedes aegypti* e ciclo gonotrófico
- Figura 12.** Armadilha ovitrampa
- Figura 13.** Armadilha larvitrapa
- Figura 14.** Armadilha BG-Sentinel
- Figura 15.** Armadilha MosquiTRAP®
- Figura 16.** Armadilha GAT
- Figura 17.** Etapas do Monitoramento Integrado do *Aedes* (MI-*Aedes*)
- Figura 18.** Gráficos de positividade x densidade das capturas das armadilhas MosquiTRAP e ovitrampa
- Figura 19.** Comparação dos mapas de capturas semanais do protótipo desenvolvido e do MI-*Aedes*
- Figura 20.** Número de capturas de *Ae. aegypti* fêmea por armadilha na semana 15/2017 – Vila Velha/ES
- Figura 21.** Mapa de clusters com IMFA > 0,60 na semana 15/2017 em Vila Velha/ES
- Figura 22.** Busca por clusters de IMFA >0,60 de 6 a 9 armadilhas em Vila Velha/ES – Semana 15/2017

- Figura 23.** Mapa de clusters identificados no município de Vila Velha/ES – Semana 15/2017
- Figura 24.** Mapa de clusters com IMFA > 0,60 identificados em Vila Velha/ES na semana 01/2018
- Figura 25.** Mapa de regiões infestadas identificadas em Vila Velha/ES na semana 01/2018
- Figura 26.** Posicionamento da inovação desenvolvida com base no grau de novidade e arquitetura

LISTA DE ABREVIATURAS

BGS	Biogents-Sentinel
CCM	Complexidade de comercialização e marketing
CD	Complexidade de desenvolvimento
CEFET-MG	Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
CHIKV	Chikungunya Vírus
CI	Complexidade interorganizacional
CM	Complexidade do ambiente de mercado
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CO	Complexidade organizacional
CT	Complexidade tecnológica
CTIT	Coordenadoria de Transferência e Inovação Tecnológica
DP	Projetos de Desenvolvimento de Novos Produtos
DENV	Dengue Vírus
DENV-1	Dengue Vírus sorotipo 1
DENV-2	Dengue Vírus sorotipo 2
DENV-3	Dengue Vírus sorotipo 3
DENV-4	Dengue Vírus sorotipo 4
EFNA	Estado fisiológico não avaliado
FAPEMIG	Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais
Fiocruz	Fundação Oswaldo Cruz
GAT	Gravid <i>Aedes</i> Trap
GI	Gestão da Inovação
GPDP	Gestão de Processos de Desenvolvimento de Novos Produtos
IB	Índice de Breteau
ICT	Instituição Científica, Tecnológica e de Inovação
IIP	Índice de Infestação Predial
IMFA	Índice médio de fêmeas de <i>Aedes</i>
IMFAP	Índice médio de fêmeas de <i>Aedes</i> ponderado
INPI	Instituto Nacional de Propriedade Industrial
IPM	Índice de Positividade da MosquiTRAP

IPO	Oferta Pública Inicial
ITR	Índice por tipo de recipientes
km	Quilômetro(s)
km²	Quilômetro(s) quadrado(s)
LINTEC	Laboratório de Inovação Tecnológica e Empreendedorismo em Controle de Vetores
LIRAA	Levantamento de Índice Rápido para <i>Aedes aegypti</i>
m	Metro(s)
MI-Aedes	Monitoramento Integrado do <i>Aedes</i>
MI-Vírus	Monitoramento Inteligente do Vírus
MR	Mesma residência de onde foi feita a liberação
MVP	Produto mínimo viável
NA	Não avaliado
NIT	Núcleo de Inovação Tecnológica
OMS	Organização Mundial da Saúde
PDP	Processo de desenvolvimento de novos produtos
P&D	Pesquisa e desenvolvimento
PI	Propriedade intelectual
PNCD	Programa Nacional de Controle da Dengue
SINAN	Sistema de Informação de Agravos de Notificação
TI	Tecnologia da Informação
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
ZIKV	Zika Vírus

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1	O FENÔMENO DA INOVAÇÃO	18
2.1.1	Definindo a inovação.....	18
2.1.2	Posicionamento da inovação	19
2.1.3	O processo de inovação: da ideia ao lançamento de novos produtos.....	23
2.1.4	As incertezas da inovação sob a ótica das complexidades do processo	28
2.1.5	As tomadas de decisão no processo de inovação	35
2.2	O FENÔMENO DA INOVAÇÃO NA ECONOMIA DO CONHECIMENTO	38
2.2.1	As <i>spin-offs</i> acadêmicas e os acadêmicos empreendedores	38
2.2.2	Desafios das <i>spin-offs</i> acadêmicas para se manterem competitivas	40
2.2.3	Relação universidade-empresa e seu papel na inovação	42
2.2.4	Lei da inovação brasileira como estímulo à interação universidade-empresa....	43
3	JUSTIFICATIVA	47
4	OBJETIVOS	49
5	METODOLOGIA	50
5.1	ESTUDO DE CASO E OBSERVAÇÃO PARTICIPANTE.....	50
5.2	AVALIAÇÃO DE COMPLEXIDADES E INCERTEZAS DO PROJETO.....	50
5.3	LEVANTAMENTO DE DECISÕES TOMADAS NO PROJETO	51
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
6.1	APRESENTAÇÃO DO CASO	53
6.2	ESTUDO DE CASO: O PROJETO DE DESENVOLVIMENTO DA INOVAÇÃO 56	
6.2.1	Planejamento do projeto	56
6.2.2	Desenvolvimento tecnológico da inovação	58
6.2.3	Decisões finais e ajustes finos do protótipo	61
6.3	COMPLEXIDADES E INCERTEZAS ENFRENTADAS NO PROJETO	62
6.3.1	Complexidade de desenvolvimento.....	62
6.3.2	Complexidade tecnológica	64
6.3.3	Complexidade de comercialização/marketing.....	65
6.3.4	Complexidade organizacional	65
6.3.5	Complexidade do ambiente de mercado.....	66
6.3.6	Complexidade interorganizacional	67

6.3.7	Discussões finais e limitações da metodologia.....	68
6.4	LEVANTAMENTO DAS DECISÕES TOMADAS NO PROJETO.....	71
6.4.1	Decisões tomadas no planejamento do projeto.....	71
6.4.2	Decisões tomadas durante o projeto	77
6.5	DISCUSSÃO FINAL	83
7	CONCLUSÕES	88
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
	APÊNDICE A – CONTEXTUALIZAÇÃO DO UNIVERSO DA INOVAÇÃO	101
	Um problema de saúde pública: Mosquito <i>Aedes aegypti</i>	101
	Biologia e comportamento do <i>Aedes aegypti</i>	104
	Padrões de dispersão e aglomeração do <i>Aedes aegypti</i>	107
	Monitoramento do vetor <i>Aedes aegypti</i> : a vigilância entomológica	110
	O Monitoramento Integrado do <i>Aedes</i> (MI-Aedes®): Operação e resultados	116
	Referências Bibliográficas	125
	APÊNDICE B – INOVAÇÃO DESENVOLVIDA E PERSPECTIVAS	132
	Apresentação geral do produto e suas funcionalidades.....	132
	Próximos passos e perspectivas	139
	Posicionamento do produto com base em seu alvo.....	140
	Posicionamento do produto com base no grau de novidade e arquitetura	141
	Referências Bibliográficas	142
	APÊNDICE C - QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DAS COMPLEXIDADES.....	143

1 INTRODUÇÃO

A inovação é um processo dotado de incertezas e complexidades gerenciadas por tomadores de decisão, que culmina na implementação de produtos e processos com significativas vantagens competitivas. Contudo, mais do que gerar valor para clientes e empresas, as inovações visam, a partir do acúmulo de conhecimento científico e tecnológico, a solução de problemas da sociedade e um estado de maior bem-estar. Dessa forma, apesar das incertezas tecnológicas, mercadológicas, organizacionais e outras presentes nos processos inovativos, a inovação tem aplicabilidade e valor em qualquer área (FREEMAN E SOETE, 2008; STAL, 2010; LEE E TRIMI, 2016).

A saúde pública é uma delas. As doenças infecciosas causadas por arbovírus (vírus transmitidos por insetos artrópodes, dentre eles, os mosquitos) apresentaram expansão alarmante nas últimas décadas. Notadamente, as arboviroses transmitidas pelo mosquito *Aedes aegypti*, como a dengue, a zika, a chikungunya e a febre amarela merecem destaque, devido a seu impacto clínico, na economia e na sociedade (WEAVER E REISEN, 2010; GUZMAN E HARRIS, 2015; CHRISTOFFERSON, 2016).

Desde o século passado, o procedimento padrão utilizado por muitos países, incluindo o Brasil, para a vigilância do *Ae. aegypti*, se baseia na pesquisa larvária casa a casa, que produz indicadores da presença de larvas e da densidade e tipos de criadouros. (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2009). Porém, essa metodologia apresenta dificuldades técnicas e operacionais para o levantamento de indicadores confiáveis do risco de transmissão de arboviroses (MELO ET AL., 2012; RESENDE ET AL., 2013; CODEÇO ET AL., 2015). Métodos alternativos incluem a utilização de armadilhas para monitoramento do vetor, sendo aquelas com foco no mosquito adulto, as com maior potencial de indicar com precisão o risco de transmissão dos arbovírus (FOCKS, 2003; SIVAGNANAME E GUNASEKARAN, 2012; MELO ET AL., 2012;).

Nesse contexto, surgiu, em 2002, a empresa Ecovec, a partir da transferência de tecnologias patenteadas, frutos de pesquisas do Prof. Dr. Álvaro Eiras, realizadas no Laboratório de Inovação Tecnológica e Empreendedorismo em Controle de Vetores (Lintec) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Por isso, a Ecovec é considerada uma *spin-off* acadêmica (SHANE, 2004), pioneira na prestação de serviços de monitoramento do vetor *Ae. aegypti* adulto, por meio do fornecimento de um serviço denominado Monitoramento Integrado do *Aedes* (MI-Aedes®) (EIRAS, 2005 – Patente PI0506220-9).

A tecnologia MI-Aedes, desenvolvido na UFMG e transferido para a Ecovec, contempla um serviço único no mundo, que consiste no fornecimento de armadilhas MosquiTRAP®

(EIRAS, 2002 - Patente PI0203907-9) para municípios realizarem o monitoramento do mosquito adulto em larga escala. As armadilhas simulam um criadouro do mosquito e utilizam um atraente para fêmeas grávidas do *Ae. aegypti* (EIRAS E SANT'ANA, 2001 – Patente PI0106701-0), também desenvolvido pelo Lintec e licenciado para a empresa. As informações obtidas através do monitoramento são consolidadas em um sistema de inteligência capaz de gerar índices, gráficos e mapas de infestação e circulação viral, compondo uma ferramenta integrada para orientar as decisões de controle do vetor (EIRAS E RESENDE, 2009; PEPIN ET AL., 2015; EIRAS ET AL., 2018)

Apesar da trajetória tecnológica bem-sucedida, com a introdução de uma inovação que alterou o paradigma do monitoramento do mosquito *Ae. aegypti*, ainda existem pontos de atenção para a Ecovec. A armadilha MosquiTRAP utilizada no MI-Aedes tem sido criticada por sua baixa sensibilidade, o que se traduz em maior chance de falha na captura do vetor adulto, quando comparada a outras armadilhas disponíveis no estado da arte (CODEÇO ET AL., 2015). Essa deficiência da MosquiTRAP foi considerada uma oportunidade de inovação.

Em 2018, a Ecovec buscou parceiros para esse desenvolvimento, com o Prof. Dr. Álvaro Eiras intermediando o restabelecimento de uma antiga parceria com o grupo de pesquisas do Prof. Dr. José Luiz Acebal do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). A relação entre os pesquisadores já existia desde 2012, quando ambos publicaram trabalhos na área de estatística, que permitiram à empresa otimizar as metodologias para o monitoramento do *Ae. aegypti* (RESENDE ET AL., 2012; BARSANTE ET AL., 2014).

A interação universidade-empresa procedeu sem formalidades, algo comum nesse tipo de parceria (TETHER, 2002). A Ecovec, após autorização dos gestores de saúde, compartilhou dados pertencentes a municípios que utilizam o MI-Aedes, para o desenvolvimento de uma inovação, que, a partir desse momento, ocorreu totalmente fora do ambiente corporativo, em regime de colaboração entre as instituições de pesquisa UFMG e CEFET-MG. O desenvolvimento culminou em um software, que se encontra na fase de protótipo, capaz de indicar regiões circulares (clusters) de alta probabilidade de se encontrar mosquitos, mesmo que algumas armadilhas não os tenham capturado. A inovação foi desenvolvida com o objetivo de ser transferida para a empresa para solucionar o problema da baixa sensibilidade da MosquiTRAP, submetendo dados reais a um modelo estatístico que melhora a atual metodologia para identificação de regiões prioritárias para aplicação do controle de vetores.

A área da gestão de projetos de desenvolvimento de produtos possui orientações em nível prescritivo sobre como uma empresa deve se organizar para o posicionamento de inovações no mercado, com vistas à redução de incertezas desse processo (HERSTATT, 2002;

CLEYN ET AL., 2009). Apesar do potencial desse campo teórico, a literatura pautou-se tipicamente nos desafios de empresas com processos de desenvolvimento de produtos (PDP) estruturados. Conseqüentemente, pouco se sabe sobre processos de inovação realizados em universidades e que tipo de barreiras são enfrentadas por essas entidades no desenvolvimento de tecnologias inovadoras visando a transferência para empresas *spin-offs* acadêmicas (NDONZUAU ET AL., 2002; CLEYN ET AL., 2009).

Partindo-se do pressuposto de que processos de desenvolvimento de inovações em universidades podem apresentar particularidades não exploradas pela literatura de desenvolvimento de produtos, a simples proposição de um processo estruturado para esse caso poderá gerar inconsistências e falhas. É sabido, por outro lado, que os processos de inovação se assemelham aos PDPs no sentido em que também apresentam complexidades e incertezas gerenciadas por tomadores de decisão. Ao mesmo tempo, a avaliação de projetos de desenvolvimento de produtos pela perspectiva das tomadas de decisão, por sua vez, demonstra que as decisões se repetem, mesmo em projetos com escopos completamente distintos e que ocorrem em diferentes estruturas organizacionais (TATIKONDA E ROSENTHAL, 2000; KRISHNAN E ULRICH, 2001; KIM E WILEMON, 2003; PETETIN ET AL., 2011). Esta perspectiva não parece ter sido utilizada para avaliar projetos de desenvolvimento de inovações em instituições de pesquisa.

Considerando o cenário apresentado, no qual um produto inovador foi desenvolvido a partir de uma interação entre instituições de pesquisa e uma *spin-off* acadêmica, observou-se a oportunidade de estudar esse desenvolvimento por meio da perspectiva das tomadas de decisão, complexidades e incertezas do processo. Enquanto a literatura tem foco na tomada de decisão em PDPs realizados por empresas consolidadas, este estudo foca no desenvolvimento da inovação executado em instituições de pesquisa, que visaram a transferência da tecnologia para uma *spin-off* acadêmica. O estudo discute, ainda, a importância de se estabelecer parcerias com universidades para estimular inovações tecnológicas. Por fim, constrói um arcabouço de decisões tomadas no projeto que pode ser adaptado à realidade de novos desenvolvimentos focados na transferência para empresas que buscam incorporar inovações tecnológicas.

Portanto, o presente trabalho utilizou o caso de um projeto de desenvolvimento de um software para a saúde pública, em um contexto de interação universidade-empresa, como objeto de estudo para responder às seguintes perguntas de pesquisa: *Como as decisões tomadas em um processo de inovação realizado em instituições de pesquisa se diferenciam daquelas tomadas em PDPs realizados em empresas e como as incertezas e complexidades enfrentadas pelos gestores da inovação nas instituições de pesquisa influenciam nas decisões tomadas?*

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O FENÔMENO DA INOVAÇÃO

2.1.1 Definindo a inovação

A inovação, fenômeno que culmina na implementação de novos produtos e processos, com significativas vantagens competitivas em relação ao estado da arte, tem sido concebida como a única forma de um negócio sobreviver em um período de rápidas mudanças (ARBIX, 2010). Para Tidd e Bessant (2015), “a inovação é movida pela habilidade de estabelecer relações, detectar oportunidades e tirar proveito delas”, o que complementa a visão de Baumol (2002) em que a inovação consiste da “perseguição de oportunidades até a sua adoção na prática”. Ambas as visões consideram que a inovação é um processo no qual uma ideia ou conceito, percebida pelos autores como oportunidade, é desenvolvida até que possa ser adotada no mercado.

A inovação pode ser interpretada também como “uma ideia, prática ou objeto que é percebido como novo pelo indivíduo” (ROGERS, 2003). Sob essa ótica, observa-se que uma inovação não necessariamente precisa ser composta por tecnologias de última geração, mas sim *percebida* pelo usuário final como nova em relação ao que já existe. Assim, o processo de inovação é capaz de transformar uma mera invenção em produtos e processos dotados de vantagens competitivas, por meio dos aprimoramentos, cópias, adaptações e reformulações, não importando o grau de tecnologia envolvida (ARBIX, 2010).

Todas as definições de inovação citadas visaram obter uma explicação para o processo de mudança que ocorre nas empresas frente à competição e às necessidades por melhorias e novos produtos. Apesar do ato de definir a inovação não ser algo trivial, as definições propostas (POPA ET AL., 2010) convergem na direção de um processo de criação que ocorre em ambiente de incertezas, no qual vários atores interagem e que exige “tipos diferenciados de conhecimento, de capacidade, de habilidades e de recursos” (ARBIX, 2010). Ao mesmo tempo, a inovação pode ser definida como resultado desse processo, como sendo algo novo ou com uma mudança significativa em um produto, processo ou serviço que resolve uma necessidade do mercado e gera valor para o time de desenvolvimento ou para a empresa. Portanto, inovação é, concomitantemente, processo e resultado. Por essa razão, a área da gestão de inovações compreende a área de gestão de desenvolvimento de novos produtos (SENHORAS ET AL., 2007; CROSSAN E APAYDIN, 2010).

2.1.2 Posicionamento da inovação

Independente da definição literal do termo, a inovação pode ser analisada sob a ótica de seu alvo e grau de novidade em relação ao estado da arte. A definição desses dois atributos é importante pois, dependendo do impacto que a inovação terá sobre os produtos existentes e sobre o mercado, será necessária maior alocação de recursos e conhecimento para as tomadas de decisão, devido ao aumento das complexidades em um processo incerto (TATIKONDA E ROSENTHAL, 2000; KIM E WILEMON, 2009; KOPMANN ET AL., 2014).

Nesse contexto, a construção de um ambiente capaz de absorver e implementar conhecimentos e rotinas capazes de lidar com incertezas permitirá à empresa inovar em diferentes dimensões e com diferentes graus de novidade, algo notado como importante vantagem competitiva (KELLEY E LITTMAN, 2007, p. 6).

2.1.2.1 Posicionamento com base no alvo

Todas as inovações são dotadas de um alvo que depende da estratégia momentânea da organização. Empresas ofensivas tendem a se antecipar frente às tendências do mercado, focando em pesquisa e desenvolvimento tecnológico para se diferenciarem de seus concorrentes. Seu alvo muitas vezes é a *inovação de produtos* com alto grau tecnológico e, conseqüentemente, alto valor agregado. Por outro lado, empresas defensivas são especialistas em redução de custos e oferecem vantagens competitivas em seus produtos que atendem às necessidades do mercado. Seu alvo frequentemente diz respeito a *melhorar produtos e processos existentes*. Outra categoria de empresas, as imitativas seguem tendências apoiando-se em trabalhos pioneiros ou na concorrência, muitas vezes *reposicionando produtos em mercados diferenciados ou mudando a forma como os produtos são percebidos pela população*. Existem ainda as empresas oportunistas, que exploram novas tecnologias por meio de interações constantes com a academia e parceiros externos. Para essas empresas o alvo muitas vezes é *criar um novo paradigma*, em um mercado ainda inexplorado, cujos conceitos ainda são incipientes (FREEMAN E SOETE, 2008). Nesse contexto, os alvos das inovações das empresas podem ser analisados sob quatro perspectivas, as quais foram chamadas de “os quatro P’s” da inovação: inovação de produto, processo, posição e paradigma (FRANCIS E BESSANT, 2005).

Quadro 1. Posicionamento de inovações com base no alvo, na perspectiva dos 4 P's

Tipo de inovação	Descrição	Exemplos
Produto	Introdução de novos produtos e serviços no portfólio da empresa	Novo carro, novo medicamento, novo software, etc.
Processo	Mudanças nos procedimentos internos para produzir e entregar produtos	Novas maneiras de captar clientes, novos métodos de marketing, novos métodos para contratação de pessoal, métodos mais eficientes para produção, novas formas de analisar resultados, aumento da eficiência dos dispositivos de um sistema para obter melhor desempenho, etc.
Posição	Reposicionamento de produtos e processos para atender outros nichos de mercado	Redução do teor de açúcar de uma bebida para atender a um público <i>fit</i> , versão <i>premium</i> de um produto para atender um público de alta renda, mudança no processo de vendas para atender ao setor público ao invés do privado, mudança no público alvo de um produto existente, etc.
Paradigma	Mudança radical na forma que uma empresa pensa e estrutura o seu negócio para atender a demandas não existentes no mercado	Introdução do primeiro carro elétrico, primeiro <i>smartphone</i> , reutilização de foguetes que retornaram do espaço, etc.

Fonte: Elaboração do autor, adaptado de Francis e Bessant (2005).

2.1.2.2 Posicionamento com base no grau de novidade e mudança de arquitetura

Definir a inovação com base em seu grau de novidade é uma tarefa complexa. Além de não haver um consenso sobre o que é realmente novo na perspectiva da inovação (AMARA ET AL., 2008), a medida do grau de novidade tem consequências severas sobre o risco de um projeto e na alocação de recursos para o desenvolvimento, devido à relação diretamente proporcional entre novidade e incerteza (O'CONNOR E VERYZER, 2001). Dessa forma, subestimar ou superestimar o grau de novidade de uma inovação poderá prejudicar o desempenho da empresa, com má alocação de recursos (KOC E BOZDAG, 2017).

Toda inovação contém um grau de novidade, isto é, possui um avanço funcional em relação ao que já existe no estado da arte ou nas rotinas de uma empresa. É nesse contexto que surge a diferenciação entre inovação incremental e inovação radical (DEWAR E DUTTON, 1986).

Katz e Shapiro (1992), mencionam que a “radicalidade” de uma inovação é o grau de utilidade derivado dos atributos do produto e percebido pelo usuário da inovação. Já na visão de Sheremata (2004), a radicalidade é uma consequência da alta incompatibilidade do novo produto em relação ao produto dominante, isto é, se algo é tão incompatível com o padrão do mercado, ele deve ser dotado de características inovadoras e benéficas percebidas pelos usuários para compensar o risco elevado, as incertezas e os custos de desenvolvimento. Assim, a inovação incremental é vista como um pequeno avanço em relação ao que já existe ou uma reformulação para ganho de desempenho. Por outro lado, algo radical é completamente novo e destoante do estado da arte, o que, na visão de Henderson e Clark (1990), é capaz de alterar tanto a arquitetura de um produto quanto os padrões do mercado.

Portanto, o grau de novidade, na perspectiva do usuário final, se refere a atributos dos produtos e serviços que são reconhecidos como vantagens em relação à concorrência, proporcionam melhores funcionalidades, melhorias de performance e maior valor agregado (GREEN ET AL., 1995). Já na perspectiva da empresa, produtos com alto grau de novidade são capazes de expor os déficits de conhecimento interno da organização, o que na prática se configuram como incertezas tecnológicas, oriundas da inexperiência técnica e comercial para lidar com a novidade em questão. Enquanto isso, os produtos *incrementais* são realizados em ambiente no qual o conhecimento é um ativo presente e o grau de incerteza é menor (AMARA ET AL., 2008).

Apesar das expressões *incremental* e *radical* intuitivamente levarem a uma ideia de avanço no grau de novidade, elas não são suficientes para explicar o grande impacto que alguns tipos de inovações com pequenas alterações têm no mercado. Em outras palavras, o grau de novidade de uma inovação não é sinônimo de impacto. A visão fundamentada na arquitetura do produto, por sua vez, complementa o entendimento do impacto de uma inovação ao inserir uma nova dimensão de análise: o grau de integração dos componentes de um produto (HENDERSON E CLARK, 1990). Essa visão considera que os produtos são dotados de componentes que se integram, formando uma arquitetura capaz de entregar valor ao usuário final. Essa arquitetura pode ser alterada, sem necessariamente alterar o conceito por trás do produto, o que caracteriza a inovação arquitetural. Em outras palavras, um produto pode utilizar os mesmos componentes rearranjados de outra forma, o que gera novidade.

Em um esforço para tornar o entendimento da inovação arquitetural mais clara, Tidd e Bessant (2015, p. 41) apresentaram uma releitura do modelo de gráfico composto por duas dimensões. O eixo horizontal avança no sentido do grau de novidade, enquanto o eixo vertical separa as inovações em que há apenas alterações nos componentes daquelas em que houve

alteração da arquitetura. Na prática, o modelo de Tidd e Bessant (2015) permite um posicionamento simultâneo de diferentes inovações em um modelo altamente intuitivo, além de esclarecer que uma inovação arquitetural nem sempre é dotada de um alto grau de novidade (Figura 1).

Figura 1. Inovação a nível de componentes ou arquitetura e seu grau de novidade

Nível de arquitetura	Versão 2.0 de um software	Carro movido a energia elétrica Disco de armazenamento digital	Primeiro smartphone Medicamento capaz de curar o mal de Alzheimer
	Modificação na cor de uma embalagem de alimento Novo desenho de um retrovisor.	Adição de um QR CODE a uma embalagem de produto contendo informações sobre ele	Uso de material comestível na embalagem Retrovisor que indica a distância do veículo de trás
Nível de componente	Incremental “Fazer o que fazemos de melhor”	“Novo para a empresa”	Radical “Novo para o mundo”

Fonte: Elaboração do autor (2019), adaptado de Tidd e Bessant (2015, p. 41).

No eixo horizontal, o nível mais à esquerda diz respeito à melhoria de componentes, o que os autores chamam de “fazer o que fazemos de melhor”, o nível intermediário incorpora novos componentes para sistemas já existentes, ou seja, algo que não é necessariamente novo no mundo, mas foi adicionado a um produto, gerando uma inovação “nova para a empresa” e, finalmente, o que é “novo para o mundo”, como o desenvolvimento de um componente inovador, nunca explorado naquele produto. Já o eixo vertical separa as inovações em que houve alteração na interação entre os componentes, o que é chamado de inovação arquitetural. Nesse tipo de inovação, os conceitos são mantidos, mas a forma como os componentes interagem é completamente alterada. Nenhum dos eixos deve ser entendido como um *continuum*, mas sim, diferentes graus de novidade e diferentes tipos de inovação.

Por outro lado, o grau de novidade intermediário ainda permanece sem uma definição clara. É possível, nesse caso, unir as perspectivas de Francis e Bessant (2005) e Henderson e Clark (1990) para afirmar que os componentes podem ter sido alterados ou mesmo reformulados para interagirem de formas distintas, mas não o suficiente para estabelecer um novo paradigma para aquele produto.

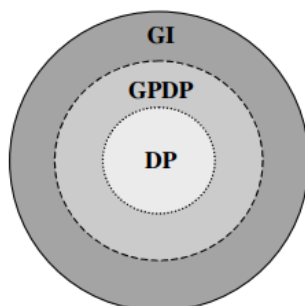
2.1.3 O processo de inovação: da ideia ao lançamento de novos produtos

A inovação deve, por definição, culminar na implementação produtos, processos ou serviços novos ou significativamente melhorados. Por essa razão, muitas vezes, o processo de inovação se confunde com o processo de desenvolvimento de novos produtos. O primeiro, contempla todas as etapas de concepção da ideia e do conceito, a seleção de conceitos e o desenvolvimento de tecnologias e o segundo, se responsabiliza pela incorporação de aspectos inovadores a produtos, processos ou serviços que sejam apreciados pelo mercado (TIDD E BESSANT, 2015).

Dessa forma, existe uma hierarquia que rege as áreas da gestão da inovação e da gestão de processos de desenvolvimento de novos produtos, que considera que a inovação “representa a visão ampliada da geração e do domínio do conhecimento aplicado aos produtos e processos”, podendo ser iniciada em qualquer instituição, seja ela uma empresa ou universidade. Na gestão da inovações, subprocessos como a transferência de tecnologias, encomendas tecnológicas, pesquisa científica básica e transferência de *know-how* estão presentes, com o objetivo de introduzir novos produtos ou aprimorá-los. Por outro lado, no âmbito da gestão de processos de desenvolvimento de produtos, aspectos mercadológicos se destacam, como as análises de viabilidade técnico-econômicas, a prototipação e as pesquisas de mercado. Esses processos ocorrem essencialmente em empresas que irão incorporar os aspectos inovadores e os componentes em produtos viáveis (UTTERBACK, 1996; SENHORAS ET AL., 2007).

Uma vez que a implementação da inovação no mercado é o ponto de ruptura entre a *invenção* e o *produto* de fato, a gestão da inovação contempla a área de gestão do processo de desenvolvimento de produtos que, por sua vez, contempla vários projetos de desenvolvimento de produtos (SENHORAS ET AL., 2007), de acordo com a Figura 2.

Figura 2. Esquema hierárquico da Gestão da inovação e gestão do desenvolvimento de novos produtos



GI: Gestão da Inovação. GPDP: Gestão dos processos de desenvolvimento de novos produtos. DP: Projetos de desenvolvimento de novos produtos **Fonte:** Retirado de Senhoras *et al.* (2007)

De forma geral, o processo de inovação pode ser dividido em quatro etapas: busca, seleção, implementação e captura de valor, de acordo com a Figura 2 (TIDD E BESSANT, 2015). Esse modelo linear explica como ideias ou conceitos são criados, selecionados, desenvolvidos e, finalmente, comercializados, gerando valor.

Figura 3. Modelo de processo de inovação



Fonte: Adaptado de Tidd e Bessant (2015).

Na **fase de busca**, são identificadas as oportunidades de inovação a partir de fontes internas e externas. Essa avaliação é relevante pois influenciará a tomada de decisão sobre quais serão os conceitos e atributos do produto, bem como quais são os problemas ou necessidades que ele resolve (KRISHNAN E ULRICH, 2001).

Dentre as fontes de inovação, destacam-se o papel do avanço tecnológico, chamado de “empurrão tecnológico” (do inglês *technology push*) e as necessidades do mercado ou “puxões” (do inglês *market pull*) (ISOHERRANEN E KESS, 2011). No primeiro caso, a organização se torna capaz de entender o funcionamento de uma tecnologia que apresenta vantagens em relação às implementadas na prática e enxerga o desenvolvimento de um produto tecnológico como oportunidade. A fonte, nesse caso, pode ser tanto interna ou externa à empresa, dependendo do método pelo qual a organização teve acesso ao conhecimento e à tecnologia, seja por pesquisa e desenvolvimento (P&D) próprio, por parcerias externas ou por prospecção de tecnologias disponíveis. Já no caso das necessidades do mercado, as fontes são externas, uma vez que a empresa identifica uma necessidade do mercado da qual a organização tem competência para solucionar e *decide* solucioná-la. A inovação orientada pelo avanço tecnológico tende a ser mais disruptiva, com maior grau de incerteza e dependente de maior dispêndio em projetos de P&D, enquanto a inovação orientada ao mercado tende a ser mais incremental e menos incerta e arriscada (WALSH ET AL., 2002). Apesar das diferenças, não há consenso de que uma seja mais vantajosa que a outra para o sucesso econômico de uma inovação (BREIM E VOIGT, 2009).

Fontes de inovação que fogem às tradicionais também podem ser identificadas. Os próprios usuários podem atuar como inovadores, sugerindo mudanças nos produtos por meio de *feedbacks*. Além disso, até mesmo a regulamentação do mercado pode influenciar na decisão

de inovar, uma vez que determinadas leis obrigam as empresas a desenvolverem soluções para atende-las (TIDD E BESSANT, 2015). De forma similar, destacam-se o papel das incertezas relacionadas à legislação e políticas como estímulo à adaptação de empresas a um novo cenário regulatório (JALONEN, 2012).

Adicionalmente, outras metodologias podem ser utilizadas na fase de busca, como a prospecção tecnológica. Esse processo consiste na identificação de cenários futuros para determinada tecnologia que hoje se encontra no estado da arte, ao mesmo tempo em que estuda as tecnologias concorrentes e as oportunidades de inovação, reduzindo incertezas tecnológicas ou mercadológicas (CANONGIA ET AL., 2004). Nesse contexto, a avaliação periódica de bancos de patentes é uma excelente fonte de informação para estudo do estado da arte e das tecnologias concorrentes (MARTINO, 2003). Para que a empresa possa aproveitar-se da prospecção tecnológica na fase de buscas é necessário que ela possua as competências para absorver o conhecimento externo, reconhecendo “o valor da nova informação externa, entendendo-a e aplicando-a para fins comerciais” (COHEN E LEVINTHAL, 1990 p. 128).

Já na **fase de seleção**, as oportunidades de inovação já foram identificadas e o gestor de inovação avalia cada uma tentando concluir se aquela ideia ou conceito faz sentido de acordo com a estratégia da organização e se pode ser implementada. Incertezas organizacionais presentes em perguntas como “este projeto de desenvolvimento atende às metas e objetivos da empresa?” ou “a empresa possui os recursos ou as competências necessárias para executar o projeto” moldam as decisões na fase de seleção, principalmente do ponto de vista do direcionamento de recursos necessários aos projetos. Metodologias de seleção de ideias consideram a disponibilidade de recursos para a execução de um projeto para o desenvolvimento de um produto, os riscos envolvidos, as complexidades dos projetos, as competências da equipe, as necessidades dos clientes, entre outros aspectos (TIDD E BESSANT, 2015). Caso não possua todas as competências e recursos para analisar o impacto da implementação de cada oportunidade, a empresa pode se decidir por acessar recursos externos por meio de parcerias e interações (JOHNSON, 2008).

A **fase de implementação**, por sua vez, é aquela em que as ideias e conceitos selecionados são desenvolvidos para se tornarem produtos e processos que possam ser adotados na prática. Na fase de implementação também ocorre a formação das equipes de cada projeto, com a decisão por parte do gestor se esses times serão integralmente dedicados à inovação ou se serão equipes interdepartamentais compartilhadas (GOVINDARAJAN E TRIMBLE, 2009). É realizada a prova de conceito, um experimento em pequena escala para provar que o conceito selecionado tem aplicabilidade prática. Os processos de desenvolvimento de produto se

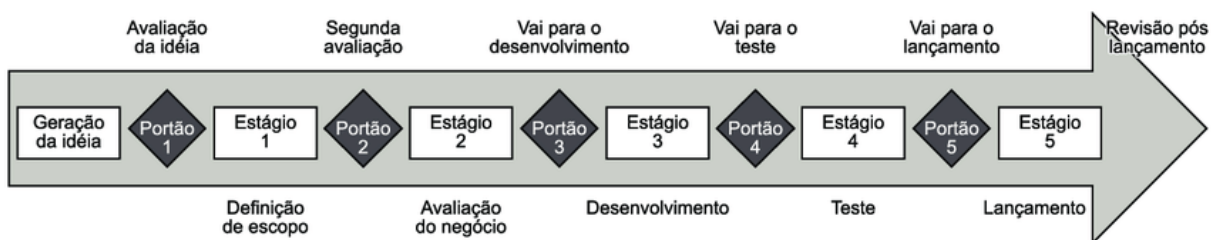
intensificam nesse estágio, com as decisões focando em solucionar problemas técnicos e mercadológicos. À medida em que o projeto avança, a incerteza diminui, mas são necessários maiores recursos financeiros (COOPER R., 2000). Em qualquer estágio do desenvolvimento, podem ser introduzidos protótipos, que funcionam como simulações do conceito inicial (ELVERUM E WELO, 2014). Ressalta-se, no entanto, que a maioria dos estudos sobre a gestão do desenvolvimento de produtos teve como foco grandes empresas, que apresentavam condições de estruturar processos de pesquisa, desenvolvimento e equipes para a inovação. Assim, modelos de desenvolvimento de produtos podem ser insuficientes para explicar como pequenas empresas, com orçamentos e recursos reduzidos conseguem inovar.

Assim que o desenvolvimento é concluído, isto é, quando o produto tem as características mínimas para ser lançado no mercado, inicia-se a **fase de captura de valor**, na qual a inovação será introduzida para os usuários e seu valor intrínseco será extraído por meio das vendas de produtos e serviços, em um processo dotado de incertezas externas à organização (JALONEN, 2012). O sucesso de uma inovação está intimamente ligado a essa fase, uma vez que de nada adianta desenvolver uma ideia que não seja apreciada pelo mercado na forma de um produto comercializável. A introdução de um produto no mercado é a essência da inovação, caso contrário trata-se apenas de uma *invenção* tecnológica (DZIALLAS E BLIND, 2019).

O processo de desenvolvimento de novos produtos, iniciado na fase de implementação e que se mantém até mesmo após a introdução da inovação no mercado, com os aprimoramentos de produtos e serviços existentes, foi extensivamente estudado por Cooper (1990), que desenvolveu um modelo padrão chamado *stage-gates*.

Para Cooper (1990), o processo de desenvolvimento de novos produtos deve seguir um padrão de tomada de decisão processual que pode ser gerenciado. No modelo *stage-gates*, cada etapa é finalizada por um portão (*gate*), que funciona como filtro de tomada de decisão de prosseguir ou não. Para passar pelo portão, a entrega do produto em desenvolvimento deve atender à requisitos pré-estabelecidos pela gestão. Assim, a cada etapa, o produto é aprimorado, o conhecimento acerca das tecnologias e do processo aumenta e, conseqüentemente, o risco diminui. São realizadas análises de viabilidade técnica e econômica, definido o escopo para incorporação das tecnologias inovadoras no produto e, finalmente, produzidos protótipos para serem lançados no mercado. Após o lançamento, o produto pode ser revisado e testado novamente, incorporando outras inovações que o façam se diferenciar do que se encontra no estado da arte. A Figura 4 apresenta uma adaptação do modelo original de Robert Cooper (1990), o *stage-gates*.

Figura 4: Modelo *stage-gates* de desenvolvimento de produtos



Fonte: Adaptado de Cooper, R. (1990).

Os modelos de Tidd e Bessant (2015) e Cooper (1990) são essencialmente lineares. Apesar da linearidade gráfica do modelo sugerido por Tidd e Bessant (2015), ele tem relevância para explicar o desenvolvimento de inovações ao considerar que *feedbacks*, reformulações de conceitos e abandono de projetos podem ocorrer, dependendo do caso. Além disso, considera as interações e o acúmulo de conhecimento externo em cada etapa, como ativo redutor de incertezas (KLINE E ROSENBERG, 1986; COHEN E LEVINTHAL, 1990). Sua intenção não é burocratizar ou incorporar os processos de desenvolvimento de produtos com inúmeras fases obrigatórias.

Nesse sentido, o modelo de Tidd e Bessant (2015) é diferente dos modelos tradicionais de processos de desenvolvimento de produtos, porque contempla o processo de aprendizado presente na inovação e coloca o desenvolvimento de produtos dentro de algo maior. Por mais que o *stage-gates* incorpore diversos aspectos de um modelo de inovação, ele possui alto grau prescritivo, assumindo que a inovação apresenta uma linearidade que pode ser gerenciada utilizando como base apenas o conhecimento interno sobre tecnologia, estratégia e mercado de uma empresa, o que nem sempre é verdadeiro (BAGNO ET AL., 2017). Por essa razão, enquanto processos tradicionais como o de Cooper (1990) são eficazes para explicar as inovações incrementais, mostram-se insuficientes para os casos em que o grau de novidade é maior ou que são necessárias complexas interações e absorção de conhecimento externo (ADAMS ET AL., 2006). O que está *antes* da definição do escopo do produto, isto é, toda a absorção de conhecimento necessária para a geração de inovações tecnológicas não é bem explorada pelo modelo de Cooper (1990).

Conforme notado por Kline e Rosenberg (1986), “a inovação é complexa, incerta, às vezes desordenada e sujeita a diversas mudanças”, o que adiciona a necessidade de maior dinamicidade a modelos de processos de inovação. Evidência dessa dinamicidade é o fato de que os processos de inovação são frequentemente compostos de reformulações de conceitos,

reinvenções de componentes e novos desenvolvimentos a partir de alterações de estratégia (ARBIX, 2010). À medida em que o conhecimento avança, um conceito inicial pode ter seu desenvolvimento congelado e um outro conceito pode ser introduzido. Durante a adoção de protótipos e simulações do produto final, podem surgir demandas técnicas e aplicações não cogitadas anteriormente. Além disso, durante os testes em campo, o *feedback* dos usuários pode alterar completamente o conceito inicial. Nesse cenário, a empresa pode até adotar a estratégia de desenvolver dois conceitos simultâneos, o que pode auxiliar a reduzir incertezas por meio do adiamento de decisões de prosseguir com o desenvolvimento de um conceito inadequado ao momento (SEIDEL, 2007).

Nesse contexto, Arbix (2010) argumenta que “não há receita pronta para se orientar”, uma vez que a inovação ocorre sempre em ambiente de ausência de informação futura, ou seja, em “ambiente de incerteza”. Dessa forma, um modelo de processo de inovação não deve ser seguido à risca, mas sim interpretado como um guia composto de incertezas e sinais críticos que auxiliam os gestores na alocação de recursos e na tomada de decisão de prosseguir ou não para cada uma das novas etapas (OSORIO, 2019).

2.1.4 As incertezas da inovação sob a ótica das complexidades do processo

2.1.4.1 Incerteza

Uma das constantes em todos os processos de inovação, independente do seu escopo, é a presença da incerteza (TATIKONDA E ROSENTHAL, 2000). Talvez por isso, o interesse da comunidade acadêmica tenha se voltado para a sua identificação, suas consequências no processo inovativo e para a proposição de soluções que visam reduzi-las, ao ponto de tornar mais gerenciável o processo de desenvolvimento de produtos inovadores (JALONEN, 2012).

Projetos de inovação radical apresentam alto grau de incerteza e exigem abordagens diferentes em relação a um processo de inovação incremental, que, de certa forma, pode ser gerido por um modelo tradicional, como o *stage-gates*. Esse fato implica que, ao remover as incertezas, aumenta-se a previsibilidade de resultados e a inovação pode ser mais facilmente gerenciada. Dessa forma, a identificação de incertezas que ocorrerão ao longo do processo antes que ele se inicie torna-se uma importante ferramenta para a gestão da inovação (TIDD, 2002; BAGNO ET AL., 2017).

Para Jalonen (2012), a incerteza resulta do fato de que “o conhecimento sobre o futuro é sempre incompleto”. Gales e Mansour-Cole (1995), nesse contexto, argumentam que a incerteza é resultado da “falta de clareza das relações causa e efeito e dificuldade de identificar

fontes apropriadas de informação para tomada de decisão”. A conclusão direta dessa linha de pensamento sobre a incerteza é que ela se refere à ausência de conhecimento sobre o futuro e também sobre os recursos disponíveis no presente. Assim, se ela tem relação com a falta de informação e conhecimento, é possível reduzi-la adicionando informação e conhecimento ao processo (JALONEN, 2012).

Se a incerteza surge da falta de informação, ela não necessariamente existe apenas quando tecnologias de última geração são adotadas em produtos inovadores. Qualquer tarefa durante o processo de inovação que envolva lidar com o novo estará dotada de incertezas, incluindo tarefas de comercialização, formação de novos arranjos organizacionais, formação de redes de relacionamento internas e externas, entre outras. A incerteza é, portanto, uma medida da “quantidade e qualidade de informação que deverá ser processada durante o processo para gerar o conhecimento necessário para avançar para a próxima etapa” (TATIKONDA E ROSENTHAL, 2000).

Diversos autores caracterizaram as fontes de incerteza, tais como a tecnológica, comercial e organizacional (FREEMAN E SOETE, 2008), além das incertezas sobre a disponibilidade de recursos, competição (SOUDER E MOENAERT, 2007) e comportamentais (CANTARELLO ET AL., 2011). Jalonen (2012), por sua vez, trouxe à tona as incertezas políticas, regulatórias e sobre as consequências da implementação dos produtos.

A partir da visão de Brashers (2006), na qual a incerteza é “resultado de inseguranças que ocorrem em situações complexas, quando a informação é indisponível ou inconsistente e quando as pessoas se sentem inseguras sobre o seu conhecimento ou sobre o estado de conhecimento em geral”, conclui-se que quanto maior o grau de complexidade de um processo de inovação, mais conhecimento será necessário para executá-lo e, conseqüentemente, maior será o grau de incerteza. Nesse sentido, a avaliação do grau e das fontes de complexidade em um processo de inovação promove maior capacidade de gestão sobre as suas incertezas e, notadamente, maior capacidade de gestão de riscos (KIM E WILEMON, 2003).

2.1.4.2 Definições de complexidade e risco

A complexidade de um processo de inovação foi definida de formas distintas por diversos autores. Murmann (1994) a define simplesmente como o número de componentes de um produto. Porém, essa definição abrange somente a dimensão do produto físico e as tecnologias e componentes envolvidos. Griffin (1997) avança ao definir a complexidade como o número de funcionalidades dentro de um produto. Assim, em sua visão, não basta um produto

ser dotado de dezenas de componentes para ser complexo. Sua definição está relacionada ao que o produto é capaz de oferecer ao mercado.

Uma definição mais abrangente é a de que a complexidade, além de se relacionar com a arquitetura do produto e suas funcionalidades, é também uma medida direta do grau de conhecimento e dispêndio de recursos necessários durante seu projeto de desenvolvimento (TATIKONDA E ROSENTHAL, 2000). Sob essa ótica, o grau de novidade do produto e a intensidade das interações e parcerias necessárias para gerenciar o processo, bem como o número de setores envolvidos e o grau de multidisciplinaridade também contribuem para criar complexidade (SBRAGIA, 2000; NOVAK E EPPINGER, 2001).

A complexidade pode ser vista como um atributo secundário das inovações (KIM E WILEMON, 2003). Diferente dos atributos primários, que são atributos intrínsecos ao produto inovador (por exemplo, preço, número de componentes, tecnologia envolvida), os atributos secundários são subjetivos e *percebidos* por quem adota ou desenvolve a inovação (DAMANPOUR E SCHNEIDER, 2009). Dessa forma, a complexidade não pode ser matematicamente medida, mas sim, percebida com base no tamanho do projeto de desenvolvimento, número de componentes, grau de dificuldade e grau de novidade. Para Kim e Wilemon (2003, p. 16):

A complexidade é definida de um ponto de vista gerencial, consistindo das dificuldades e incertezas (...) que os indivíduos e organizações enfrentam em processos de desenvolvimento de novos produtos.

Enquanto a complexidade é um atributo secundário do processo de inovação, o risco é uma medida dos custos e penalidades das consequências malsucedidas desse processo (ETGES E CORTIMIGLIA, 2019). Os riscos podem estar relacionados também ao “quanto está em jogo”, isto é, o dispêndio de recursos, os potenciais impactos para a empresa e as incertezas tecnológicas e de mercado envolvidas no processo (COOPER, 2019). Enquanto complexidade está atrelada à natureza do processo e risco às consequências, a incerteza é um conceito presente em ambos e parece moldar as percepções de ambos, complexidade e risco.

Os riscos podem afetar significativamente os resultados da inovação. Quanto mais radical, maior a incerteza quanto à viabilidade técnica e financeira de um produto ou serviço em desenvolvimento. Dependendo do impacto dessa inovação no modelo de negócios da empresa, o risco pode ser elevado (GARCIA E CALANTONE, 2002).

De forma geral, os riscos podem ser divididos em riscos tecnológicos (inerentes ao produto inovador) e riscos de mercado (inerentes a fatores externos). Os riscos tecnológicos dizem respeito a potenciais falhas na tecnologia envolvida no produto inovador, bem como na

integração de componentes que falham ao agir de forma sistêmica (MU ET AL., 2009). O uso de tecnologias altamente inovadoras, também colabora com o aumento de riscos (OGAWA E PILLER, 2006). Estratégias para aumentar o nível de prontidão da tecnologia (do inglês *Technology Readiness Level*), bem como para aprender a lidar com a tecnologia e desenvolver conhecimento tácito são importantes para mitigar esses riscos (KOSKINEN E VANHARANTA, 2002). Já os riscos de mercado dizem respeito a potenciais falhas na implementação dos produtos. Autores destacam a importância do conhecimento sobre o mercado, intensificação do relacionamento com o cliente e envolvimento do usuário em processos de desenvolvimento de novos produtos, como fatores que contribuem para diminuição desse tipo de riscos (OGAWA E PILLER, 2006).

Apesar de complexidade e risco estarem relacionados, o risco nem sempre será diretamente proporcional ao grau de complexidade. É possível que uma tarefa de alta complexidade e incerteza possua um risco baixo, como por exemplo, a substituição de uma linha de produtos que representa uma pequena porcentagem do faturamento total por um produto inovador. Ao mesmo tempo, tarefas de baixa complexidade como a mudança de um fornecedor de componentes do produto carro-chefe, pode envolver alto risco. Nesse último caso, não seria necessário um alto nível de conhecimento para a mudança, apesar de as consequências serem potencialmente prejudiciais à empresa. Essa lógica foi explicada por Kim e Wilemon (2003) que utilizaram o exemplo de uma brincadeira de roleta apostando um milhão de dólares (tarefa de baixa complexidade e alto risco) e de uma partida de xadrez valendo um dólar (alta complexidade e baixo risco). Os autores destacam a importância dos desenvolvedores de novos produtos ficarem atentos às situações em que tanto a complexidade quanto o risco sejam altos.

Figura 5. Posicionamento de atividades com base no grau de complexidade e risco



Fonte: Elaboração do autor (2020).

2.1.4.3 Fontes de complexidades dos processos de inovação

A incorporação de novas tecnologias, materiais, métodos e a velocidade com que as organizações executam o processo dentro de uma economia que pressiona os desenvolvedores criam complexidade (COOPER L., 2000). Partindo-se da definição proposta por Kim e Wilemon (2003, p. 16), em que a complexidade consiste das “incertezas impostas pelo número de tecnologias, funcionalidades, componentes e pela natureza das tarefas executadas durante projetos de desenvolvimento de produtos” (KIM E WILEMON, 2003). Por essa razão, a avaliação das complexidades é, até certo ponto, uma avaliação das incertezas de um processo de inovação (TATIKONDA E ROSENTHAL, 2000).

Kim e Wilemon (2003) identificaram as fontes de surgimento de diferentes tipos de complexidades que impactam de forma variável os processos de desenvolvimento de produtos. Muitas dessas fontes convergem com as fontes de incertezas, concluindo-se que complexidade e incerteza são diretamente relacionadas. São elas:

- a) **complexidade tecnológica:** observada a nível de componentes e tecnologias envolvidas no desenvolvimento do produto. O número de componentes e a dificuldade em sua integração aumentam significativamente o grau de tarefas necessárias para constituir a arquitetura do produto, aumentando a complexidade do projeto. É preciso conhecer a fundo os requisitos da entrega final do produto e como as tecnologias se comportam em conjunto (HENDERSON E CLARK, 1990). Além disso, lidar com tecnologias com grau de novidade elevado exige uma base cognitiva prévia ou aprendizado (BOSCHMA, 2005; AMARA ET AL., 2008), aumentando a complexidade.

- b) complexidade do ambiente de mercado:** relacionada às incertezas mercadológicas, tais como a presença de competidores, regulamentação e necessidades dos usuários. A dificuldade de identificar as mudanças nos padrões exigidos pelo mercado cria complexidade nos projetos de desenvolvimento e afeta a tomada de decisão de desenvolvimento. Isso se torna mais evidente em mercados imaturos, em que é difícil identificar as necessidades ocultas dos clientes e os potenciais usuários veem dificuldade em enxergar os benefícios da adoção de um produto complexo (HAMEL E PRAHALAD, 1994).
- c) complexidade de comercialização:** enquanto a complexidade do ambiente de mercado afeta a forma como os produtos são desenvolvidos, as complexidades de comercialização estão relacionadas às incertezas enfrentadas na implementação do produto, que dependem tanto da arquitetura do produto, quanto da natureza do mercado. A comercialização de um produto complexo envolve a comunicação para o cliente de uma gama de funcionalidades, exigindo certo grau de conhecimento técnico do cliente e maior grau de relacionamento entre cliente e vendedor, além de o processo de compra ser, frequentemente, prolongado (HOBDAV ET AL., 2000). Há maiores chances de o cliente rejeitar o produto por não conseguir verificar os benefícios de uma tecnologia que não é compatível com os padrões do mercado (KIM E WILEMON, 2003). As metodologias de marketing tradicionais não costumam funcionar com produtos complexos (AHEARNE ET AL., 2000) e as multifuncionalidades comuns nessa categoria de produtos adiciona complexidade aos processos de precificação (MEYER E UTTERBACK, 1995). Em suma, a comercialização de produtos complexos, normalmente depende de um processo de educação de potenciais usuários para a identificação de necessidades ocultas e de vantagens competitivas de um produto complexo (HAMEL E PRAHALAD, 1994; KIM E WILEMON, 2003).
- d) complexidade organizacional:** à medida em que são desenvolvidos e implementados produtos complexos, é necessário que haja cooperação entre vários departamentos da empresa. Para Griffin (1997), “o aumento do número de tecnologias, funções ou componentes que envolvem a participação de mais indivíduos e grupos funcionais pode gerar complexidade”. O grau de integração da equipe é um fator de sucesso (SONG E PARRY, 1992; ERNST, 2002) e, conseqüentemente, uma fonte de complexidade. Foi observado que equipes compartilhadas, isto é, que não se dedicam integralmente ao projeto de desenvolvimento, apresentam falhas de interpretação e comunicação (GEMSER E LEENDERS, 2011). As multitarefas, somadas à pressão por resultados no

tempo e os conflitos também geram complexidades que precisam ser gerenciadas (KIM E WILEMON, 2003).

- e) **complexidade interorganizacional:** as complexidades ocorrem em ambiente incerto e, portanto, expõem os limites cognitivos das organizações. Quando as organizações têm de desenvolver um conhecimento e não possuem recursos para tal, normalmente recorrem a parcerias externas (SBRAGIA, 2000; NOVAK E EPPINGER, 2001). Essas relações geram complexidade, como por exemplo, a necessidade de simetria cognitiva entre os parceiros. Além disso, problemas de comunicação e aprendizado podem surgir quando os atores da relação não estão geograficamente próximos (BOSCHMA, 2005). Kim e Wilemon (2003) destacam também problemas de dependência da equipe externa, os conflitos, os graus de formalidade e a síndrome do “não inventado aqui” como fontes de complexidade adicionais. As interações podem se dar com organizações não tradicionalmente envolvidas com o processo produtivo ou a geração de lucros, como as universidades. O papel das universidades como atores do desenvolvimento econômico e participantes junto a empresas é recente (ETZKOWITZ E LEYDERSDORF, 2000; ARBIX, 2010; ETZKOWITZ E ZHOU, 2017). Isso torna a interação universidade-empresa um processo altamente complexo, já que ainda parece existir um hiato entre os objetivos e ritmos de trabalho de ambas as organizações, o que revela incertezas interorganizacionais e regulatórias.

Altos graus de complexidade podem gerar impactos negativos no processo de inovação, bem como na implementação de novos produtos e serviços. Do lado negativo, está o fato de que a complexidade atrasa o desenvolvimento e dificulta a implementação dos produtos inovadores. Nesse caso, destacam-se o tempo de aprendizado necessário para dominar as tecnologias componentes de um produto complexo, a grande quantidade de componentes e etapas e o alto grau de novidade como atributos prejudiciais. Ao mesmo tempo, a complexidade pode desencorajar novos usuários (KIM E SRIVASTAVA, 1998), devido à ausência de produtos similares para comparação e ao grau técnico necessário para utilizar determinado produto (HAMEL E PRAHALAD, 1994; HOBDA Y ET AL., 2000). Por fim, a complexidade pode gerar falhas de comunicação entre equipes, voltar a atenção para tarefas não essenciais (por exemplo a solução de um problema tecnológico complexo em detrimento da alocação de recursos para o marketing) e estimular mudanças prejudiciais na hierarquia de poder da organização (por exemplo alguém que detém maior conhecimento tecnológico passa a ser respeitado como tomador de decisão em detrimento do gestor de produtos) (THOMAS, 1984; KIM E WILEMON, 2009).

Contudo, a gestão das complexidades identificadas também pode gerar impactos positivos na inovação. A complexidade pode ser vista como potencial vantagem competitiva, adicionando uma barreira de entrada aos competidores, que deverão desenvolver todo o *know-how* envolvido na criação e comercialização de um produto complexo. Além disso, por depender, muitas vezes de um componente tácito, a complexidade pode estimular o aprendizado e a geração de conhecimento, atraindo profissionais de alto nível técnico (MORRISON, 2008). O conhecimento passou a ser identificado como um dos principais ativos intangíveis das empresas, uma vez que as empresas podem apropriar-se de conhecimentos internos e externos para promover a inovação (COHEN E LEVINTHAL, 1990).

Sabe-se que em produtos de alta complexidade, fatores tradicionalmente mapeados como indicadores de sucesso como os conhecimentos sobre o processo de inovação, competências tecnológicas, investimento em P&D, propriedade intelectual e envolvimento de clientes no processo não são indicadores suficientes (KLEINKNECHT E PANNE, 2012). Esse fato destaca a presença da incerteza na inovação e reforça a importância da identificação de complexidades no processo, assim como a sua gestão para tomadas de decisão eficientes (KIM E WILEMON, 2003).

2.1.5 As tomadas de decisão no processo de inovação

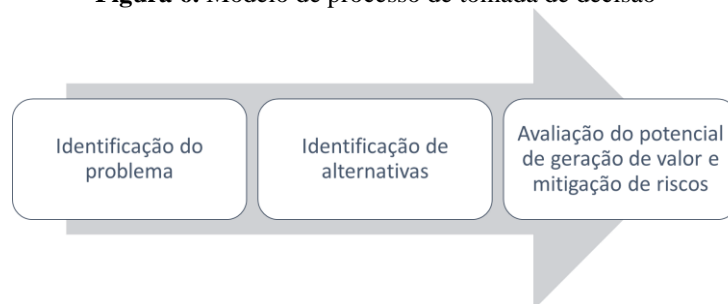
Apesar de os projetos de desenvolvimento de produtos variarem significativamente entre as empresas e até mesmo dentro da própria empresa (COOPER, R., 2000), a análise pela perspectiva das tomadas de decisão realizadas revela que tais decisões se repetem em todos os desenvolvimentos (KRISHNAN E ULRICH, 2001). Isso quer dizer que embora as etapas do processo de desenvolvimento de um novo produto sejam distintas, com diferentes desafios impostos, a padronização de certas decisões em etapas específicas permite uma avaliação consistente e comparável entre empresas.

Em cenários de incerteza, como os observados em processos de inovação com alto grau de novidade e complexidade, o resultado de geração de valor da inovação depende da qualidade das decisões tomadas. Tais decisões devem ser tomadas em uma constante avaliação de riscos e benefícios, o que também pode ser transformado em um processo (PETETIN ET AL., 2011). A documentação do processo de tomada de decisão auxilia na explicação do racional por trás das decisões tomadas, contribuindo com a transparência (BAKER ET AL., 2001).

Baker *et al.* (2001) estabeleceram um processo de oito etapas para tomada de decisão, visando aumentar a sua qualidade, isto é, o seu potencial de geração de valor e mitigação de riscos. Esse processo foi revisado e aprimorado para pequenas empresas, tendo em vista a

deficiência de recursos para execução de um processo formal de tomada de decisão, resultando em apenas três etapas centrais: (1) identificação do problema, (2) identificação de alternativas e (3) avaliação do potencial de geração de valor e riscos das decisões (PETETIN ET AL., 2011).

Figura 6. Modelo de processo de tomada de decisão



Fonte: Elaboração do autor (2020), a partir de Petetin *et al.* (2011).

Segundo Petetin *et al.* (2011), na fase de identificação do problema, o tomador de decisões deverá ter uma visão clara do ambiente decisório, incluindo o problema que aquela decisão visa resolver, quem são os stakeholders do produto e suas expectativas. Tais expectativas serão chave para a definição de requisitos (técnicos e econômicos) que a decisão tomada precisa mirar como objetivos, tendo em vista a geração de valor e mitigação de riscos da inovação. Na fase de identificação de alternativas, deverão ser avaliadas as soluções existentes para atingir os requisitos da fase anterior. Nesse momento, a empresa pode buscá-las internamente, por meio de estratégias de *brainstorming* e comunicação com especialistas da área e externamente por meio do *benchmarking* e consultorias (OKOLI E PAWLOWSKI, 2004; NUTT, 2007). Também se destacam metodologias para identificação de soluções orientadas para as necessidades dos usuários, como o *design thinking* (BONINI E SBRAGIA, 2011; BROWN, 2008) e as estratégias de avaliação da concorrência, por meio da prospecção tecnológica e dos bancos de patentes (MARTINO, 2003; CANONGIA ET AL., 2004). Por fim, na fase de avaliação do potencial de geração de valor e riscos, as soluções apresentadas como alternativas terão os seus impactos medidos (PETETIN ET AL., 2011).

Apesar da proposição de um método que facilita o entendimento da tomada de decisão como um processo, muitas empresas não utilizam uma estrutura pré-definida e acabam tomando decisões no desenvolvimento de produtos de forma intuitiva e automática, na maioria das vezes (KRISHNAN E ULRICH, 2001; OWENS, 2009). A literatura tem focado nessa questão, evidenciando que apesar de cada projeto ter o seu escopo e graus de complexidade, as decisões se repetem ao longo de seu andamento. Decisões estas que estão relacionadas ao conceito

selecionado para desenvolvimento, à arquitetura do produto, sua configuração, alocação de recursos para o projeto, organização de cronogramas, entre outros aspectos, que independem do tipo de tecnologia que está sendo desenvolvida ou do ambiente de inovação. Essa é a maneira de enxergar os processos de inovação pela perspectiva da tomada de decisão (KRISHNAN E ULRICH, 2001). Tal perspectiva explica os processos de inovação oferecendo uma visão simplificada sobre a resolução de incertezas, apoiadas em decisões, sem se preocupar com o processo no qual essas decisões são tomadas, apesar de considerar que este processo existe, mesmo que de forma não estruturada (WHETTEN, 1993).

Krishnan e Ulrich (2001) identificaram uma série de decisões tomadas em dois momentos cruciais para o desenvolvimento de produto: decisões tomadas *durante o planejamento* dos projetos e decisões tomadas *durante* os projetos. Dessa forma, as decisões perpassam por dúvidas recorrentes sobre como solucionar problemas nesses dois momentos, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2. Decisões recorrentes tomadas para solucionar problemas no planejamento de projetos e durante projetos de desenvolvimento de produtos.

Momento da tomada de decisão	Cerne da decisão	Problema a ser solucionado (decisão)
Planejamento do projeto	Organização do desenvolvimento do produto	Que parcerias serão estabelecidas? Em que local físico será desenvolvido o produto? Que investimentos serão realizados?
	Gestão do projeto e entregas	Qual será o prazo de entrega dos produtos? Serão definidos <i>milestones</i> ou <i>checkpoints</i> ? Como será o método de comunicação entre as equipes de desenvolvimento?
Durante o projeto	Desenvolvimento do conceito	Qual é o conceito a ser gerado? Qual é a arquitetura do produto? Como os componentes serão integrados? Que variantes do produto serão oferecidas? Que componentes serão divididos entre as variantes? Qual será o design do produto final?
	Design da cadeia de valor	Que componentes serão desenvolvidos? Quem irá desenvolver os componentes?
	Teste de performance e validação	Qual é o plano de prototipação? Como o produto será implementado?

Fonte: Elaboração do autor (2020), com base na listagem de decisões tomadas em projetos de desenvolvimento de produtos listadas por Krishnan e Ulrich (2001).

2.2 O FENÔMENO DA INOVAÇÃO NA ECONOMIA DO CONHECIMENTO

A inovação tecnológica e seus desdobramentos têm sido amplamente reconhecidos como “algumas das mais significativas fontes de desenvolvimento econômico das nações” (ARBIX, 2010). O estudo da inovação, de seus ecossistemas, dos fatores que a estimulam e de seus efeitos, porém, não deve desconsiderar a longa trajetória pela qual passam todas as tecnologias desde a sua concepção até o lançamento no mercado (KLINE E ROSENBERG, 1986). E mesmo no lançamento, a tecnologia apresenta-se em seu primeiro estágio de comercialização, de forma primitiva e a partir da competição por melhores posições no mercado, passa por melhorias, reformulações e releituras até obter sucesso. Por conta desse dispendioso processo, à revelia de seu potencial benéfico à sociedade, a inovação é reconhecida por diferentes graus de incerteza (FREEMAN E SOETE, 2008), que impõem uma série de barreiras ao desenvolvimento econômico advindo do lançamento de novos produtos, processos, novas metodologias ou suas melhorias.

Nesse contexto, o conhecimento passou a figurar como uma importante fonte de diferenciação para um processo inovativo mais robusto, com progressiva redução de incertezas à medida em que o grau de conhecimento avança, capaz de gerar maiores desdobramentos (COHEN E LEVINTHAL, 1990). O conhecimento destaca-se também como um dos ativos complementares aos ativos tradicionais tangíveis, favorecendo a capacidade absorptiva das empresas, a apropriação de tecnologias externas e o sucesso das empresas no longo prazo (TEECE, 1986).

Em um mundo globalizado e conectado, o ciclo de vida dos produtos está cada vez menor e a competição mais acirrada, obrigando as empresas a apresentarem de forma mais rápida novas versões ou melhorias de seus produtos e processos, mantendo assim as suas vantagens competitivas (BAGNO ET AL., 2017). Nesse novo modelo de economia, pautada no conhecimento como ativo motor do avanço tecnológico, é evidente a mudança do papel das instituições de pesquisa e universidades que outrora estiveram orientadas para a ciência pura, mas que atualmente são participantes ativas do processo de inovação (ARBIX, 2010).

2.2.1 **As *spin-offs* acadêmicas e os acadêmicos empreendedores**

Algumas das manifestações mais simbólicas da capitalização do conhecimento gerado na nova economia do conhecimento são as *spin-offs* acadêmicas, empresas de base tecnológica que surgem da universidade como empreendimentos de professores, pesquisadores e outros membros da comunidade acadêmica. Essas empresas exploram o conhecimento ou propriedade

intelectual gerados na universidade, levando-os ao mercado na forma de novos produtos tecnológicos (SHANE, 2004).

A definição de *spin-offs* acadêmicas proposta por Scott Shane será adotada neste trabalho, devido às suas importantes contribuições para a área, compiladas no livro “Academic Entrepreneurship: Spinoffs and Wealth Creation” (SHANE, 2004). Ademais, ela restringe o universo das empresas *spin-offs* às empresas de base tecnológica que, de alguma forma, se aproveitam da proteção intelectual de um produto altamente inovador desenvolvido em universidades para se posicionarem no mercado. Shane (2004) deixa claro que o conceito de *spin-off* não é um consenso, mas que ao considerar as definições propostas por Roberts (1991) e outros, é evidente que, para o autor, as *spin-offs* são um fenômeno empresarial que se alimenta do conhecimento gerado nas universidades, em um ecossistema no qual a instituição de pesquisa exerce um papel empreendedor por meio de seus pesquisadores inventores.

Shane (2004, capítulo 2) discorre sobre os motivos pelos quais as *spin-offs* devem ser objeto de interesse de pesquisadores e formuladores de políticas públicas, destacando que: a) elas geram e estimulam desenvolvimento econômico; (b) esse desenvolvimento transborda para a universidade mãe na forma de royalties e oportunidades de emprego para estudantes, mestres e doutores, isto é, auxiliam na formação profissional de pessoal altamente qualificado; (c) tecnologias que resolvem problemas da sociedade atraem atenção de investidores e induzem investimentos na universidade mãe; (d) a empresa se torna referência, desenvolvendo sua região; (e) o processo que as *spin-offs* percorrem permite o desenvolvimento de tecnologias incertas; (f) estimulam o pensamento inventivo; (g) o retorno financeiro das *spin-offs* financiará mais pesquisas; (h) há evidências científicas de que as *spin-offs* acadêmicas têm maiores chances de performarem acima da média e realizarem uma ofertas públicas inicial (IPO).

As *spin-off* acadêmicas também são vistas como alternativas para o licenciamento de tecnologias embrionárias das quais empresas estabelecidas não tiveram interesse e que nunca seriam desenvolvidas de outra forma (PATTNAIK E PANDEY, 2014; WECKOWSKA, 2015). Nesse sentido, é importante mencionar o papel relevante que os escritórios de transferência de tecnologias das universidades e institutos de pesquisa adquiriram na nova economia do conhecimento. Essas entidades, chamadas Núcleos de Inovação Tecnológica (NIT) no Brasil, passaram a não serem somente responsáveis pela identificação e absorção da propriedade intelectual produzida na academia, mas também pela comunicação com empresas sobre essas invenções para futuros contratos de transferência tecnológica, notadamente, a gestão da propriedade intelectual (MACHO-STADLER ET AL., 2007; WECKOWSKA, 2015).

No entanto, muitos desses escritórios de transferência de tecnologia ainda não exercem ativamente funções mercadológicas, tendo sua atuação como *receptores* de propriedade intelectual produzida nos laboratórios mais evidente do que a de *gestores* de propriedade intelectual e como *escritórios de transferência de tecnologia* mais discretas. Essa última exige competências na área de gestão de relacionamentos com empresas que os escritórios de transferência das universidades com foco em ciência pura ainda precisam desenvolver (WECKOWSKA, 2015). Nesse contexto, a criação de *spin-offs* acadêmicas pode auxiliar na formação da experiência da equipe desses escritórios de transferência, pois já são criadas no âmbito da universidade e apresentam à equipe do NIT as demandas do setor produtivo, sem que seja necessário ao NIT descobri-las ativamente. Por isso, é recomendado que os NITs se envolvam na geração de *spin-offs* desde a sua concepção, se aproximando de laboratórios e incubadoras, adotando programas de estímulo ao empreendedorismo e atuando na identificação de projetos de P&D que tenham potencial de se tornarem empreendimentos (CÂMARA, 2018).

Todos os benefícios de ordem social e econômica das *spin-offs* acadêmicas têm em sua essência o fato dessas empresas explorarem tecnologias de alto valor agregado potencial, e possuírem em seu corpo de empregados um pesquisador com conhecimento tácito acerca da tecnologia (SHANE, 2004), o que pode ser compreendido como a presença de ativos complementares aos tradicionais, conferindo grande vantagem competitiva a essas empresas (TEECE, 1986). Por outro lado, Alvarez e Barney (2007) constatam que a criação e sobrevivência de *spin-offs* não acontece sem desafios (barreiras internas e externas a serem superadas, como culturais, institucionais, técnicas, estrutura, planejamento, gestão, recursos humanos, finanças, marketing e vendas, conflito de interesses, entre outras) aos atores envolvidos neste processo de gestão da inovação: universidades, governos e, de modo particular, os pesquisadores.

2.2.2 Desafios das *spin-offs* acadêmicas para se manterem competitivas

O sucesso das *spin-offs* como empresas, considerado aqui como seus resultados econômicos, financeiros e sociais advindos da venda de produtos tecnológicos, não é regra. Conforme observado Ndonzuau *et al.* (2002), a maioria das *spin-offs* surgem da academia sem um protótipo ou produto adequado ao mercado e, por isso, têm de passar por um longo processo de desenvolvimento de produtos que envolve a realização de provas de conceito, melhorias de performance e robustez nos produtos, simplificação do seu uso, adequação às necessidades do mercado e ganhos de escala. Por isso, muitas vezes, as *spin-offs* são consideradas empresas que, em sua fundação, encontram-se no estágio “menos dois”, por quase sempre terem de passar por

um processo incerto de prova de conceito e prototipação até que sua inovação chegue ao mercado, o que seria o estágio zero (SHANE, 2004). Não é surpreendente, portanto, que os fatores que levam à sobrevivência das *spin-offs* no longo prazo estejam associados à presença de investidores, ao auxílio fornecido pelos escritórios de transferência de tecnologia das universidades e à presença de uma equipe empreendedora experiente no time (KNOCKAERT ET AL., 2011; WECKOSWSKA, 2015; PROKOP ET AL., 2019)

O desenvolvimento de novos produtos é, portanto, um processo frequente e crucial na vida de toda *spin-off* acadêmica. Com a ascensão da nova economia do conhecimento como ativo central das empresas tecnológicas, diversos autores se voltaram para o estudo desse processo nas inovações e, mais especificamente, nas *spin-offs* (GRAS ET AL., 2008; CLEYN ET AL., 2009; TEIXEIRA E FERREIRA, 2019).

Cleyn *et al.* (2009) observaram que as empresas *spin-offs* possuem vantagens em relação às tradicionais no que tange o desenvolvimento de novos produtos tecnológicos, principalmente porque normalmente possuem equipes altamente capacitadas e que sabem listar os recursos necessários para a execução do plano de desenvolvimento tecnológico. Além disso, tais equipes são multidisciplinares e mantêm uma relação estrita com a universidade de origem, o que aumenta a segurança do negócio e permite o acesso à infraestrutura e à conhecimento externo para o cumprimento das etapas do processo. Entretanto, algumas das deficiências das *spin-offs* estão estritamente relacionadas à inexperiência de mercado da equipe (KNOCKAERT ET AL., 2011). Muitas vezes, os pesquisadores fundadores ainda carregam consigo a cultura de publicar artigos científicos ao invés de protegerem as descobertas e a equipe não orienta o desenvolvimento às necessidades do mercado, bem como não possui um estudo de mercado adequado (VOHORA ET AL., 2004). Como resultado, as *spin-offs* correm o risco de não terem uma estratégia de desenvolvimento de produtos bem definida e focam em poucos processos de desenvolvimento ou, muitas vezes, um único (CLEYN ET AL., 2009).

A inexperiência de mercado da equipe, por si só, não explica a ausência de processos de desenvolvimento de novos produtos bem definidos e, como consequência, ausência de um grande portfólio de produtos inovadores. As *spin-offs*, muitas vezes, são criadas para explorar tecnologias pioneiras em mercados inexistentes e, por isso, não encontram uma infraestrutura desenvolvida para desenvolver e explorar seus produtos comercialmente, além de terem dificuldade em captar recursos humanos qualificados e recursos financeiros adequados aos projetos de desenvolvimento (FERNÁNDEZ-ALLES ET AL., 2014). Nesse sentido, as *spin-offs*, por não possuírem uma estrutura de recursos robusta, tendem a ser obrigadas a mudar o seu perfil de “altamente inovadoras” para “geradoras de fluxo de caixa operacional”, após o

lançamento do primeiro produto. Essa estratégia diminui riscos, mas afeta o seu potencial inovador (NDONZUAU ET AL., 2002).

A maioria das empresas desenvolve inovações com o objetivo de aumentar a sua competitividade perante ao mercado e utiliza mecanismos de proteção intelectual (PI) para proteger suas invenções tecnológicas (PARK ET AL., 2015). Não é coincidência, portanto, que o potencial competitivo de uma empresa esteja diretamente correlacionado com o impacto das tecnologias que ela desenvolve e/ou absorve (BANERJEE, 2014). A área de gestão estratégica de propriedade intelectual, sob esse contexto, fornece importantes recomendações para maximizar os retornos da pesquisa e desenvolvimento realizados em torno de novas tecnologias e é particularmente importante para *spin-offs* acadêmicas, universidades e institutos de pesquisa que atuam na fronteira conhecimento (TEIXEIRA E FERREIRA, 2019).

As patentes são os mecanismos de proteção intelectual mais estudados pela academia, enquanto outros como os direitos autorais e marcas recebem menor atenção (BOS ET AL., 2015). Alguns estudos sugerem que microempresas, em especial, *startups* de tecnologia preferem mecanismos de proteção informais, como o pioneirismo e o segredo industrial, por conta da ausência de recursos financeiros e, principalmente, desconhecimento sobre a gestão estratégica de propriedade intelectual (OLANDER ET AL., 2014). Apesar disso, quando o universo explorado se volta para *spin-offs* acadêmicas, os resultados demonstram que possuir ativos de PI formais e a sua gestão são importantes para o ganho de competitividade, incluindo conquista de novos mercados e acesso a recursos financeiros (SINGH, 2015; TEIXEIRA E FERREIRA, 2019).

2.2.3 Relação universidade-empresa e seu papel na inovação

A interação universidade-empresa é elemento comum nas *spin-offs*, uma vez que tais empresas surgem e dependem do conhecimento tácito de pesquisadores da academia que se envolvem diretamente com o negócio (GRAS ET AL., 2008). A proximidade do relacionamento com a universidade é considerada uma vantagem competitiva, uma vez que a *spin-off* poderá ter acesso a pessoal qualificado para suas operações e infraestrutura especializada para realizar parcerias e novas pesquisas (CHANDRA E SILVA, 2012). Além disso, a capacidade de absorver conhecimento das *spin-offs* é elevada, visto que as redes de relacionamento formadas entre pesquisadores fundadores e a comunidade científica facilita a assimilação de conhecimento externo recente que possa ter aplicações comerciais (MURRAY, 2004). Em uma análise de custo-benefício do investimento nos principais ativos de capital intelectual capazes de gerar valor em empresas, Greco *et al.* (2013) listam a interação entre

spin-offs e sua instituição de origem como o mais benéfico, seguido de uma estrutura de processos bem definida e do relacionamento com parceiros e fornecedores. Todo esse arcabouço pode favorecer a inovação em *spin-offs* acadêmicas (SHANE, 2004).

A seleção de parceiros é um processo complexo, pois as parcerias devem ser bem alinhadas para atenderem às necessidades tecnológicas, de estratégia, modo de pensar e serem compatíveis culturalmente para cooperarem de forma mútua, ao ponto de aceitarem mudanças de escopo de projeto e objetivo. As expectativas de longo prazo com relação ao projeto também devem estar alinhadas (EMDEN ET AL., 2006). Por sua complexidade, muitas parcerias são realizadas de maneira informal, sem o devido registro estruturado no processo de desenvolvimento de produtos, apesar de muitas serem duradouras (TETHER, 2002).

As parcerias podem ocorrer em qualquer fase do processo de inovação, mas é na fase de seleção de projetos, quando as empresas avaliam as competências e recursos internos que elas costumam acontecer (JOHNSON, 2008). Elas podem gerar benefícios para a inovação tais como a divisão dos custos e riscos do P&D, acesso a novas tecnologias e conhecimento sobre como fazer (*know-how*), acesso a mercados inexplorados e mudança de posicionamento (CHESBROUGH, 2003). Entretanto, durante o processo de interação com atores externos pode haver riscos de divulgação indevida de *know-how* e falhas de comunicação (HLADIK, 1988; RITALA ET AL., 2015). Além disso, pode ocorrer sobrecarga de trabalho para um dos lados, por falta de estrutura ou porque não há alinhamento sobre as capacidades necessárias para execução de determinada parte do projeto, bem como devido à falta de um plano de trabalho estruturado (SAAD, 2004).

Para que a parceria obtenha sucesso, é necessário que a informação flua livremente entre as partes, incluindo a informação técnica (PERKS E JEFFERY, 2006). A base cognitiva dos atores da interação deve ser próxima o suficiente do conhecimento que eles buscam desenvolver ou acessar para que sejam capazes de se comunicar, entender e processá-lo corretamente. (BOSCHMA, 2005). Portanto, apesar das parcerias estarem empiricamente associadas à inovação de maior impacto, elas envolvem vários componentes de incerteza que se somam ao risco inerente à inovação (HLADIK, 1988; SAAD, 2004; EMDEN ET AL., 2006; RITALA ET AL., 2015).

2.2.4 Lei da inovação brasileira como estímulo à interação universidade-empresa

O fenômeno da “universidade empreendedora”, com estímulo à criação de novos negócios pela adoção de políticas de empreendedorismo, fortalecimento da transferência de tecnologia e da relação com empresas tem sido importante para o suporte da atividade

econômica local (ETZKOWITZ, 2009). Os potenciais transbordamentos gerados, tanto científico-tecnológicos, quanto econômicos, a partir da relação universidade-empresa influenciam na atração de novos negócios, contribuindo ainda mais para o desenvolvimento regional (AUDRETSCH ET AL., 2005). Considerando a proximidade física e de relacionamento das *spin-offs* com a sua universidade de origem, a avaliação das interações universidade-empresa, sobretudo do ponto de vista legal, são de grande relevância para este contexto. Avaliar os alicerces regulatórios que sustentam a atividade de *spin-offs* acadêmicas e a interação universidade-empresa no Brasil auxilia no entendimento das decisões tomadas por gestores de inovação nessas empresas, incluindo as decisões tomadas em projetos de interação com a universidade.

Com o objetivo de fortalecer as atividades empreendedoras e de inovação tecnológica em instituições de pesquisa, regulações foram introduzidas e a fundação de *spin-offs* acadêmicas passou a ser estimulada pelo poder público. Legislações como o *Bayh-Dole Act* nos Estados Unidos e o *Hochschullehrerprivileg* na Alemanha, alteraram o entendimento sobre a titularidade da propriedade intelectual gerada nas universidades, que passou a ser da instituição, enquanto os inventores passaram a ter direito sobre uma parcela dos ganhos econômicos a partir da comercialização dos resultados da pesquisa. Além disso, essas leis instituíram os escritórios de transferência de tecnologia nas universidades, como entidade responsável por fomentar o licenciamento de tecnologias dotadas de proteção de intelectual, como as patentes, direitos autorais, know-how, desenhos industriais e outras. (COELHO ET AL., 2019).

No Brasil, a preocupação com a inovação como motora do desenvolvimento econômico é recente. De acordo com Arbix (2010, p. 176):

Desde o início dos anos de 2000 o debate sobre inovação começou a tomar corpo. Os avanços nessa direção, possibilitados pela definição da Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior, em 2004, e sua nova versão de 2008 (a Política de Desenvolvimento Produtivo – PDP), assim como pela aprovação da Lei de Inovação e a Lei do Bem, combinaram-se com uma série de outros instrumentos e dispositivos legais, tributários e institucionais que melhoraram de forma significativa o ambiente econômico para a inovação no país.

É possível citar também a Lei nº 10.168/2000, que instituiu o financiamento do Programa de Estímulo à Interação Universidade-Empresa para o Apoio à Inovação, permitindo o surgimento dos Fundos Setoriais, em especial, o Fundo Verde Amarelo, que se destina a financiar programas e projetos cooperativos entre universidades, centros de pesquisa e empresas (FINEP, 2020).

A Lei nº 9.279/1996, conhecida como Lei de Propriedade Industrial, já exibiu reflexos da Lei *Bayh-Dole* dos Estados Unidos, quando em seu Artigo 88º estabelece que a invenção

pertence exclusivamente ao empregador quando o contrato de trabalho tenha por objeto a pesquisa, incluindo as instituições públicas em seu Artigo 93º.

A Lei de Inovação Brasileira (Lei nº 10.973/2004) forneceu maior segurança jurídica a essa legislação, quando aplicável às universidades e outras Instituições Científicas, Tecnológicas e de Inovação (ICTs), assegurando ao inventor participação mínima de 5% e de no máximo 1/3 dos ganhos econômicos auferidos pela universidade a partir de contratos de transferência de tecnologia. Ademais, toda Instituição Científica, Tecnológica e de Inovação, de acordo com a Lei, deverá instituir uma Política Interna de Inovação e um Núcleo de Inovação Tecnológica (NIT) para apoiar a sua gestão.

A Lei de Inovação estabeleceu medidas de incentivo à inovação e à pesquisa científica e tecnológica, com o intuito de fortalecer e desenvolver o sistema produtivo do país e teve, recentemente, sua redação alterada pelo Marco Legal da Ciência e Tecnologia (Lei nº 13.243/2016), como forma de reduzir inseguranças jurídicas que atuavam como barreiras ao estabelecimento de contratos de parcerias entre universidades e empresas (RIBEIRO, 2019 p. 41). Ela estabelece que as ICTs poderão apoiar a consolidação de ambientes promotores de inovação. Nesse sentido, está previsto no Artigo 4º que a ICT poderá “mediante contrapartida financeira ou não financeira e por prazo determinado”, compartilhar sua infraestrutura laboratorial e de equipamentos com outras ICTs e empresas para realização de atividades de pesquisa, desenvolvimento, incubação e inovação sem que haja prejuízo ou conflito com a atividade-fim de pesquisa da ICT. Essa prerrogativa reforçou a importância das interações universidade-empresa como promotoras da inovação tecnológica, consolidando o novo papel das universidades que já vinha sendo observado em outros países (ETZKOWITZ E ZHOU, 2017). Cabe, no entanto, às ICTs definirem os termos dessas parcerias em sua Política Interna, o que faz com que possivelmente nem todas as ICTs tenham processos bem definidos de interação universidade-empresa, ressaltando a importância de atores dinâmicos, com alto poder de liderança, chamados na literatura de *champions*, que possam intermediar essas relações (PLEWA E QUESTER, 2008).

Mesmo com as prerrogativas legais definidas, as parcerias entre universidades e empresas ainda são consideradas “incipientes, fracas, cheias de obstáculos e com pouquíssimos resultados” (GARCIA ET AL., 2018, p. 100). Menos da metade das empresas brasileiras que inovam consideram as universidades e outras ICTs como fonte significativa de informação e conhecimento para a inovação (IBGE, 2014). Adicionalmente, as empresas brasileiras têm dificuldade em contratar pessoal qualificado com formação e conhecimento técnico nas áreas produtivas, além de não possuírem pessoal que entenda da dinâmica das universidades para

estabelecer interações. Ao mesmo tempo, tais interações são prejudicadas pela falta de conexão das pesquisas acadêmicas com demandas do setor produtivo e fatores culturais, como a preocupação com a produção acadêmica em detrimento da proteção intelectual (RAPINI ET AL., 2017).

Os achados de Rapini *et al.* (2017) corroboram a ausência de *champions* na maioria das empresas brasileiras o que pode estar relacionado à ausência de uma função definida para a interação, chamada de “função inovação” (O’CONNOR, 2012). Essa função parece ser essencial para empoderar indivíduos com a autonomia suficiente para atuar na interface entre empresas e universidades, estabelecendo parcerias e gerindo-as (BAGNO ET AL., 2015; RESENDE, 2018).

3 JUSTIFICATIVA

A metodologia de estudo de caso é uma das formas mais poderosas de desenvolver teorias com base em situações da vida real relacionadas à gestão de desenvolvimento de produtos, que envolvem variáveis sociais, mercadológicas, organizacionais e contextos muito particulares. Ao mesmo tempo, pode ser utilizada com a abordagem dedutiva, na qual um grupo de premissas são avaliadas na prática, buscando confirmações ou refinamentos de teorias existentes, o que pode ser útil quando o tema ainda é emergente na literatura (FINCH, 1999). Os resultados dos estudos de caso podem ter grande impacto, sendo fonte importante de *insights* para os próprios pesquisadores, que se expõem a problemas reais. Ademais, estudos de caso têm grande aceitação entre os principais interessados nos resultados das pesquisas: os profissionais da área estudada (VOSS ET AL., 2002; CROWE ET AL., 2011).

O potencial indutivo dos estudos de caso esbarra em limitações como a dependência de uma amostra elevada para generalizações. No entanto, o estudo de poucos casos ou mesmo um único, oferece oportunidade de aprofundamento, quando usado sob a ótica dedutiva, sendo capaz de testar teorias. Ademais, pode inspirar novas pesquisas quando o caso é raro ou quando tal contexto é dificilmente amostrado para a investigação científica (CROWE ET AL., 2011). Tais condições oportunas foram observadas para selecionar o caso deste trabalho.

A história do caso estudado nesta pesquisa ocorre em um cenário no qual as doenças transmitidas pelo mosquito *Ae. aegypti* apresentam forte expansão e as metodologias tradicionais para o monitoramento desse vetor encontram-se estagnadas (EIRAS E RESENDE, 2009). Inserida nesse cenário, está a Ecovec, uma *spin-off* acadêmica da UFMG fundada em 2002, que licenciou, desde o seu surgimento, uma série de tecnologias desenvolvidas na universidade. Tais tecnologias se provaram capazes de monitorar a infestação de adultos de *Ae. aegypti* e a circulação viral diretamente nos mosquitos capturados. A empresa implementou um sistema que une tais tecnologias, denominado MI-Aedes®, que se traduz em uma importante ferramenta de medição de risco de epidemias, sendo utilizado para redução de gastos com saúde pública (PEPIN ET AL., 2013; PEPIN ET AL., 2015).

Uma oportunidade de inovação no MI-Aedes foi identificada pela equipe da empresa, ao notar uma deficiência na sensibilidade da armadilha responsável por capturar os mosquitos em campo, quando comparada a outras armadilhas de monitoramento de adultos disponíveis. Já havia sido observado em estudos que a sensibilidade da armadilha (capacidade de detectar a presença do vetor por meio da captura), poderia ser aumentada caso mais dispositivos fossem instalados por área (RESENDE ET AL., 2012). Porém, ao longo dos anos, essa estratégia foi

abandonada, dada a inviabilidade operacional de se monitorar um número maior de armadilhas. Devido ao seu histórico de interações universidade-empresa e ao seu relacionamento duradouro com o laboratório do Prof. Álvaro Eiras, acadêmico fundador da empresa, a empresa interagiu com parceiros para o desenvolvimento de uma solução tecnológica inovadora.

Uma dessas interações levou à elaboração de um projeto de desenvolvimento de um software que utiliza um modelo estatístico capaz de indicar regiões com alta probabilidade da presença de mosquitos, mesmo na ausência de capturas, resolvendo o problema da baixa sensibilidade da armadilha. Esse conceito não estava definido inicialmente e surgiu como solução ao problema após interações com pesquisadores da UFMG e do CEFET-MG¹.

Considerando o potencial do estudo de caso único como ferramenta de análise, essa estratégia foi adotada neste trabalho para estudar o projeto de desenvolvimento dessa inovação para a saúde pública realizado nas instituições de pesquisa, que teve como foco a transferência da tecnologia para a *spin-off* acadêmica já estabelecida, a Ecovec. Ciente das limitações de generalização, o objetivo foi testar as seguintes hipóteses:

- H1) As decisões tomadas em projetos de desenvolvimento de inovações em instituições de pesquisa diferem significativamente das que são observadas pela literatura nos projetos de desenvolvimento de produtos realizados em empresas, não sendo possível utilizar um arcabouço padronizado para prevê-las.*
- H2) As complexidades e incertezas enfrentadas no projeto são semelhantes às que ocorrem em projetos de desenvolvimento de produtos e influenciam nas decisões tomadas.*

Esse levantamento de decisões e complexidades não parece ter sido explorado pela literatura no contexto de desenvolvimento de inovações em universidades e também em interações universidade-empresa até o momento. Além disso, o estudo foi realizado por meio da observação participante, na qual um dos integrantes ativos do projeto foi responsável pelas análises. O levantamento das complexidades enfrentadas no projeto e das decisões tomadas poderá, ainda, gerar reflexões que inspirem a análise de casos semelhantes, com o objetivo de estabelecer, após extensivos resultados no tema, um modelo indutivo de desenvolvimento de inovações em instituições de pesquisa visando a transferência de tecnologias, papel que as universidades passam gradualmente a exercer na nova economia do conhecimento.

¹ O universo do caso estudado, bem como as necessidades do mercado e os estímulos tecnológicos que desencadearam o desenvolvimento do produto foram apresentados no [Apêndice A](#) desta dissertação. O protótipo desenvolvido, por sua vez, foi descrito no [Apêndice B](#), como forma de apresentar também o resultado do esforço prático realizado durante o Mestrado Profissional. Ressalta-se que detalhes profundos sobre o funcionamento do software foram mantidos em sigilo, como estratégia de propriedade intelectual.

4 OBJETIVOS

O objetivo geral deste estudo é realizar uma avaliação das complexidades, incertezas e decisões ocorridas em um processo de desenvolvimento de uma inovação realizado por instituições de pesquisa com foco na transferência da tecnologia para uma *spin-off* acadêmica e verificar se elas diferem das que ocorrem em projetos tradicionais de desenvolvimento de produtos em empresas.

Devido à pouca base para a generalização que a metodologia de estudo de caso único fornece, o presente trabalho tem como objetivo apresentar um arcabouço de decisões não generalizável que pode inspirar a avaliação do processo de desenvolvimento de inovações em outras *spin-offs* acadêmicas e durante interações universidade-empresa. Apesar dessa limitação, o estudo do caso selecionado fornece evidências sobre as diferenças entre as decisões tomadas nesse tipo de processo e aquelas tomadas em processos estruturados de desenvolvimento de produtos para que, a partir de estudos futuros de outros casos, seja possível estabelecer um modelo de processo de desenvolvimento de novas inovações aplicável a universidades, no cenário em que gradualmente, essas instituições se tornam motoras da inovação tecnológica.

Nesse sentido, apresentam-se como objetivos específicos:

- a) apresentar o contexto do caso estudado;
- b) apresentar o processo de desenvolvimento da inovação;
- c) detalhar as complexidades enfrentadas pelos integrantes do projeto e relacioná-las com os tipos de incertezas mapeadas na literatura científica;
- d) apresentar o arcabouço de decisões tomadas no planejamento e durante o projeto;
- e) discutir como as complexidades e decisões tomadas no caso estudado se assemelham ou divergem de outros processos de desenvolvimento de produtos realizados em empresas, fornecendo evidências do que pode ser esperado na gestão de inovações desenvolvidas em universidades.

5 METODOLOGIA

5.1 ESTUDO DE CASO E OBSERVAÇÃO PARTICIPANTE

Inicialmente, foi adotada a metodologia de estudo de caso por meio da estrutura de relato dos principais acontecimentos ocorridos ao longo do projeto. Para avaliação destes acontecimentos foi adotada a metodologia de observação participante, na qual o observador, autor deste trabalho posicionou-se como *insider* do projeto sem informar aos integrantes da equipe sobre os aspectos que estavam sendo avaliados. Foi adotada a metodologia proposta por Denzin (1989, p. 157-158), combinando a análise de notas, a entrevista dos integrantes do projeto, a participação direta nas interações e a introspecção. Os acontecimentos registrados por essa metodologia foram analisados buscando-se antecedentes na literatura sobre parcerias no processo de inovação em interações universidade-empresa.

Para avaliação de aspectos anteriores ao caso estudado, foi realizada uma entrevista com um dos diretores da empresa *spin-off* envolvida no caso, análise de documentos disponíveis em bases de dados e fornecidos pela empresa e universidades.

5.2 AVALIAÇÃO DE COMPLEXIDADES E INCERTEZAS DO PROJETO

As incertezas enfrentadas no projeto foram avaliadas sob a perspectiva das complexidades. Assumindo a definição de complexidade apresentada neste trabalho e, portanto, a relação direta entre complexidades e incertezas, foi realizada uma oficina com toda a equipe participante do projeto (4 integrantes) para a identificação de complexidades inspirado no modelo de avaliação proposto por Kim e Wilemon (2003), com significativas adaptações.

Foi elaborado um formulário com a listagem e detalhamento de cada complexidade identificada por Kim e Wilemon (2003), dentre elas a complexidade tecnológica, complexidade de mercado, complexidade de desenvolvimento, complexidade de comercialização, complexidade organizacional e complexidade interorganizacional. Além da descrição escrita sobre o que significava cada complexidade, foi fornecida uma explicação oral sobre o significado de cada uma antes do preenchimento do formulário.

Foi dado a cada participante da oficina, então, uma cópia do formulário para preenchimento com tempo livre para conclusão ([Apêndice C](#)). Cada participante deveria definir uma nota de 1 a 7, sendo que 1 significava menor grau de complexidade e 7 significava maior grau de complexidade. Além disso, foi solicitado que detalhassem a justificativa para a nota na seção “Comentários”. Ao fim do preenchimento, as notas fornecidas por cada participante

foram somadas, fornecendo uma visão geral sobre as complexidades percebidas por aquele participante. Também foram discutidos pontos fortes e de melhoria sobre o projeto.

Por se tratar de uma equipe de desenvolvimento com poucos integrantes, não houve divisão em setores de atuação (P&D, engenharia, marketing e produção) como sugerido por Kim e Wilemon (2003). Além disso, a oficina foi realizada somente após o desenvolvimento do protótipo, de forma retrospectiva, pois a avaliação de complexidades surgiu como oportunidade de pesquisa somente quando o projeto já se encontrava em estágio avançado.

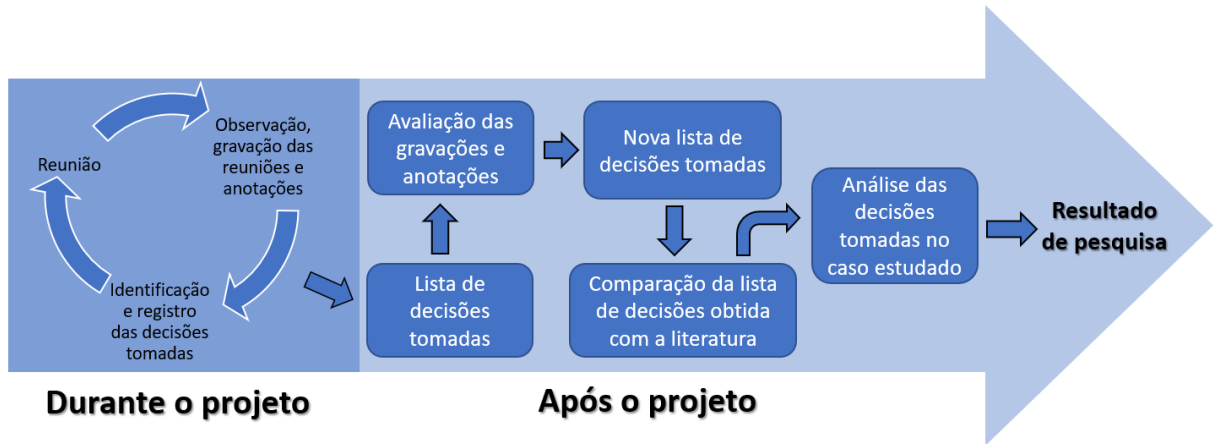
5.3 LEVANTAMENTO DE DECISÕES TOMADAS NO PROJETO

A avaliação sobre as decisões que precisaram ser tomadas no projeto ocorreu em dois momentos: *durante* e *após* o projeto. Para levantamento de decisões *durante* o projeto, foi utilizada a observação participante, com a intenção de buscar pontos de tomada de decisão em cada reunião e etapa do projeto. Para auxiliar nas avaliações, foram tomadas notas em cada reunião e o áudio das reuniões com a equipe de desenvolvimento foi gravado com o consentimento dos participantes para posterior análise. Logo após cada reunião, foi realizada uma reflexão individual sobre as decisões que precisaram ser tomadas por meio da leitura das notas, atas de reunião e escuta dos áudios gravados. O ciclo se repetiu a cada reunião.

Na etapa de avaliação *após* o projeto, que se iniciou após a última reunião realizada, as gravações de áudio das reuniões e anotações foram novamente avaliadas, buscando pontos de tomada de decisão que auxiliassem na geração de um arcabouço representativo da totalidade das decisões tomadas durante o projeto. A lista proposta por Krishnan e Ulrich (2001) foi utilizada como guia para identificação de decisões que não haviam sido apontadas na metodologia de observação e avaliação das gravações e notas.

As decisões identificadas foram separadas em dois tipos: (1) decisões tomadas para o planejamento do projeto e (2) decisões tomadas durante o projeto, independente se estavam ou não na lista proposta por Krishnan e Ulrich (2001). Prosseguiu-se com uma reflexão sobre as particularidades observadas no arcabouço de decisões encontrado (decisões tomadas em projetos de inovações desenvolvidos em universidades), comparando-as às decisões identificadas por Krishnan e Ulrich (2003), classificadas aqui como decisões tomadas em projetos de desenvolvimento de produtos tradicionais (realizados em empresas). A figura abaixo resume o processo metodológico utilizado para a identificação das decisões que precisaram ser tomadas.

Figura 7. Processo para identificação de decisões tomadas durante o desenvolvimento da inovação



Fonte: Elaboração do autor (2020).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 APRESENTAÇÃO DO CASO

A narrativa do caso estudado neste trabalho ocorre em um cenário no qual as arboviroses transmitidas pelo mosquito *Aedes aegypti* apresentam forte expansão e as metodologias tradicionais para o monitoramento deste vetor encontram-se ultrapassadas². A pesquisa larvária é considerada a metodologia padrão, tendo sido utilizada em 1923 para o monitoramento da febre amarela (CONNOR E MONROE, 1923). Até hoje, é utilizada no Brasil e no mundo, porém, se mostrou imprecisa para apontamento do risco de transmissão de arboviroses (EIRAS E RESENDE, 2009). Inserido neste cenário, está o Laboratório de Inovação Tecnológica e Empreendedorismo em Controle de Vetores (Lintec) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) que desenvolveu, a partir de pesquisas do Prof. Dr. Álvaro Eiras, a MosquiTRAP®, uma armadilha para monitoramento da fase adulta do vetor *Ae. aegypti*, permitindo assim o levantamento da população diretamente associada ao risco de transmissão de arboviroses (FÁVARO ET AL., 2006; EIRAS E RESENDE, 2009; MELO ET AL., 2012).

Com o objetivo de levar a tecnologia desenvolvida nos laboratórios da universidade ao mercado, após o desenvolvimento da MosquiTRAP, o Prof. Álvaro Eiras fundou, em parceria com sócios da aceleradora Instituto Inovação, uma empresa *spin-off* acadêmica, chamada Ecovec, em 2002³. Todas as versões da armadilha MosquiTRAP foram patenteadas com titularidade da UFMG (EIRAS 2002 – Patente PI0106701-0; EIRAS, 2005 - Patente PI0203907-9), tendo sido licenciadas⁴ com exclusividade para a Ecovec.

O Lintec, por sua vez, continuou a desenvolver tecnologias com potencial de mercado e outras que poderiam ser incorporadas à MosquiTRAP para aumentar a sua eficiência. Por exemplo, no modo de operação da armadilha são utilizados atraentes de oviposição, cujas formulações foram desenvolvidas no Lintec, patenteadas com titularidade da UFMG (EIRAS

² Detalhes sobre a contextualização do universo em que a inovação está inserida foram disponibilizados no [Apêndice A](#) deste trabalho.

³ As informações sobre o histórico da Ecovec foram obtidas através de comunicações pessoais com o então Diretor Comercial da empresa, L. F. B., nos dias 12 e 13 de dezembro de 2019. O arquivo de áudio das entrevistas encontra-se sob posse do autor desta dissertação, sendo acessíveis sob demanda.

⁴ As informações sobre contratos de licenciamentos firmados entre UFMG e Ecovec foram obtidas da base de dados da Coordenadoria de Transferência e Inovação Tecnológica da UFMG (CTIT-UFMG), a partir do acesso ao documento “Contratos de Licenciamento da Universidade Federal de Minas Gerais” (CTIT, 2017; Disponível em: <http://www.ctit.ufmg.br/wp-content/uploads/2017/03/Contratos-de-Licenciamento-da-Universidade-Federal-de-Minas-Gerais.pdf>; Acesso em 16 de janeiro de 2020).

E SANT'ANA, 2001 – Patente PI0106701-0) e transferidas com exclusividade para a Ecovec. Posteriormente, em 2005, após pesquisas financiadas pelo SEBRAE, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), foi desenvolvida uma nova versão da MosquiTRAP, que apresentou um design dominante utilizado até hoje. Essa nova versão foi patenteada tendo como titulares a UFMG e a Ecovec (EIRAS, 2005 - Patente PI0505952-6) sendo, em seguida, licenciada, novamente com exclusividade, para a empresa.

O procedimento para o monitoramento, de nome comercial MI-Aedes®, foi desenvolvido em 2005 durante uma interação Lintec-UFMG-Ecovec e patenteado com o nome “Sistema de monitoramento e controle de endemias e armadilha com atraentes sintéticos de oviposição para captura de mosquitos” também com titularidade dividida entre Ecovec e UFMG (EIRAS, 2005 – Patente PI 0506220-9). Da mesma forma que as anteriores, a patente foi licenciada para a empresa com exclusividade.

Em 2009, seguindo essa trajetória tecnológica pautada na inovação, foi desenvolvido um novo componente do MI-Aedes, chamado MI-Vírus, em um projeto de interação universidade-empresa, com recursos provenientes da Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG). Ele consiste na detecção de vírus diretamente em mosquitos capturados nas armadilhas e enviados a um laboratório da Ecovec (EIRAS ET AL., 2018). O seu desenvolvimento uniu o avanço tecnológico na área de biologia molecular (BOOM ET AL., 1990) com a identificação da necessidade não declarada do mercado por informações mais precisas sobre os locais de circulação viral. A tecnologia foi depositada como patente em 2010 com titularidade compartilhada entre UFMG, FAPEMIG e Ecovec e licenciada sem exclusividade de exploração comercial pela Ecovec. O pedido ainda não foi concedido pelo Instituto Nacional de Propriedade Industrial (NUNES ET AL., 2010 – Depósito PI1002842-0).

Desde a introdução do MI-Aedes, a Ecovec buscou otimizar a metodologia de monitoramento do *Ae. aegypti*, por meio da definição do número mínimo de armadilhas instaladas em campo que seria capaz de produzir indicadores de infestação confiáveis, o que exigia conhecimentos em estatística que não faziam parte do rol de competências e habilidades da equipe. Por essa razão, em 2012, foi selecionado como parceiro o grupo de pesquisas do Prof. Dr. José Luiz Acebal, do Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), que somou conhecimentos ao *know-how* fornecido pelo Lintec da UFMG na área de biologia e comportamento do *Ae. aegypti*. Essa interação permitiu adicionar o rigor estatístico necessário para a formulação de metodologias de aplicação da MosquiTRAP em campo e também

possibilitou o estabelecimento de um relacionamento profissional de longo prazo entre o Prof. Álvaro e o Prof. Acebal, que se mantém até os dias atuais⁵.

Nota-se, portanto, que a propriedade intelectual, a interação universidade-empresa e a atividade de transferência de tecnologias foram essenciais na história da Ecovec, permitindo resolver problemas complexos e inovar no mercado de saúde pública. No decorrer da trajetória tecnológica da *spin-off*, essas interações também resultaram na publicação de trabalhos acadêmicos que reforçaram a qualidade técnica de seus produtos, além de comprovarem a sua eficiência (RESENDE, 2009; EIRAS E RESENDE, 2009; RESENDE ET AL., 2012; RESENDE ET AL., 2013; MELO ET AL., 2012; PEPIN ET AL., 2013; PEPIN ET AL., 2015; FERREIRA ET AL., 2017; MUDELE ET AL., 2020). Além disso, muitos estudos não chegaram a ser publicados, permanecendo como segredo industrial e *know-how* da empresa e dos laboratórios envolvidos.

Em um desses trabalhos (RESENDE ET AL., 2012) foi identificado que a população de *Ae. aegypti* é significativamente maior do que a capacidade da armadilha MosquiTRAP de capturar essa população de mosquitos. Em outras palavras, a armadilha apresenta baixa sensibilidade, capturando uma pequena amostra dessa população, fato este que é fonte de críticas à usabilidade da armadilha como ferramenta de monitoramento (CODEÇO ET AL., 2015). Por outro lado, foi observado que a sensibilidade da MosquiTRAP pode ser aumentada, aumentando-se o número de armadilhas instaladas por área (RESENDE ET AL., 2012). Porém, esse aumento é inviável do ponto de vista operacional, pelo fato de que tornaria o MI-Aedes caro e dispendioso.

Considerando os achados de Resende *et al.* (2012) e a inviabilidade operacional do aumento do número de armadilhas por área em situações de monitoramento em larga escala, a Ecovec utilizou-se novamente da sua experiência com a interação universidade-empresa para buscar parcerias que visassem solucionar o problema de baixa sensibilidade da MosquiTRAP.

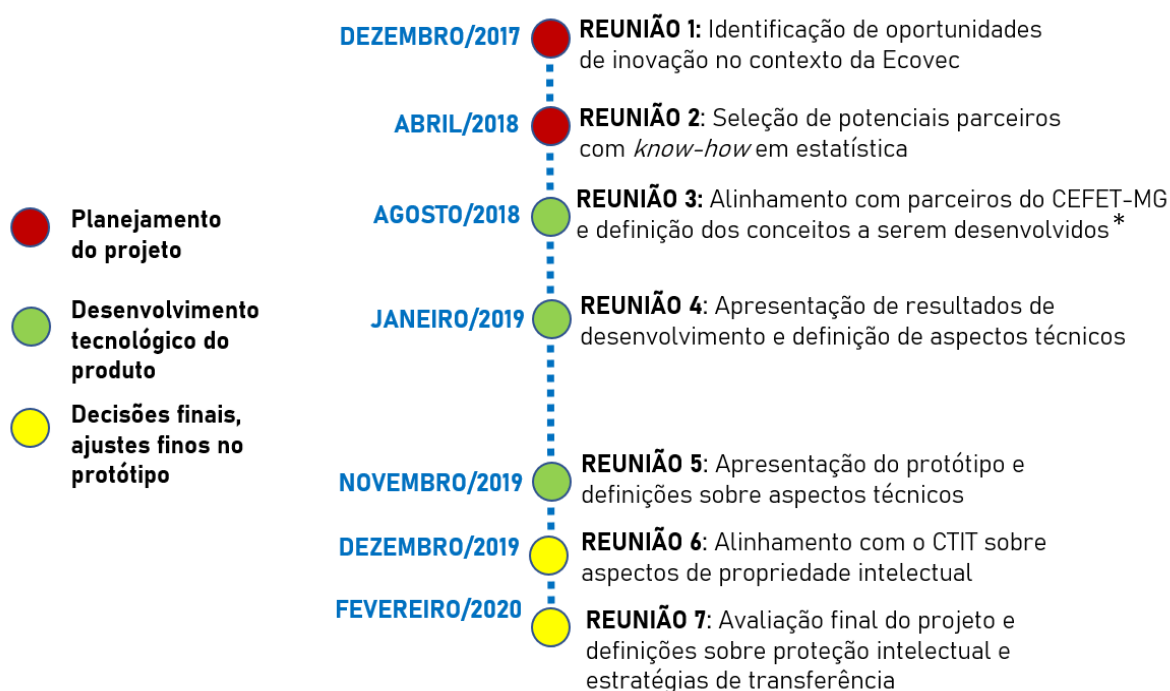
Uma dessas interações levou a elaboração de um projeto de desenvolvimento de um software que utiliza um modelo estatístico capaz de indicar regiões circulares (clusters) de alta probabilidade de se encontrar fêmeas adultas de *Ae. aegypti*, mesmo que algumas armadilhas não as tenham capturado. Este conceito não estava definido inicialmente e surgiu como solução ao problema, após interações com pesquisadores da UFMG e do CEFET-MG.

⁵ Informações obtidas através de comunicação pessoal com o Prof. Dr. Álvaro Eiras e Prof. Dr. José Luiz Acebal, além de consulta aos currículos da Plataforma Lattes de ambos os pesquisadores, disponíveis respectivamente em: Currículo Prof. Dr. Álvaro Eiras: <http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?id=K4781156Z3> e Currículo Prof. Dr. José Luiz Acebal: <http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?id=K4782533Z8>

6.2 ESTUDO DE CASO: O PROJETO DE DESENVOLVIMENTO DA INOVAÇÃO

O projeto de desenvolvimento foi dividido em três etapas: (a) planejamento do projeto, (b) desenvolvimento tecnológico do produto e (c) decisões finais e ajustes finos do protótipo. Em cada uma das etapas, foram realizadas reuniões para alinhamento de expectativas com relação ao desenvolvimento e discussão de aspectos técnicos e de planejamento. Essas reuniões simbolizaram pontos importantes de tomada de decisão, de acordo com o esquema abaixo.

Figura 8. Linha do tempo de reuniões do projeto de desenvolvimento da inovação



*A Reunião 3 também contempla elementos de planejamento, pois consistiu de atividades de decisão da equipe do projeto, bem como dos locais físicos onde seriam desenvolvidos os conceitos.

Fonte: Elaboração do autor (2020).

6.2.1 Planejamento do projeto

Em dezembro de 2017, a Ecovec realizou uma interação com o Lintec da UFMG, expondo a necessidade do desenvolvimento de novos indicadores de infestação que considerassem a sensibilidade reduzida da MosquiTRAP em relação a outras armadilhas⁶. Esse contato (Reunião 1), que ocorre no ambiente físico da empresa, permitiu a identificação de oportunidades de inovação, que se traduziram em conceitos de novos produtos.

⁶ O [Apêndice A](#) desta dissertação, conforme informado na seção anterior, contém um tópico dedicado ao detalhamento técnico do caso estudado neste trabalho. Esse tópico inclui informações sobre a biologia do mosquito *Aedes aegypti*, bem como características técnicas e mercadológicas que influenciaram na decisão de iniciar um projeto de desenvolvimento de novos produtos para atuarem no mercado de saúde pública.

Um desses conceitos era o de utilizar modelos matemáticos já publicados na literatura científica para prever o comportamento da infestação de *Ae. aegypti* nos municípios, de forma a otimizar o planejamento da utilização de recursos, além de permitir o controle vetorial mais assertivo em regiões que apresentassem alta probabilidade de aumento de infestação no futuro. Esses modelos utilizam como base dados climáticos e socioeconômicos, além do próprio histórico de infestação de *Ae. aegypti* para produzir cenários esperados para o comportamento da infestação com semanas de antecedência (PEPIN ET AL., 2015; OBENAUER ET AL., 2017; FERREIRA ET AL., 2017; MUDELE ET AL., 2020). Apesar de sua alta complexidade, pelo fato de envolver conhecimentos avançados em programação, estatística e *machine learning*, o desenvolvimento de um produto que se aproveitasse dos dados de infestação produzidos pela Ecovec e realizasse previsões de infestação era a primeira opção de inovação.

Foi preciso, então, buscar parceiros com *know-how* avançado em estatística e programação que pudessem auxiliar no desenvolvimento do produto. Em abril/2018, após algumas reuniões com parceiros externos, foi realizada uma reunião (Reunião 2), também na Ecovec, para selecionar esses parceiros. O Lintec, na figura do Prof. Álvaro Eiras, acionou a antiga parceria estabelecida com o CEFET-MG, com uma proposta de uma nova parceria para o desenvolvimento de uma solução. Essa escolha levou em conta o relacionamento já estabelecido com o grupo de pesquisas do CEFET-MG e seu avançado *know-how* em estatística. Após alguns contatos e uma reunião de alinhamento realizada em agosto/2018 (Reunião 3), foi formada uma equipe de desenvolvimento, composta por integrantes da UFMG e do CEFET-MG. A equipe final do projeto, definida na Reunião 3, contou ainda com a integração de um dos funcionários do setor de Relacionamento com o Cliente da Ecovec, também autor desta dissertação e aluno do Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica e Propriedade Intelectual da UFMG. A partir da Reunião 3, todos os contatos se realizaram fora da empresa.

Quadro 3. Integrantes do projeto de desenvolvimento da inovação, suas instituições e papéis no projeto

Integrante	Formação	Instituição	Principais papéis no projeto
Prof. Dr. Álvaro Eiras	Biólogo, Doutor em Entomologia	UFMG	Contribuir com o <i>know-how</i> em biologia e comportamento do vetor <i>Ae. aegypti</i> ; estabelecer parcerias; coordenar a comunicação entre as equipes.
Lucas Zanandrez	Biomédico, Mestrando em Inovação Tecnológica e Propriedade Intelectual	UFMG e Ecovec	Contribuir com o <i>know-how</i> sobre necessidades dos usuários; contribuir com o <i>know-how</i> sobre o MI-Aedes; estabelecer requisitos e funcionalidades chave do produto pretendido; organizar e ceder os dados reais para o desenvolvimento da inovação.
Prof. Dr. José Luiz Acebal	Doutor em Física, foco em Modelagem Computacional de Sistemas Complexos	CEFET-MG	Contribuir com o <i>know-how</i> em estatística, traduzir os aspectos técnicos do software e comunicar os resultados e andamento do projeto ao restante da equipe; orientar o desenvolvimento do software.
Luiz Gustavo Consani	Sistemas de informação	CEFET-MG	Contribuir com o <i>know-how</i> em tecnologia da informação (TI); unir os conhecimentos adquiridos e desenvolver o software; comunicar os resultados e aspectos técnicos do software e do desenvolvimento com o restante da equipe; testar e corrigir falhas de desempenho.

Fonte: Elaboração do autor (2020).

6.2.2 Desenvolvimento tecnológico da inovação

A etapa de desenvolvimento tecnológico da inovação teve início em agosto/2018, já na Reunião 3, com a seleção de conceitos que poderiam ser desenvolvidos, incluindo o conceito de previsão de infestação utilizando modelos matemáticos identificado anteriormente como oportunidade, que chamamos neste trabalho de conceito 1. Outro conceito surgiu nessa reunião: a identificação de regiões circulares (clusters) de alta probabilidade de se encontrar mosquitos, mesmo que as armadilhas não os tenham capturado (conceito 2). Esse conceito permitiria a solução do problema da baixa sensibilidade da MosquiTRAP porque adotaria uma modelagem estatística aos dados semanais de capturas de fêmeas de *Ae. aegypti* de um grupo de armadilhas.

Quadro 4. Conceitos identificados como potenciais candidatos a serem adotados em novos produtos

Conceito 1	Conceito 2
Previsão de infestação utilizando modelos matemáticos descritos na literatura	Identificação de regiões circulares (clusters) de alta probabilidade de se encontrar mosquitos, a partir de modelagem estatística aplicada a dados reais

Fonte: Elaboração do autor (2020).

Alguns fatores fizeram com que se abandonasse o desenvolvimento do conceito 1. Não havia recursos humanos suficientes para a execução da grande quantidade de tarefas necessárias para a produção de modelos matemáticos adaptáveis a diferentes cenários. Além disso, os modelos matemáticos existentes na literatura possuíam limitações quanto à generalização, não

podendo ser adotados em todos os clientes da Ecovec, sem um desenvolvimento prévio e individualizado. Apesar de não ter sido realizado um processo formal de avaliação de complexidades nessa etapa, nota-se que a complexidade tecnológica intrínseca ao desenvolvimento do conceito 1 foi suficiente para causar o seu abandono. Kim e Wilemon (2003) destacam que projetos com alta complexidade tecnológica podem direcionar recursos excessivos para determinadas atividades, prejudicando, por exemplo, o desenvolvimento do plano de negócios. O abandono do conceito 1 reforça que há incerteza na inovação e que são necessárias reformulações de conceitos ou congelamento de conceitos como forma de reduzi-los (SEIDEL, 2007). Com isso, apenas o desenvolvimento do conceito 2 foi continuado.

Inicialmente, a aplicação do conceito 2 a um produto não estava clara para todos os integrantes do projeto, evidenciando a incerteza organizacional de processos de inovação, sobretudo causada pela dificuldade de comunicação entre as equipes, que possuíam diferentes níveis de conhecimento tácito acerca da tecnologia necessária para o desenvolvimento do produto pretendido. Esse fato exibiu um déficit de proximidade cognitiva entre as equipes, algo que pode ocorrer durante o desenvolvimento de inovações tecnológicas em que há interações multidisciplinares (BOSCHMA, 2005).

Foram necessários muitos contatos adicionais e horas de estudo para entendimento geral acerca dos aspectos técnicos que seriam embarcados em um produto que utilizasse esse conceito, o que revela que o simples acesso ao conhecimento tácito não é suficiente para permitir a sua transferência para um produto. Foi necessário desenvolver uma capacidade absorptiva para identificar, interpretar e explorar o novo conhecimento, conforme já explorado por pesquisadores da área de inovação (COHEN E LEVINTHAL, 1990; BOSCHMA, 2005).

Após o término da Reunião 3, ficou decidido que seria necessário trabalhar com dados reais e atualizados. A Ecovec, então, cedeu voluntariamente dados de dois municípios clientes que utilizam o MI-Aedes como base para o desenvolvimento, testes de performance e validação de inovações. Apesar de ter cedido os dados, todo o desenvolvimento foi realizado nas dependências das duas instituições de pesquisa, UFMG e CEFET-MG, fora do ambiente corporativo e sem assinatura de acordo de parceria. Ademais, apesar de um dos funcionários ter participado da equipe de desenvolvimento da inovação, esse o fez na condição de aluno do Mestrado Profissional na UFMG, fora do horário de trabalho. O possível conflito de interesses nessa relação foi esclarecido junto à empresa, em tempo oportuno, concluindo-se que a empresa não teria direito à titularidade sobre as tecnologias desenvolvidas já que, apesar de o desenvolvimento ter sido iniciado a partir de uma relação universidade-empresa, o projeto foi executado exclusivamente por duas instituições de pesquisa, UFMG e CEFET-MG.

Na Reunião 4, que ocorreu em janeiro/2019, as equipes se reuniram para apresentação de um protótipo de software que adotava o conceito 2. O protótipo funcionou com simulações de dados e em testes com dados reais, tendo sucesso na primeira prova de conceito. Nessa reunião, foram discutidos aspectos técnicos do desenvolvimento e algumas funcionalidades que poderiam ser adicionadas ao produto final. Além disso, o Prof. Dr. José Luiz Acebal apresentou todo o arcabouço teórico por trás do modelo matemático adotado, esclarecendo uma série de dúvidas conceituais acerca do tema. Nesse momento, houve maior facilidade no entendimento dos conceitos teóricos, o que pode ser explicado pela maior proximidade cognitiva e social gerada pela participação contínua dos integrantes no projeto de desenvolvimento (BOSCHMA, 2005). O processo de aprendizado para a inovação é cumulativo, o que pode gerar significativas diferenças cognitivas entre organizações diferentes (FILIOU E MASSINI, 2017). Por outro lado, uma vez que uma nova estrutura organizacional é estabelecida e os integrantes dessa organização interagem socialmente em prol de um mesmo objetivo, é mantida uma relação de confiança e comprometimento, o que facilita a comunicação e, conseqüentemente, o aprendizado (BOSCHMA, 2005; OOMS ET AL., 2018).

Após a Reunião 4, houve um hiato de 10 meses até que a equipe se reunisse novamente. Durante esse período, apenas pequenas alterações nos componentes do produto foram realizadas. O atraso no desenvolvimento parece ter sido ocasionado por ausência de um prazo de entrega formal do projeto, além da intensificação da rotina acadêmica dos professores envolvidos no desenvolvimento, o que fez com que o projeto ficasse em segundo plano.

Diferenças culturais que existem entre pesquisadores e equipes de desenvolvimento de produtos, como a prioridade dos acadêmicos pela produção científica, bem como a geração de novos conhecimentos ditos “puros” em detrimento de sua aplicação prática são fatores que sabidamente diminuem o ritmo de entrega de projetos de inovação durante interações universidade-empresa (RAPINI ET AL., 2017). Nesse sentido, políticas públicas que favoreçam o desenvolvimento de inovações em universidades e que prestigiem pesquisadores que se aventuram no empreendedorismo podem estimular inovações tecnológicas em contextos semelhantes, acelerando o processo e favorecendo uma mudança cultural nos institutos de pesquisa (SHANE, 2004; RAPINI ET AL., 2017).

Tais aspectos culturais são considerados complexidades interorganizacionais, gerando “desafios significativos no que tange à cooperação e comunicação entre os grupos” (KIM E WILEMON, 2003, p. 23). Por outro lado, se a complexidade interorganizacional é superada, ambas as organizações ganham confiança na gestão de projetos complexos, o que culmina “não só na geração de produtos, como também de aprendizado” (KIM E WILEMON, 2003; p.24).

Na Reunião 5, ocorrida em novembro/2019, foi apresentada a última versão do protótipo, com as melhorias solicitadas na reunião 4. Porém, assim que a equipe de desenvolvimento avaliou novamente a inovação, surgiu um conceito que não havia sido pensado anteriormente: a capacidade de o sistema detectar falhas de instalação de armadilhas (conceito 3). O sistema poderia ser adaptado para calcular regiões em que há reincidência de regiões com alta probabilidade de presença de mosquitos e que, ao mesmo tempo, apresentam armadilhas negativas (zero capturas) por longos períodos. Assim, o sistema seria capaz de indicar que tais armadilhas estão mal instaladas ou com defeitos operacionais que prejudicam a captura. Esse novo conceito não foi testado em uma versão operacional do sistema, porém, o seu surgimento, em uma etapa avançada do desenvolvimento demonstra como os produtos inovadores são compostos de uma série de reformulações que surgem ao longo do acúmulo de conhecimento (ARBIX, 2010).

6.2.3 Decisões finais e ajustes finos do protótipo

Com o protótipo apresentando o funcionamento esperado, foi iniciado o processo de proteção intelectual da invenção. Para tal, considerando que o desenvolvimento ocorreu em duas instituições públicas de pesquisa, foi necessário acionar os Núcleos de Inovação Tecnológica das instituições, que por força legal, são as entidades responsáveis pela gestão de sua política de inovação (Lei 13.242/16, art. 16). A Coordenadoria de Transferência e Inovação Tecnológica (CTIT), entidade que responde como NIT da UFMG, foi acionada para esse papel, assim como o NIT do CEFET-MG.

Ficou definido entre os autores e o NIT do CEFET-MG que o processo de proteção intelectual será gerenciado pela CTIT, devido à sua maior experiência com transferência de tecnologias e a existência de uma política formal de inovação na UFMG⁷. Em uma reunião realizada em dezembro/2019 (Reunião 6) ficou estabelecido que seria necessário realizar a Notificação de Programa de Computador, documento formal que informa à CTIT sobre o desenvolvimento de um software por parte de servidores da UFMG. Além disso, foi preciso firmar um contrato formal de parceria, estabelecendo as titularidades de cada instituição de pesquisa no desenvolvimento.

Por fim, na Reunião 7, realizada já em fevereiro/2020, esses aspectos foram revistos. Ficou decidido que o software será registrado como programa de computador e que o

⁷ A UFMG estabeleceu a sua Política de Inovação em 2018, regulamentada pelas resoluções nº 03/2018 e nº 04/2018, disponíveis em: <http://www.ctit.ufmg.br/wp-content/uploads/2017/03/Resolu%C3%A7%C3%B5es-da-Pol%C3%ADtica-de-Inova%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em 28 de fevereiro de 2020.

procedimento do CTIT será iniciado assim que a equipe finalizar o envio do código-fonte do programa. Além disso, nessa reunião, ocorreu a dinâmica de avaliação de complexidades e avaliação final do projeto.

A importância do CTIT como instituição parceira do processo de proteção intelectual e futura transferência da tecnologia ficou clara para a equipe, corroborando os estudos de Shane (2004), que comenta sobre o impacto positivo que escritórios de transferência de tecnologia experientes possuem sobre o sucesso de inovações desenvolvidas nas universidades (SHANE, 2004, p. 76). Adicionalmente, a existência prévia de uma política interna que garanta segurança jurídica aos acadêmicos inventores é um fator associado à maior capacidade inovativa de instituições de pesquisa (SHANE, 2004; PROKOP ET AL., 2019).

6.3 COMPLEXIDADES E INCERTEZAS ENFRENTADAS NO PROJETO

As incertezas enfrentadas no projeto foram avaliadas na perspectiva de diferentes complexidades, uma vez que a própria definição do termo “complexidade” contempla as incertezas do processo, podendo ser divididas em várias categorias (KIM E WILEMON, 2003). Assim, foram identificadas complexidades (incertezas) tecnológicas, do ambiente de mercado, de desenvolvimento, de comercialização/marketing, organizacional e interorganizacional. O resultado da dinâmica está apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Graus de categorias de complexidades percebidos pelos integrantes do projeto

Responsável pela avaliação	C. D.	C. T.	C. C. M.	C. O.	C. M.	C. I.	Total
Integrante A (UFMG)	6	6	2	2	5	1	22/42
Integrante B (CEFET-MG)	5	4	5	2	2	6	24/42
Integrante C (UFMG)	6	6	7	5	4	3	31/42
Integrante D (CEFET-MG)	7	5	3	7	2	1	25/42
Total	24/28	21/28	17/28	16/28	13/28	11/28	102/168

Legenda: C. D.: Complexidade de desenvolvimento; C. T.: Complexidade tecnológica; C. C. M.: Complexidade de comercialização e marketing; C. O.: Complexidade organizacional; C. M.: Complexidade do ambiente de mercado; C. I.: Complexidade interorganizacional. **Fonte:** Elaboração do autor (2020).

Cada tipo de complexidade avaliada está detalhado em subtópicos abaixo, em ordem decrescente do grau de relevância informado pela equipe.

6.3.1 **Complexidade de desenvolvimento**

Nota-se que a complexidade mais relevante na concepção da equipe foi a complexidade de desenvolvimento. Essa complexidade representa uma série de incertezas relacionadas ao processo de desenvolver um novo produto, como a integração de resultados de pesquisa ao

protótipo, dificuldade de mensurar o trabalho e a incerteza sobre o quanto de esforço e recursos devem ser dispendidos em cada atividade. Além disso, ela contempla também as incertezas em relação ao processo de busca de parceiros e fornecedores que atendam aos requisitos do projeto, bem como a dificuldade de leitura dos requisitos mínimos exigidos para a entrega de um produto (KIM E WILEMON, 2003). Em uma visão mais simplista, esse tipo de complexidade parece carregar incertezas quanto ao grau de adaptabilidade das equipes ao processo de desenvolvimento e, conseqüentemente a sua sobrevivência e aprendizado até a entrega final (POUTANEN ET AL., 2016).

Alguns fatores parecem ter colaborado para a alta percepção de complexidade de desenvolvimento. Um dos participantes ressaltou a falta de recursos financeiros diretos dedicados ao projeto, o que incorpora incertezas de desenvolvimento, já que a capacidade de adaptação, isto é, o redirecionamento de recursos, diminui quando esses são limitados (KLINGEBIEL E RAMMER, 2013). Estudos de caso de empreendedores que desenvolvem produtos de alta tecnologia destacam a importância de recursos financeiros para o P&D interno e a participação de investidores. Na ausência de recursos, esses empreendedores usualmente se voltam para a formação de redes de colaboração e pesquisa, o que potencialmente reduz a incerteza de desenvolvimento e permite o acesso a outra estrutura de recursos complementares (VASCONCELOS-GOMES ET AL., 2018; PROKOP ET AL., 2019). Esse comportamento foi observado na parceria entre UFMG e CEFET-MG no caso estudado. No entanto, essa parceria não foi suficiente para eliminar a percepção de incerteza de desenvolvimento.

Outro fator levantado por um dos participantes foi que a participação de pós-graduandos colaborou com a geração de incertezas, uma vez que “envolveu a formação de um estudante com as suas habilidades e possíveis limitações”, reforçando a noção de que a gestão de equipes envolve complexidades de relacionamento e recursos humanos, contempladas pelas complexidades organizacionais (KIM E WILEMON, 2003). O estudo da gestão de parcerias considera o processo complexo, pelo fato de que podem ocorrer falhas de comunicação, conflitos e atrasos na entrega. Além disso, parcerias são realizadas entre pessoas, que podem apresentar *background* cultural e ritmos de trabalho diferentes. A complexidade advém, ainda, da incerteza sobre como cada um dos integrantes do projeto irá reagir a determinados cenários, podendo ser sobrecarregado enquanto outros não estão (SAAD, 2004; EMDEN ET AL., 2006). Acredita-se que devido à ausência de um plano de trabalho estruturado, gerado pela inexistência de uma parceria formal, alguns integrantes tenham se sentido sobrecarregados. Além disso, três participantes relataram que foram necessárias muitas reuniões para integrar os conhecimentos

à tecnologia em desenvolvimento, o que também pode ser explicado pela ausência de um plano de trabalho.

6.3.2 Complexidade tecnológica

A necessidade de muitas reuniões também reflete a complexidade tecnológica, percebida como a segunda mais importante. Essa complexidade contempla incertezas com relação ao funcionamento da tecnologia, a integração de componentes complexos e sobre o grau de conhecimento necessário para lidar com o produto. Dois participantes destacaram o alto teor multidisciplinar do projeto, que integrou conhecimentos nas áreas de TI, empreendedorismo, entomologia e estatística, como um dos principais geradores de complexidade tecnológica.

A inovação tecnológica comumente integra diversas áreas do conhecimento (DZIALLAS E BLIND, 2019). Por isso, foram acionados parceiros de diferentes áreas como forma de acessar recursos e infraestruturas para o desenvolvimento. A presença de dois especialistas em suas áreas (entomologia e estatística) facilitou o processo de aprendizado, o que é frequentemente apontado como vantagem competitiva para o sucesso de interações universidade-empresa voltadas para a inovação (MURRAY, 2004).

A ausência de clareza sobre a metodologia de funcionamento do software e o grande volume de sistemas que precisaram ser integrados para o funcionamento do protótipo foram complexidades tecnológicas identificadas pelo grupo do CEFET-MG, que lidou com as tarefas ligadas ao conhecimento técnico em TI e estatística. Enquanto isso, os integrantes da UFMG não citaram aspectos técnicos como fatores geradores de complexidade. Isso demonstra as diferenças na percepção da complexidade tecnológica e reflete uma limitação da metodologia aplicada. Como a equipe da UFMG não lidou com os componentes individualizados, mas sim com o protótipo integrado, aparentemente, eles foram incapazes de ressaltar o grau de complexidade tecnológica que estaria relacionado aos componentes da tecnologia.

Era esperado que diferentes equipes tivessem percepções diferentes sobre a complexidade (KIM E WILEMON, 2003). Acredita-se que se a dinâmica tivesse sido realizada antes e durante o desenvolvimento, essa complexidade teria vindo à tona mais cedo, o que permitiria melhor gestão dos recursos disponíveis. Meyers e Wilemon (1989) afirmam que o erro mais comum durante desenvolvimento de produtos é a dificuldade de estabelecer e seguir objetivos claros no projeto, em função da subestimação da complexidade do projeto. Nesse sentido, a implementação de um processo de avaliação de complexidades pode servir como “ponto de entrada para o diálogo sobre discrepâncias e o que pode ser feito para saná-las” (KIM

E WILEMON, 2003, p. 25), mesmo quando adaptado a um processo de inovação em universidades.

6.3.3 Complexidade de comercialização/marketing

Com relação à complexidade de comercialização/marketing, terceira mais relevante na opinião dos participantes do projeto, três citaram que os possíveis usuários do produto terão dificuldade para utilização, devido à alta complexidade tecnológica, o que gera incertezas na sua implementação no mercado. De fato, produtos complexos dependem de um maior grau de conhecimento técnico dos usuários para que eles percebam as vantagens e se utilizem de suas funcionalidades (KIM E WILEMON, 2003; HOBDAE ET AL., 2000). Nesse sentido, dois participantes comentaram que será necessário educar os clientes, o que adiciona certa complexidade ao processo de comercialização do produto e pode torná-lo mais demorado (HAMEL E PRAHALAD, 1994; HOBDAE ET AL., 2000).

Um dos participantes deu nota 2 para a complexidade de comercialização, por acreditar que a inovação desenvolvida é capaz de atuar como incremento, facilitando o objetivo de vigilância entomológica do MI-Aedes, produto já comercializado pela empresa Ecovec. Nesse caso, a inovação entraria em uma cadeia de valor já existente. Essa percepção reflete o menor grau de incerteza mercadológica das inovações incrementais, que apenas adicionam componentes a produtos consolidados (HENDERSON E CLARK, 1990). Outro participante também deu uma nota baixa (nota 3) para a complexidade de comercialização, ressaltando apenas a dificuldade que alguns usuários podem ter com o uso da tecnologia.

Por fim, um dos participantes deu nota máxima a essa complexidade, por acreditar que não foram estudados meios de adoção do produto no mercado, demonstrando o alto grau de incerteza na implementação de um produto complexo. Outra resposta, em um tom um pouco mais otimista, dá nota 5, devido às aplicações ainda não conhecidas do produto que poderão ser desenvolvidas pela empresa licenciante. O desenvolvimento de novas aplicações, bem como o desconhecimento quanto à forma de adoção, reflete incertezas que são externas à organização, citadas por Jalonen (2012), como as regulatórias, políticas e comportamentais.

6.3.4 Complexidade organizacional

A complexidade organizacional foi o tipo que apresentou maior divergência nas respostas. Essa complexidade advém de características das estruturas organizacionais envolvidas, incluindo as pessoas que se envolvem com o projeto. O fato de lidar com competências multidisciplinares dentro de uma mesma organização pode gerar incertezas

quanto à assertividade da comunicação e das expectativas quanto às entregas de cada etapa (GRIFFIN, 1997).

O aluno do CEFET-MG afirmou que teve “muita dificuldade de ser a pessoa ideal para se comunicar” com seu orientador, o que ocasionou decisões tomadas individualmente. Não ficou claro de onde surgiu essa incerteza, porém, o restante da resposta sugere que possa haver um afastamento cognitivo (BOSCHMA, 2005), uma vez que ele afirma que “deveria ter aproveitado melhor os conhecimentos” de seu orientador. Além disso, revela também que falhas na comunicação representam um importante gatilho para a geração de complexidade organizacional (POUTANEN ET AL., 2016), já que a nota atribuída no caso do estudante foi a máxima possível. O outro estudante, da UFMG, também deu uma nota razoavelmente alta, clarificando a presença de afastamento cognitivo quando afirma que “inicialmente, o produto não estava claro pois o grau de conhecimento para entendê-lo era alto”. Além disso, ele cita “dificuldade de cobrança de trabalho nas partes envolvidas”, sugerindo que houve um desalinhamento de engajamento de determinados integrantes da equipe em alguma etapa do projeto, provavelmente refletido pelo intenso calendário acadêmico e ausência de um plano de trabalho ou prazo de entrega formal. O resultado reforça que esse tipo de complexidade organizacional atrasa os projetos de desenvolvimento e que o nível de envolvimento das pessoas é um fator relevante (IANSITI E WEST, 1997; POUTANEN ET AL., 2016).

Os outros dois respondentes, professores e pesquisadores das duas instituições consideraram a complexidade organizacional baixa no projeto, ao considerarem que as estruturas organizacionais estavam bem definidas e foi estabelecida uma comunicação eficiente, evidenciando, novamente, diferentes visões sobre complexidades em um mesmo projeto, o que pode ser influenciado, inclusive pela posição hierárquica dos participantes da dinâmica (KIM E WILEMON, 2003).

6.3.5 Complexidade do ambiente de mercado

Apesar de ser considerado pela equipe um produto de alta complexidade tecnológica, a inovação foi desenvolvida com o objetivo de ser transferida para uma empresa *spin-off* acadêmica, como um aprimoramento do produto existente. Dessa forma, fica claro o seu papel incremental e, conseqüentemente, a redução da incerteza de mercado, por ser implementável em plataforma já utilizada pela empresa e conhecida no mercado. Por se tratar da implementação de componentes em um sistema já existente, não há alteração da arquitetura do produto (HENDERSON E CLARK, 1990).

Um dos respondentes afirmou que “o produto é adaptável para diferentes necessidades”, o que adiciona um grau de versatilidade para implementação em diferentes cenários. Apesar de ter sido desenvolvido para o monitoramento de *Ae. aegypti*, o produto pode ser generalizado para virtualmente, qualquer conjunto de dados que se comporte de forma semelhante às capturas do mosquito em armadilhas. É preciso, no entanto, uma importante etapa de P&D para identificar essas oportunidades de expansão das aplicações⁸.

As respostas sobre a complexidade do ambiente de mercado parecem ter subestimado a presença de potenciais competidores no mercado. Um dos respondentes citou que a empresa visada para a transferência não possui competidores, porém essa ausência de competição é temporária, visto que a patente do principal produto da Ecovec tem temporalidade até 2025 (EIRAS, 2005 – Patente PI0506220-9). Além disso, o fato de o produto ter sido desenvolvido exclusivamente nas instituições de pesquisa, com uma equipe essencialmente acadêmica, pode ter influenciado na redução da percepção das outras complexidades do mercado de saúde pública, como por exemplo, fatores regulatórios, alto rigor científico exigido pelos potenciais clientes e a valorização de iniciativas que tenham maior impacto social e que possam auxiliar na orientação de políticas públicas (SILVA ET AL., 2018). Esse resultado demonstra um afastamento da maneira de pensar do acadêmico em comparação a um agente inserido no mercado (RAPINI ET AL., 2017).

6.3.6 Complexidade interorganizacional

A complexidade menos relevante na percepção dos participantes da dinâmica diz respeito às incertezas geradas no envolvimento de mais de uma organização. A literatura destaca que problemas de comunicação, diferença no ritmo de trabalho, na burocracia, no grau de formalidade exigido e a distância cognitiva entre instituições diferentes pode gerar complexidade interorganizacional (KIM E WILEMON, 2003; BOSCHMA, 2005; RAPINI ET AL., 2017).

Três fatores influenciaram a nota reduzida, atribuída por três dos respondentes: (1) A experiência da relação universidade-empresa, que deu origem ao projeto, (2) a presença de uma relação pré-estabelecida entre as duas instituições, UFMG e CEFET-MG e (3) a experiência do NIT da UFMG em lidar com processos de proteção intelectual. Dessa forma, três participantes se sentiram muito seguros quanto a essas incertezas que envolvem as organizações. Por outro lado, um dos participantes afirmou que por falta de experiência própria com os processos de

⁸ O [Apêndice B](#) se encarrega da apresentação do produto, suas funcionalidades e perspectivas de aplicação, bem como dos próximos passos necessários no desenvolvimento para sua implementação.

proteção intelectual, pode haver alguma complexidade na tomada de decisão sobre como proteger a invenção, refletindo uma falha de clareza do processo que envolveu o NIT da UFMG.

Um fator não considerado na avaliação de complexidades interorganizacionais foi o potencial conflito de interesses envolvendo um dos integrantes do projeto, que ao mesmo tempo, era funcionário da empresa Ecovec, potencial licenciante do produto. O conflito de interesses foi uma complexidade envolvendo as duas organizações somente até certo ponto. Após a definição de que o projeto seria executado totalmente fora do horário de trabalho do funcionário e utilizaria dados que, apesar de terem sido cedidos voluntariamente pela empresa, pertencem a um cliente que havia documentado autorização para seu uso, ficou claro que os resultados do projeto pertenceriam exclusivamente às instituições de pesquisa e que a empresa não teria participação direta no desenvolvimento.

6.3.7 Discussões finais e limitações da metodologia

O fator preponderante que contribuiu com a redução de complexidades aparenta ter sido a parceria entre instituições, que contribuíram com a sua expertise dentro de sua área de atuação. UFMG e CEFET-MG contribuíram com pessoal altamente capacitado e com *know-how* técnico, enquanto o NIT da UFMG forneceu o suporte na área de proteção intelectual. A existência de uma empresa interessada no licenciamento da inovação, fato este evidenciado pela disponibilização voluntária do banco de dados de dois municípios clientes para permitir o desenvolvimento em instituições de pesquisa, também reduziu incertezas de mercado e de desenvolvimento, reduzindo riscos de abandono do projeto por parte da equipe. Esse fato, de certa forma, permitiu com que o projeto fosse executado sem um prazo de entrega definido e sem prejuízo à rotina acadêmica dos integrantes do projeto.

Outro ponto que deve ser levado em consideração é que, muitas vezes, há uma confusão entre o que é desenvolvimento de inovação e desenvolvimento de produtos, o que ficou claro nas respostas dos integrantes do projeto. Para os pesquisadores acadêmicos, o protótipo desenvolvido trata-se de um produto, que pode ser transferido para a empresa. Além disso, aspectos mercadológicos foram considerados no desenvolvimento da inovação, o que provavelmente acarretou a denominação equivocada do protótipo como um produto. Sabe-se que para o desenvolvimento de inovações ser concluído, esta precisa ser implementada (TIDD E BESSANT, 2015) e daí, parte-se para a área da gestão do desenvolvimento de produtos que ocorre, essencialmente, nas empresas. Esta etapa, que envolve avaliações de viabilidade econômica, técnica, definição de escopo de implementação e comercialização não foram realizadas e não há na literatura prescrições de como universidades podem adotar esse papel,

apesar de seu recente posicionamento como entidade empreendedora (ETZKOWITZ E LEYDERSDORFF, 2000). Por carecer de vários aperfeiçoamentos do ponto de vista técnico e mercadológico, o protótipo desenvolvido nas instituições de pesquisa não é, portanto, um produto, mas sim uma inovação que possui a intenção de ser transferida e incorporada a um produto já existente no contexto da saúde pública.

O cenário vivenciado no caso estudado representa as principais evidências de pesquisa associadas ao sucesso de inovações tecnológicas durante interações entre universidades e *spin-offs* acadêmicas: a presença de multidisciplinaridade, agentes de interação universidade-empresa, compartilhamento e aprendizado de *know-how*, instituições com políticas de inovação fortemente estabelecidas, presença de um escritório de transferência experiente e o alto poder de influenciar a inovação regional das *spin-offs* acadêmicas (COHEN E LEVINTHAL, 1990; SHANE, 2004; GRAS ET AL., 2008; CHANDRA E SILVA, 2012; WECKOWSKA, 2015; CLEYN ET AL., 2009; RAPINI ET AL., 2017).

A multidisciplinaridade existente neste estudo de caso reflete a realidade dos processos inovativos: atores multidisciplinares que contribuem com competências diversas em um processo complexo, mas no qual as incertezas podem ser gerenciadas (TIDD E BESSANT, 2015; DZIALLAS E BLIND, 2019). À medida em que as incertezas são previstas, identificadas e solucionadas por meio da aplicação de conhecimentos em gestão de pessoas e tecnologias, o grau de conhecimento sobre o futuro aumenta e é possível gerar novos conhecimentos e absorvê-los, por meio da execução e domínio das complexidades do projeto (KIM E WILEMON, 2003; JALONEN, 2012). Os resultados do estudo deste caso sugerem que as incertezas enfrentadas em processos de inovação executados em instituições de pesquisa se assemelham àquelas enfrentadas por empresas que se organizam para desenvolver novos produtos. Apesar dessa afirmação se basear exclusivamente na literatura das complexidades de processos de desenvolvimento de produtos exposta por Kim e Wilemon (2003), estudos com outros casos semelhantes podem fornecer evidências que apontam para essa conclusão.

No entanto, algumas complexidades (incertezas) foram percebidas como menos relevantes, como as complexidades de comercialização e marketing (subestimadas por metade dos respondentes), a complexidade do ambiente de mercado (nota geral baixa) e a complexidade interorganizacional (nota geral baixa e menor relevância dentre as complexidades).

A razão pelas quais as complexidades de comercialização e marketing foram subestimadas estão relacionadas à característica incremental da inovação, percebida por dois respondentes como um facilitador da comercialização, o que corrobora com Sheremata (2004). No entanto, os outros dois respondentes afirmaram que a complexidade tecnológica pode gerar

dificuldades de venda e, principalmente, de aceitação e entendimento por parte dos potenciais usuários da tecnologia, conforme observado na literatura (HOBDAY ET AL., 2000).

A característica incremental da inovação parece ter sido, ainda, o fator de subestimação que levou à nota reduzida para a complexidade do ambiente de mercado. Os respondentes detalharam que o fato de haver um produto já implementado no mercado capaz de embarcar a tecnologia desenvolvida resolveria grande parte das incertezas do ambiente de mercado. Essa visão, foi suficiente para subestimar completamente as condições do mercado de saúde pública, altamente rigoroso em questões técnicas e de confiabilidade (SILVA ET AL., 2018).

Por fim, a complexidade interorganizacional foi muito subestimada, por conta da longevidade prévia da parceria, o que gera proximidade cognitiva e facilita o estabelecimento de laços profissionais (BOSCHMA, 2005; EMDEN ET AL., 2006) e com a experiência do NIT da UFMG, o que facilita o processo de proteção intelectual (WECKOWSKA, 2015). Essas duas características do projeto podem ser adotadas em novos desenvolvimentos, como estratégias para redução significativa das incertezas interorganizacionais.

Devido às limitações na metodologia, que abrangeu apenas o pessoal diretamente envolvido no projeto e não expandiu a avaliação de complexidades para outros atores do ecossistema, como gestores de escritórios de transferência, representantes da empresa e do governo, não foram avaliadas complexidades geradas por incertezas políticas e regulatórias, apesar de que, implicitamente, essas possam ter sido contempladas nas avaliações de complexidades do ambiente de mercado (JALONEN, 2012). Além disso, o grau de cada tipo de complexidade poderia ser diferente, de acordo com a experiência prévia do participante da dinâmica. Dessa forma, sugere-se que em estudos futuros, outros atores envolvidos sejam consultados.

Este tópico também não se voltou para a análise da percepção do grau geral de complexidade notado por cada um dos integrantes do projeto. Apesar disso, foi evidente que o integrante que menos notou complexidades no projeto analisado foi o Prof. Dr. Álvaro Eiras (Integrante A – UFMG), o que poderia ser explicado por sua experiência profissional em processos de desenvolvimento de inovações na universidade com o objetivo de transferência para empresas. Tal resultado pode ser explorado em outros trabalhos, pois a atual pesquisa carece de profundidade científica na avaliação do histórico do professor, baseando-se apenas em comunicações pessoais e evidências anedóticas. A percepção de outros integrantes também pode ser objeto de pesquisa visto que se trata de uma equipe multidisciplinar e de diferentes organizações.

6.4 LEVANTAMENTO DAS DECISÕES TOMADAS NO PROJETO

O projeto de desenvolvimento estudado envolveu uma série de etapas descritas na seção 6.1 deste trabalho. Cada uma delas foi marcada por uma reunião de alinhamento com a equipe, na qual foi possível identificar decisões que precisaram ser tomadas para o prosseguimento do projeto, que ocorreu em duas instituições de pesquisa.

De forma simplificada, apesar de o projeto ter se estendido ao longo de mais de dois anos, esse pode ser dividido em duas macroetapas: planejamento do projeto e execução do projeto. O levantamento das decisões tomadas em cada uma das macroetapas, de acordo com Krishnan e Ulrich (2001), permite gerar uma descrição compreensiva do processo de desenvolvimento de um produto e, além disso, no caso em questão, identificar se as decisões tomadas em um processo executado em duas instituições de pesquisa se assemelham às decisões tomadas em empresas que desenvolvem novos produtos. O presente resultado é, portanto, além de uma descrição do projeto, um teste da teoria proposta pelos autores de que diferentes organizações farão diferentes escolhas, mas que “independentemente de *como* as decisões são tomadas, *o que está sendo decidido* permanece consistente, sob certo nível de abstração” (KRISHNAN E ULRICH, 2001, p. 3).

6.4.1 Decisões tomadas no planejamento do projeto

O Quadro 5 demonstra as decisões que precisaram ser tomadas no planejamento do projeto, quando foram tomadas, qual foi o resultado daquela decisão e as justificativas da escolha à época. A palavra *produto* foi destacada em todas as perguntas para não alterar as decisões originais propostas por Krishnan e Ulrich, destacando como a simples substituição dessa pela palavra *inovação* promove semelhanças do processo de inovação em universidades com a literatura de desenvolvimento de produtos.

Quadro 5. Decisões tomadas no planejamento do projeto e justificativas

Decisão a ser tomada	Citada na literatura?	Quando?	Decisão final	Justificativa à época
Para qual mercado será direcionado o <i>produto</i> pretendido?	Sim	Reunião 1	Mercado de saúde pública	Demanda já identificada pela empresa Ecovec; mercado já explorado pela empresa
Que tecnologias serão utilizadas no <i>produto</i> ?	Sim	Reunião 1	Modelos matemáticos aplicados em um software existente	Havia literatura científica explorando o potencial dos modelos matemáticos como ferramentas para gerar novos indicadores de presença e infestação de <i>Ae. aegypti</i> por área, o que adicionaria robustez ao produto já existente na empresa Ecovec, o MI-Aedes
Que parcerias serão estabelecidas?	Sim	Reunião 2	O parceiro escolhido foi o grupo de pesquisas do Prof. Dr. José L. Acebal, do CEFET-MG	O Lintec possui as competências sobre o comportamento do mosquito <i>Ae. aegypti</i> , porém carece de <i>know-how</i> em estatística avançada e TI. A parceria já existia previamente e o produto embarcará tecnologias que envolvem modelos matemáticos, que já foram explorados na literatura.
Em que local físico será desenvolvido o <i>produto</i> ?	Sim	Reunião 3	Foram utilizados computadores pessoais e servidores disponíveis na nuvem.	Por se tratar de um software, a inovação não necessitou de infraestrutura física estabelecida para o desenvolvimento.
Que investimentos serão realizados?	Sim	Reunião 3	Não foram dispendidos recursos da empresa ou dos integrantes do projeto diretamente.	O desenvolvimento ocorreu em dois laboratórios de pesquisa, o Lintec e o laboratório do Prof. Dr. José L. Acebal. Indiretamente, esses laboratórios são financiados por verba da Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e outras agências de fomento, porém, o projeto não necessitou de investimento financeiro direto.
Qual será o prazo de entrega dos <i>produtos</i> ? Foram definidos <i>checkpoints</i> ou <i>milestones</i> ?	Sim	Reunião 3	Não foi definido prazo formal para a entrega da inovação.	A única meta estabelecida era que o desenvolvimento deveria culminar em um software que embarcasse os conceitos e tecnologias selecionados. A todo tempo era reforçado que não era necessário desenvolvimento sofisticado, apenas o suficiente para produzir um protótipo viável para testar os conceitos. O prazo de entrega não foi definido em razão de o desenvolvimento não ser remunerado, além de respeitar a rotina acadêmica dos pesquisadores envolvidos.
Como será o método de comunicação entre as equipes de desenvolvimento?	Sim	Reunião 3	Reuniões presenciais, e-mail e comunicações informais por aplicativos de mensagens.	Esta decisão se deu de forma não deliberada, mas sim, intuitivamente. As reuniões presenciais se tornaram o método mais formal e menos frequente, enquanto o e-mail e as comunicações por aplicativos de mensagens sanavam a maioria das dúvidas e necessidades de comunicação da equipe.
O <i>produto</i> terá algum tipo de proteção intelectual?	Não	Reunião 1	Sim, serão explorados os mecanismos disponíveis para proteção intelectual.	O objetivo inicial do projeto era desenvolver uma inovação capaz de ser transferido à empresa, portanto, a decisão de proteger a tecnologia dentro das prerrogativas legais de proteção intelectual sempre permeou as discussões.

Fonte: Elaboração do autor (2020).

De forma geral, as decisões tomadas no planejamento do projeto executado nas instituições de pesquisa do caso estudado não diferiram muito daquelas que são tomadas em planejamentos de projetos executados em empresas, de acordo com o arcabouço proposto por Krishnan e Ulrich (2001). A única decisão realmente diferente do que havia sido proposto pelos autores diz respeito a questões de propriedade intelectual, tomada já na Reunião 1.

Desde a primeira reunião, realizada ainda em ambiente empresarial, na *spin-off* acadêmica Ecovec, o objetivo do projeto de desenvolvimento da inovação estava direcionado à transferência tecnológica para o mercado e, portanto, o tema *propriedade intelectual*, sempre esteve presente. A gestão estratégica da propriedade intelectual, que envolve atividades no âmbito de captura de valor das tecnologias desenvolvidas por meio da exploração comercial de patentes, marcas, direitos autorais, indicações geográficas e outras proteções informais como o segredo industrial, é rotina da maioria das *spin-offs* acadêmicas, que veem ativos de PI como ativos geradores de competitividade (TEIXEIRA E FERREIRA, 2019).

As *spin-offs* acadêmicas são, em algum momento de sua fundação, obrigadas a lidar com propriedade intelectual, visto que surgem do licenciamento de tecnologias desenvolvidas e protegidas por universidades e institutos de pesquisa, em processos apoiados, muitas vezes por escritórios de transferência de tecnologia (SHANE, 2004; WECKOWSKA, 2015). Acredita-se que todo o cenário do caso, que inclui uma empresa *spin-off* gerando demanda de desenvolvimento de uma inovação para uma universidade, a presença de um acadêmico empreendedor que já lidou diversas vezes com a proteção intelectual de invenções e transferência de tecnologias e o fato de um dos integrantes do projeto ser aluno do Mestrado Profissional em Inovação e Propriedade Intelectual, contribuíram para a escolha invariável pelo desenvolvimento da inovação seguindo uma estratégia de proteger a invenção antes de divulgá-la à comunidade em artigos científicos ou na forma de um produto comercializável.

Apesar da clareza e facilidade com que essa decisão foi tomada no caso, evidências empíricas demonstram que a escolha pela proteção intelectual em detrimento de publicações científicas em um primeiro momento é rara, mesmo em setores em que a propriedade intelectual é um ativo relevante, como o setor biomédico. Enquanto para empresas farmacêuticas e de biomateriais os direitos de propriedade intelectual se mostram imprescindíveis, para acadêmicos de universidades que fazem pesquisas em biotecnologia, o assunto *propriedade intelectual* ainda é pouco discutido. Algumas razões são a ausência de visão de mercado e conflitos com a missão tradicional das universidades de serem geradoras de “conhecimento puro”, sem qualquer viés comercial (HEUS ET AL., 2017). Nesse sentido, o resultado do caso

é um alerta para novos desenvolvimentos em universidades, visto que o protótipo desenvolvido possui aspectos tecnológicos e de conhecimento tácito que são passíveis de publicações científicas, mas que não foram realizadas até o momento por questão estratégica de proteção intelectual, visando a transferência para a empresa no futuro.

Enquanto a decisão envolvendo aspectos de propriedade intelectual moldou toda a estratégia de desenvolvimento da inovação no presente caso, nota-se, por outro lado, ausência de decisões consideradas cruciais para planejar, organizar e gerenciar projetos de desenvolvimento de produtos. Exemplos dessas, que são citadas como relevantes por Krishnan e Ulrich (2001), são:

- a) como a performance do projeto será medida;
- b) que tipo de processo de desenvolvimento de produtos será empregado (ex: *stage-gates*);
- c) quais são as prioridades relativas de cada objetivo do projeto;
- d) como o projeto será monitorado e controlado.

O projeto não se baseou em nenhum processo padronizado. Além disso, apesar de um dos integrantes da equipe, o Prof. Álvaro Eiras, já ter desenvolvido, patenteado e licenciado uma série de inovações para o mercado e possuir, conseqüentemente, experiência na área, não houve definição clara de que ele exerceria um papel de liderança na gestão do desenvolvimento da inovação. Esses fatores, somados à ausência de monitoramento da performance do projeto podem ser visualizados como deficiências do caso estudado e das universidades no que tange o planejamento para o desenvolvimento de produtos. A implementação de um processo padronizado de desenvolvimento de produtos, como o *stage-gates*, gera pontos de tomada de decisão que melhoram o trabalho em equipe, aumentam a detecção de falhas de projeto antecipadamente e podem aumentar a velocidade de conclusão do produto. Ao mesmo tempo, a presença de uma liderança clara, isto é, um membro da equipe com experiência em gestão de produtos e responsável por tocar o projeto do início ao fim tem sido associada à melhor performance de novos produtos em empresas (COOPER, 2019) e poderia ser adaptado à realidade de desenvolvimentos na universidade que queiram prosseguir com projetos de inovação voltados para o mercado, adiantando parte do processo que hoje é, usualmente, realizado nas empresas licenciadas. Por outro lado, a implementação de processos padronizados de desenvolvimento de produtos adiciona uma série de complexidades e incertezas advindas da necessidade do gerenciamento do projeto. Adicionar um líder com especialidade em gestão de projetos, por exemplo, contribui para a criação de complexidade organizacional, por incorporar um novo elemento ao time (KIM E WILEMON, 2003; POUTANEN ET AL., 2016). Ademais, a obrigação de atender aos requisitos de cada etapa de

um processo padrão, adiciona complexidade de desenvolvimento, visto que a complexidade tecnológica dos projetos de universidades normalmente é elevada e é necessário maior envolvimento da equipe para etapas de geração e absorção de conhecimento (ADAMS ET AL., 2006; CHANDRA E SILVA, 2012). Portanto, processos padronizados como o *stage-gates* podem não se alinhar ao cenário vivenciado em projetos de desenvolvimento em instituições de pesquisa, pelo seu alto grau prescritivo e por considerar a inovação um processo essencialmente linear, algo que nem sempre é verdadeiro (BAGNO ET AL., 2017). Possivelmente, este pode ser um dos fatores limitantes para pesquisadores de universidades não atingirem os objetivos de desenvolver inovações e as transferirem para empresas, além da ausência de visão de mercado e sobre propriedade intelectual, que já haviam sido listados na literatura (HEUS ET AL., 2017).

Fatores intrínsecos ao planejamento do projeto estão associados ao sucesso da inovação no mercado. A escolha pelo desenvolvimento de uma inovação para ser incorporada em um produto com significativas vantagens competitivas em relação ao estado da arte e que atenda a uma demanda clara dos usuários, favorece a estratégia de posicionamento futura do produto em um mercado específico (ERNST, 2002). Por isso, as decisões de utilizar tecnologias da fronteira do conhecimento científico (modelos matemáticos aplicados à saúde pública) em um produto que resolve uma demanda identificada pela empresa (baixa sensibilidade da armadilha) parecem ter sido acertadas, visto que se baseiam tanto em avanços tecnológicos (*technology push*) quanto em estímulos do mercado (*market pull*) (ISOHERRANEN E KESS, 2011).

Contudo, do ponto de vista organizacional, Ernst (2002) discute que a importância da escolha de equipes comprometidas com o *timing* e um processo constante de avaliação de riscos também têm sido associados ao sucesso das inovações. Nesse ponto, ao avaliar criticamente o arcabouço de decisões tomadas no caso estudado, percebe-se ausência de melhor planejamento do projeto e de metodologia de avaliação de riscos, mesmo com a equipe ciente de que se tratava de um projeto de alta complexidade. Esses aspectos podem ter sido cruciais para o atraso verificado ao longo do ano de 2019 e a priorização de atividades da rotina acadêmica em detrimento do projeto, um aspecto organizacional que poderia ter sido previsto.

A escolha por desenvolver em parceria e a própria escolha dos parceiros, por outro lado, podem ser consideradas satisfatórias, visto que o conhecimento tácito das equipes foi multidisciplinar e complementar. As parcerias ampliam a capacidade não só de geração de ideias, mas também o aprendizado (ISAKSEN, 2016). Destaca-se no caso estudado que durante a fase de seleção de parceiros, a rede de relacionamentos do Prof. Dr. Álvaro Eiras foi explorada estrategicamente e que foi possível estabelecer facilmente uma parceria iniciada anos antes, que

à época havia sido estabelecida para geração de conhecimentos com aplicação comercial na *spin-off* acadêmica Ecovec. Enquanto Isaksen (2016) ressaltou a importância da coesão e do companheirismo gerado no longo prazo como motores dos processos de inovação, Murray (2004) observa que essa rede de relacionamentos do acadêmico empreendedor é um fator que facilita a assimilação de conhecimento externo recente que possa ter aplicações comerciais. Ambas as situações ficaram explícitas no caso estudado.

A mesma equipe permaneceu do início ao fim do projeto. Essa decisão pela manutenção de uma equipe fixa gera aumento da expectativa de performance do projeto e do produto final (COOPER, 2019). Acredita-se que tal permanência no cenário avaliado se deva à gestão das expectativas de longo prazo sobre o impacto do produto pretendido, com todos da equipe cientes de seu papel e responsabilidades em caso de sucesso ou falha do projeto. Adicionalmente, a presença de um estímulo, como a possibilidade de licenciamento da tecnologia e potencial repasse do faturamento gerado com o produto desenvolvido em contratos de *royalties* para os inventores auxiliou na geração de um ambiente positivo para a inovação (EMDEN ET AL., 2006; COOPER, 2019).

Apesar das questões inerentes à propriedade intelectual só terem sido decididas nas etapas finais do projeto, todos os integrantes estavam cientes de que alguma forma de proteção intelectual e licenciamento seriam exploradas no processo e que isso seria uma forma de recompensa pelo esforço. Há que se destacar o papel do Novo Marco Legal de Ciência, Tecnologia e Inovação (Lei nº 13.243/2016) como importante instrumento facilitador no caso estudado. O Novo Marco Legal prevê regulamentação e facilitação das relações entre empresas e universidades, com vistas à geração de desenvolvimento científico, econômico e tecnológico. A existência da Lei fornece “maior segurança jurídica aos atores envolvidos na interação da transferência de conhecimento” (RIBEIRO, 2019, p. 43) e foi um suporte para a gestão de expectativas da equipe do projeto, sobretudo para a transparência do processo e a sua segurança jurídica, perante os integrantes da instituição parceira.

Uma das decisões mais significativas para o planejamento do projeto foi a escolha pela entrega de um protótipo que embarcasse a tecnologia, mas que não fosse sofisticado, apenas possuísse o mínimo de atributos para testar os conceitos. No caso estudado, tal estratégia foi utilizada com o objetivo de apresentar um protótipo viável para a empresa licenciante o mais rápido possível (que foi considerada no processo como potencial consumidora da inovação). Esse tipo de estratégia, com a adoção de produtos mínimos viáveis (MVPs) favorece a apresentação rápida para o cliente, a geração de feedbacks e a escolha rápida por produtos que atendam melhor às necessidades dos clientes (COOPER, 2019).

6.4.2 Decisões tomadas durante o projeto

O Quadro 6 demonstra as decisões que precisaram ser tomadas durante a execução do projeto de desenvolvimento do produto, quando foram tomadas, qual foi o resultado daquela decisão e as justificativas da escolha à época. Foram também incluídas as decisões tomadas após a finalização do protótipo, pois considera-se que o desenvolvimento de inovações é um processo que se inicia a partir da identificação de oportunidades de mercado, mas só é finalizado quando o produto está disponível para vendas (KRISHNAN E ULRICH, 2001), o que ainda não ocorreu. Da mesma forma que na seção anterior, foram destacadas as palavras *produto* nas decisões tomadas, com o objetivo de ressaltar a semelhança entre decisões nos projetos de inovação em universidades e de desenvolvimento de produtos em empresas.

Quadro 6. Decisões tomadas durante do projeto e justificativas

Decisão a ser tomada	Citada na literatura?	Quando?	Decisão final	Justificativa à época
Qual conceito será adotado no produto?	Sim	Reunião 3	Identificação de clusters de alta probabilidade de se encontrar mosquitos, a partir de modelagem estatística aplicada a dados reais	Modelo matemático validado na literatura, passível de adoção em qualquer conjunto de dados de capturas de <i>Ae. aegypti</i> utilizando MosquiTRAPs; Menor complexidade tecnológica; Disponibilidade de recursos humanos para o desenvolvimento; o conceito possuía aplicação na resolução de um problema real.
Novos conceitos identificados durante o desenvolvimento serão adotados no protótipo inicial?	Não	Reunião 5	Apenas o conceito inicial será funcional na primeira versão do produto	Durante o desenvolvimento, um novo conceito surgiu: a possibilidade de o software gerar alertas de falhas na instalação de armadilhas. A visualização deste conceito só foi possível após a reunião 5, quando algumas simulações foram realizadas com o protótipo. O conceito, apesar de possuir valor comercial, necessita de validação técnica em campo, o que atrasaria a entrega, portanto, não foi inserido na primeira versão do protótipo.
Quais serão os componentes do produto?	Sim	Reunião 3	Componentes tácitos e tangíveis para o funcionamento de um software protótipo	Componentes tácitos: <i>know-how</i> sobre biologia, comportamento e ecologia do <i>Aedes aegypti</i> , ferramentas de monitoramento e controle do vetor adulto; banco de dados semanal de capturas em armadilhas; algoritmo do software que incorpora um modelo matemático; componentes tangíveis: software para visualização de dados e toda a infraestrutura para manter o software - servidor, banco de dados, etc.
Qual será a arquitetura do produto?	Sim	Reuniões 3 e 4	Será incorporado um novo componente a um sistema já existente	Os componentes do produto já existem. Foi apenas criado um software que contém um algoritmo que se utiliza de um modelo matemático capaz de ser adotado em um conjunto de dados coletados e armazenados pelo sistema MI-Aedes (produto principal da empresa Ecovec). Havia a necessidade de corrigir uma falha de sensibilidade da armadilha por meio da inserção de um cálculo estatístico que melhorasse o desempenho do sistema atual na indicação de regiões onde há presença do vetor <i>Ae. aegypti</i>
Que variantes do produto serão oferecidas?	Sim	Reuniões 3, 4 e 5	Sistema com busca por cluster automatizada (1), busca por regiões de maior infestação (2), sistema de alertas para armadilhas com problemas de instalação (3)	As variantes 1 e 2 estarão disponíveis na primeira versão do produto, por se tratarem de funcionalidades alcançadas pela incorporação do modelo matemático e já terem sido validadas. A variante 3 depende de validação técnica em campo e pretende ser oferecida após testes, por se tratar de um novo conceito.
Qual será o design do produto final?	Sim	Reunião 3	Software similar ao original (MI-Aedes), que embarca mapas e uma escala de cores para indicar o grau de infestação do mosquito	A opção por desenvolver um software similar diz respeito ao objetivo que é o de transferir a tecnologia para ser utilizada como nova ferramenta de análise dentro do software MI-Aedes. Por isso, buscou-se apresentar uma ferramenta familiar aos potenciais licenciados.
Que componentes serão desenvolvidos e quem será responsável por desenvolvê-los?	Sim	Reunião 3	Software que utiliza um algoritmo com modelo matemático e apresenta dados na forma de mapas de clusters.	A programação do software será responsabilidade do grupo do CEFET-MG. O grupo da UFMG será responsável por fornecer os parâmetros relativos ao comportamento do <i>Ae. aegypti</i> e pela validação do software. Essa decisão se justificou basicamente pelas competências técnicas de cada grupo de trabalho. O grupo do CEFET-MG detinha o <i>know-how</i> em estatística e programação e o grupo da UFMG sobre o mercado, armadilhas e sobre o mosquito.
Qual é o plano de prototipação?	Sim	Reunião 3	Protótipo com funcionalidades mínimas	O protótipo servirá como simulação para o produto final, como forma de apresentar os conceitos do software para os potenciais licenciados.
Qual o tipo de proteção intelectual adequado ao produto?	Não	Reunião 6	Foi decidido pela proteção por direitos autorais do software (programa de computador) desenvolvido	O registro do software no Instituto Nacional de Propriedade Industrial confere segurança jurídica ao ativo intangível (<i>know-how</i>) que compõe o software desenvolvido no momento da transferência para potenciais licenciados. Além disso, confere proteção ao código-fonte. O software embarca um componente intangível em seu código-fonte (<i>know-how</i> da aplicação de um modelo matemático a dados de capturas de mosquitos) e, ao ter sua titularidade registrada, exige que as derivações sejam autorizadas pelos titulares dos direitos autorais. Dessa forma, penaliza derivações óbvias do código para outros softwares similares, desde que não autorizadas, de acordo com o Art. 2º § 1º da Lei nº 9.609/98.
Quando será realizada a proteção intelectual do produto?	Não	Reuniões 5 e 6	A proteção intelectual será a última etapa do projeto, após a validação do protótipo	Todo o <i>know-how</i> embarcado no software rodou em sigilo (segredo industrial) ao longo do projeto. A proteção intelectual neste caso envolve outra entidade, o CTIT da UFMG, que só seria acionada caso o protótipo se mostrasse funcional, o que somente ocorreu a partir da reunião 5.

Fonte: Elaboração do autor (2020).

No que tange às decisões tomadas durante a execução do projeto, três escolhas apareceram no arcabouço do caso estudado, mas não haviam sido previstas por Krishnan e Ulrich (2001). As decisões (1) sobre a inclusão de um novo conceito ao produto pretendido, (2) sobre o tipo de proteção intelectual adequado e (3) sobre quando prosseguir com a proteção intelectual ocorreram em momentos estratégicos do processo de desenvolvimento.

6.4.2.1 Decisões sobre conceitos do produto

A seleção de conceitos é uma etapa primordial para o desenvolvimento de uma inovação que possa ser explorada comercialmente e que atenda às necessidades do mercado (TIDD E BESSANT, 2015). No caso estudado, tanto estímulos do mercado quanto avanços tecnológicos estiveram presentes no racional para essa decisão, sugerindo que a empresa possuía, antes do desenvolvimento, um elevado potencial de prospecção tecnológica e avaliação de necessidades do mercado. A presença de ambos os estímulos para a inovação permite a geração de um conceito de alto valor agregado que, ao mesmo tempo, resolve um problema real e tem em seu alicerce, elementos da fronteira do conhecimento (ISOHERRANEN E KESS, 2011).

A empresa já havia identificado a demanda do mercado por inovações no monitoramento do *Aedes aegypti* e uma oportunidade de melhoria da qualidade de seu produto principal, que estava sendo comparado a outras armadilhas disponíveis e apresentava sensibilidade reduzida, um indicador importante para garantir a confiabilidade do produto (SIVAGNANAME E GUNASEKARAN, 2012; CODEÇO ET AL., 2015). Ao mesmo tempo, resultados de pesquisas oriundos de outros eventos de interação universidade-empresa, produziram trabalhos que demonstraram o avanço tecnológico na área de modelagem matemática com dados de infestação do mosquito e a possibilidade de incorporar essas análises à prática em campo (RESENDE ET AL., 2012; BARSANTE ET AL., 2014; PEPIN ET AL., 2015; FERREIRA ET AL., 2017). Por fim, atividades de prospecção tecnológica, que são úteis para avaliar as tendências de mercado (CANONGIA ET AL., 2004), haviam identificado uma tendência do mercado em adotar estatística e o potencial da matemática computacional para explorar cenários ecológicos e epidemiológicos futuros e incorporá-los a um produto (OBENAUER ET AL., 2017; FERREIRA ET AL., 2017; MUDELE ET AL., 2020). Todos esses aspectos foram considerados ao selecionar o conceito predominante que culminou em um protótipo viável ao fim do processo.

O fato de um novo conceito ter surgido ao longo do desenvolvimento corrobora os estudos de Arbix (2010), que, apoiado em Kline e Rosenberg (1986), afirma que a inovação é composta por um longo processo de reformulações de conceitos. A decisão por não adotar, na

primeira versão do software, a funcionalidade de gerar alertas de armadilhas mal instaladas, que é um conceito distinto do inicial, teve como principal razão a necessidade de apresentação de um produto mínimo viável em estágio de protótipo para apreciação pelos potenciais licenciadores o mais rápido possível. Porém, o que está implícito nessa decisão, é a presença da incerteza tecnológica: o desenvolvimento de uma nova funcionalidade a um produto que já detém uma série de componentes que agregam conhecimento tácito em áreas científicas, estatística e programação, aumentaria a complexidade tecnológica e o risco de falhas (KIM E WILEMON, 2003). Por isso, o conceito permaneceu congelado, até que novos recursos fossem adicionados ao projeto, em uma estratégia para redução de incertezas. Este resultado concorda com trabalhos que afirmam que durante projetos de desenvolvimento de novos produtos poderá ocorrer o congelamento de conceitos ou até mesmo o desenvolvimento de conceitos simultâneos, o que provavelmente ocorrerá em um momento futuro no caso estudado. Dessa forma, o objetivo é sempre a redução de incertezas por meio da implementação de um protótipo com várias funcionalidades que podem ser selecionadas, ou mesmo, a escolha de um conceito que gere mais impacto na fase de captura de valor (SEIDEL, 2007).

6.4.2.2 Decisões sobre propriedade intelectual

Após a finalização do protótipo e a reunião com o CTIT da UFMG (Reunião 6) optou-se pela proteção por direitos autorais. O produto pretendido trata-se de um software (programa de computador) e, portanto, não é patenteável, de acordo com a Lei de Propriedade Industrial do Brasil (Lei. nº 9.279/96). Por isso, o instrumento legal a que se enquadra a inovação do caso estudado é a Lei nº 9.609/98, que dispõe sobre a proteção intelectual de programas de computador.

A decisão por proteger por direitos autorais foi pautada na legislação vigente, na estratégia comercial, no intuito de transferência da tecnologia para a empresa e por orientação institucional, visto que a inovação foi desenvolvida em duas instituições de pesquisa. No Brasil, a Lei nº 9.609/98 indica em seu Art. 2º que a proteção de programas de computador é a mesma conferida às obras literárias sendo, portanto, conferido o direito autoral pela criação do software. A proteção se dá pelo prazo de cinquenta anos (Lei nº 9.609/98, Art 2º, § 2º), confere o direito exclusivo aos autores de autorizar adaptações (Lei nº 9.610/98, Art. 29º) e de se opor a alterações não autorizadas (Lei nº 9.609/98, Art 2º, § 1º). Por se tratar de um software com a intenção de ser transferido, fica também assegurado o direito de licenciar o software para terceiros (Lei nº 9.609/98, Art 9º e Lei nº 9.610/98 Art 49º).

O desenvolvimento foi realizado em instituições de pesquisa, portanto, foi considerada a Lei de Inovação (Lei nº 10.973/04, Art. 12º), que estabelece que é vedado ao criador empregado de ICT (dois professores da equipe) a divulgação de aspectos da criação sem antes obter autorização expressa da respectiva ICT, um processo denominado *disclosure* da invenção, que ocorre ao NIT de cada instituição.

A Política de Inovação da UFMG e Resoluções Internas⁹, por sua vez, estabelecem que, apesar de passíveis de proteção intelectual, as criações são de titularidade da UFMG e a gestão da propriedade intelectual na universidade é realizada pelo CTIT. Por isso, tomou-se a decisão de acionar a entidade, que deu as orientações necessárias para a continuidade do processo. O NIT do CEFET-MG também foi acionado e orientou os integrantes da equipe a permitirem que o CTIT liderasse o processo, devido à sua maior experiência em proteção intelectual e contratos de transferência de tecnologia. A experiência de mercado dos NITs é algo considerado pela literatura uma vantagem competitiva, capaz, inclusive, de aumentar a probabilidade de transferência de tecnologias para *spin-offs* ou empresas estabelecidas (WECKOWSKA, 2015).

Com relação à estratégia comercial e de transferência de tecnologia, a decisão de licenciar qualquer tecnologia gerada a partir da parceria foi tomada ainda no planejamento do projeto. Essa decisão acabou influenciando na escolha do tipo de proteção por direitos autorais e a opção pelo registro no Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI), mesmo sendo facultativo (Lei nº 9.609/98, Art. 2º, § 3º e Lei nº 9.610/98, Art. 18º). Seguindo orientações do CTIT, a proteção e registro do direito autoral geraria um “objeto claro e formatado que pode ser transferido e licenciado, gerando royalties e indicadores”¹⁰.

Outra opção seria proteger a invenção por meio da estratégia de segredo industrial, porém, esta não foi seguida porque o objetivo era realizar a transferência do software para potenciais licenciados. O segredo industrial consiste na omissão de informações relativas ao funcionamento do produto, bem como de características únicas que, se mantidas em segredo, impedem a sua cópia. É, portanto, uma proteção eficiente quando utilizada por empresas que acumularam *know-how* e tecnologias próprias para inovar e as mantêm em segredo. Por outro lado, em produtos que utilizam tecnologias de fácil acesso e no qual o segredo está na organização dos componentes, o segredo industrial se torna uma proteção fraca (CRASS ET

⁹ A resolução interna que dispõe sobre os direitos de propriedade intelectual da UFMG encontra-se disponível em: <http://www.ctit.ufmg.br/wp-content/uploads/2017/03/Resolu%C3%A7%C3%A3o-Interna.pdf>. Acesso em 12 de fevereiro de 2020.

¹⁰ A informação foi obtida por meio de comunicações pessoais com Arthur Silva, analista de alianças estratégicas do CTIT-UFMG.

AL., 2019). No caso do software, o elemento de inovação está no modelo matemático utilizado e em como esse modelo é organizado em um algoritmo capaz de trabalhar um banco de dados de capturas de armadilhas, gerando resultados na forma de mapas e alertas de infestação. Portanto, a disponibilização do software, mesmo em contratos de transferência de *know-how* fragilizaria o segredo por trás da tecnologia, que ao ser utilizada pelos usuários poderia ter o seu funcionamento rapidamente entendido, assimilado e reproduzido em outro software, com outro código-fonte. A divulgação indevida de *know-how* é um fator de incerteza interorganizacional importante presente em iniciativas de inovação aberta e interações com atores externos (RITALA ET AL., 2015).

A decisão de proteger o protótipo somente após validação teve como justificativa todo o processo de *disclosure* que seria necessário caso fosse iniciado o pedido de proteção junto aos NITs das instituições. Nesse sentido, a burocracia que envolve a interação entre escritórios de transferência de tecnologia das universidades e os inventores pode inibir a opção por proteções formais (MACHO-STADLER ET AL., 2007), o que não ocorreu no caso. Por isso, é necessário que as ICTs intensifiquem a conscientização de seus pesquisadores e promovam ações de empreendedorismo acadêmico, aumentando a probabilidade de os pesquisadores se sentirem confiantes em divulgar os seus resultados de pesquisa de forma aplicada ao mercado (SHANE, 2004; WECKOWSKA, 2015).

6.4.2.3 Outras decisões que ocorreram durante o projeto

O restante das decisões tomadas girou em torno da definição da arquitetura da inovação, isto é, quais componentes serão implementados e como esses serão organizados e apresentados em uma inovação que será transferida. A inovação obtida a partir da reorganização de componentes, mantendo-se o mesmo conceito, é denominada inovação arquitetural (HENDERSON E CLARK, 1990). A inovação no caso estudado possui elementos arquiteturais, visto que todo o desenvolvimento e organização dos componentes tinha como objetivo alcançar o conceito escolhido, ainda nas primeiras reuniões: a identificação de clusters de alta infestação de mosquitos. Ao mesmo tempo, ela visa ser incorporada a um produto existente, como uma nova funcionalidade, adicionando novos componentes a um sistema que já existe. Por isso, ela também possui elementos de inovações incrementais, por operar em ambiente com menor incerteza e no qual o conhecimento envolvendo os componentes é um elemento central (AMARA ET AL., 2008).

A decisão de incorporar componentes que exigiam conhecimentos multidisciplinares foi influenciada pela presença de parceiros de longa data que detinham conhecimentos tácitos

complementares. No caso estudado, apesar de a multidisciplinaridade de projetos de inovação gerar incerteza e complexidade tecnológica e de desenvolvimento, devido à necessidade de proximidade cognitiva entre os atores (TATIKONDA E ROSENTHAL, 2000; BOSCHMA, 2005), o alto grau de aprendizado e criatividade atingido por times multidisciplinares (MURRAY, 2004; ISAKSEN, 2016) prevaleceu como argumento decisório.

O momento no qual foi tomada a decisão por incorporar e organizar os componentes complexos também fornece evidências sobre a importância de parcerias multidisciplinares para a inovação. Tal decisão sobre a arquitetura da inovação só ocorreu a partir da Reunião 3, quando as equipes já estavam definidas. Em outras palavras, no caso estudado, deu-se um papel relevante para a opinião dos parceiros externos ao decidir-se sobre a arquitetura do protótipo. Esse modelo de processo de inovação não foi planejado, mas permitiu a redução de incertezas tecnológicas. Ademais, se diferenciou de um processo tradicional no qual um demandante contrata uma empresa ou parceiro para desenvolver uma solução já pensada, sem o compartilhamento de ideias, confiando, portanto, no potencial de absorção de conhecimento a partir do parceiro externo (HUSTON E SAKKAB, 2006). O que o caso estudado demonstra é que a formação de uma rede de colaboração para a inovação perpassa não apenas à contratação de um parceiro com conhecimento capaz de solucionar um problema, mas sim à incorporação do parceiro com conhecimento externo ao processo de inovação e ao fluxo de informações e conhecimentos multidisciplinares focados em desenvolver uma solução (CHESBROUGH, 2003; MORRISON, 2008).

6.5 DISCUSSÃO FINAL

O presente estudo evidenciou que as decisões tomadas no projeto de desenvolvimento de uma inovação realizado no contexto de duas instituições de pesquisa diferem pouco daquelas tradicionalmente tomadas em processos de desenvolvimento de produtos estruturados de empresas estabelecidas. Decisões sobre propriedade intelectual e implementação de novos conceitos surgidos tiveram de ser tomadas durante o caso estudado, mas não haviam sido mapeadas nesses projetos tradicionais de desenvolvimento de produtos (KRISHNAN E ULRICH, 2001).

Além disso, o projeto de desenvolvimento nas instituições de pesquisa não seguiu nenhum processo padronizado de desenvolvimento de produtos e, por isso, não houve qualquer decisão sobre como avaliar a performance do projeto. Esse fato revela a essência do novo papel das universidades na economia do conhecimento. Mesmo assumindo um papel empreendedor, ainda são incipientes as atividades dessas instituições como desenvolvedoras de *produtos*,

mesmo considerando abertamente aspectos de mercado no desenvolvimento de inovações. Nesse sentido, a avaliação do caso estudado mostrou que, apesar de processos de inovação realizados por universidades, focarem nos aspectos tecnológicos, é importante considerar aspectos de processos de desenvolvimento de produtos, como complexidades mercadológicas e organizacionais da inovação após esta sair do âmbito acadêmico. Uma das formas de preparar as universidades para esse papel ainda mais empreendedor é avaliando incertezas, complexidades e tomadas de decisão que ocorrem em processos de desenvolvimento de produtos e adaptá-las à realidade acadêmica, como foi feito neste trabalho.

Estiveram presentes no projeto estudado as mesmas incertezas que ocorrem em projetos de desenvolvimento de produtos e essas moldaram as decisões tomadas, com o objetivo de reduzi-las. A escolha de utilizar mecanismos de propriedade intelectual, por exemplo, considerou incertezas interorganizacionais, como o risco de vazamento de *know-how* e a necessidade de licenciamento da tecnologia para que as instituições de pesquisa pudessem usufruir dos benefícios da comercialização da inovação. A escolha por não implementar um novo conceito surgido durante o projeto, por outro lado, pautou-se na incerteza tecnológica de adicionar funcionalidades ao protótipo, o que poderia atrasar o projeto e adicionar ainda mais complexidade. Portanto, o fato de não ter sido utilizado nenhum processo padrão de desenvolvimento de produtos pautou-se na incerteza organizacional imposta por esse tipo de estratégia, que envolve gestores de projetos, novas redes de relacionamento e expertise que a maioria dos integrantes da equipe do projeto não possuía. De fato, projetos realizados em universidades apresentam suas particularidades culturais, institucionais, organizacionais, entre outras, mas isso não foi capaz de, no caso estudado, gerar incertezas muito diferentes das habituais já mapeadas pela literatura de desenvolvimento de produtos (TATIKONDA E ROSENTHAL, 2000; SOUDER E MOENAERT, 2007; FREEMAN E SOETE, 2008; CANTARELLO ET AL., 2011; JALONEN, 2012).

Claramente, este é um caso de desenvolvimento de uma inovação realizado exclusivamente em duas instituições de pesquisa, que se comportaram como organizações que inovaram ativamente a partir da ação de pesquisadores parceiros, buscando a transferência de uma tecnologia criada pela união de diferentes competências. Essa mudança de paradigma no que tange o papel das universidades é recente e tem sido objeto de interesse de grande parte da comunidade científica (ERDIL ET AL., 2018, p. 8). As pesquisas buscam entender como as universidades podem migrar de um cenário tradicional de geração de conhecimento interno para um papel complexo e incerto, que envolve a formação de redes de parcerias, transferência do

conhecimento gerado para o mercado e a promoção de inovações próprias (BLASS E HAYWARD, 2014).

As universidades, como entidades que envolvem pesquisadores acadêmicos, estudantes e escritórios de transferência de tecnologia precisam aproveitar-se do amplo conhecimento que há na literatura de desenvolvimento de produtos, negócios e empreendedorismo para desenvolver tecnologias mais alinhadas ao mercado, aproveitando-se dos recursos e dos arcabouços legais que, lentamente, tomam forma na nova economia do conhecimento.

Muitas pesquisas tiveram como foco as *spin-offs* acadêmicas, que são manifestações vívidas da mudança de comportamento das universidades que passaram a atuar na geração e desenvolvimento de empresas capazes de explorar comercialmente os frutos das bancadas de seus laboratórios (SHANE, 2004; CLEYN ET AL., 2009). No entanto, no caso estudado, a *spin-off* acadêmica volta-se novamente à universidade de origem, na tentativa de encontrar parceiros para a resolução de uma demanda identificada no mercado, reforçando o papel ativo da instituição acadêmica na promoção da inovação em empresas (GRAS ET AL., 2008; CHANDRA E SILVA, 2012). O estudo da gestão de desenvolvimento de novos produtos em *spin-offs* acadêmicas que já lançaram o primeiro produto ainda é pouco explorada, sendo a empresa do caso estudado uma oportunidade para novas pesquisas no âmbito brasileiro.

O processo de desenvolvimento do produto, após ter sido demandado pela *spin-off* Ecovec é, então, totalmente orquestrado pela academia, que passa a adquirir características organizacionais para lidar com as complexidades e incertezas da inovação, que se mostraram presentes, assim como se evidenciam em projetos de desenvolvimento de produtos complexos em empresas (SBRAGIA, 2000; NOVAK E EPPINGER, 2001; KIM E WILEMON, 2003; HOBDAEY ET AL., 2000). Krishnan e Ulrich (2001) observam que a inovação apresenta descontinuidades nas operações tradicionais, o que obriga as empresas a se organizarem em formatos que favoreçam o desenvolvimento de novos produtos. Essas mudanças organizacionais são a divisão da equipe em departamentos que lidam com diferentes tarefas, a busca por parceiros, a mudança de mentalidade e cultura, a destinação de recursos, entre outras atividades. Adaptadas ao cenário de uma universidade, essas mudanças são, justamente, alterações na visão dessas instituições que, outrora orientadas à pesquisa, têm de se voltar a aspectos de mercado e à incorporação de conhecimento tácito para o desenvolvimento de inovações que possam gerar produtos viáveis. Esse processo vem ocorrendo por meio da importância dada à inovação e ao conhecimento como motores do desenvolvimento econômico desde o início do século e reafirma o potencial das universidades como agentes ativos no ecossistema (ARBIX, 2010).

Krishnan e Ulrich (2001) comentam, ainda, que à época de seu trabalho, as tomadas de decisões em empresas estavam começando a se organizar de forma a unir as perspectivas dos diferentes setores (marketing, engenharia e operações), tornando as decisões mais interdependentes e capazes de resultar em soluções sistêmicas. No desenvolvimento de inovações em instituições de pesquisa, de acordo com o caso estudado, essas divisões não são claras, pois as equipes são compostas essencialmente, de pesquisadores e acadêmicos. Por isso, ressalta-se a importância de organizar o processo de inovação com a lógica do desenvolvimento de produtos, selecionando líderes, pontos de tomadas de decisão, redução de incertezas e não apenas focar no desenvolvimento da tecnologia. A tecnologia inovadora precisa ser viável para ser implementada no produto e este papel de desenvolver *produtos* precisa ser compartilhado com as empresas.

No caso estudado, a equipe externa (CEFET-MG) teve importância crucial nas decisões tomadas e foi integrada completamente ao processo de desenvolvimento. Por isso, toda a mudança organizacional observada nas instituições de pesquisa, que se voltou para a atividade inovativa, foi avaliada através de uma perspectiva da tomada de decisões, que auxiliam na visualização do processo de inovação como um todo, sem focar somente na perspectiva das decisões que seriam tomadas por uma equipe de marketing, de engenharia ou de operações (KRISHNAN E ULRICH, 2001). Na verdade, todas essas atividades eram realizadas por uma única equipe de quatro pessoas, que se organizavam periodicamente para decidir aspectos em relação ao protótipo, à estratégia de desenvolvimento e comercialização. As universidades têm, recentemente, assumido um papel central na formação de redes de colaboração, que deixaram de realizar a simples troca de conhecimento, mas passaram a colaborar ativamente, com a tomada de decisão, definição de prioridades e alocação de recursos de forma conjunta para inovar (REICHERT, 2019, p. 9).

Dessa forma, o presente trabalho é uma visão do processo de inovação como um todo, não apenas do produto pretendido, mas também do processo e das decisões que foram necessárias para organizar equipes de duas instituições de pesquisa para desenvolverem a inovação. Foram consideradas incertezas da adoção da inovação em um produto no mercado e esse diferencial parece ter contribuído para a apresentação de um protótipo mais familiar ao que o mercado já aprecia.

A inovação, ao mesmo tempo em que é definida pela implementação de novos produtos e serviços, está presente também nas mudanças culturais, organizacionais e sociais para a formação de um processo capaz de ser repetido e, principalmente, gerenciado (TIDD E BESSANT, 2015). Observar cada decisão tomada ao longo do processo é uma forma de se

fotografar o momento, preparando outras equipes em instituições de pesquisa sobre o seu papel de organizar espaços de parcerias para a inovação, caso desejem ser motoras do desenvolvimento na nova economia do conhecimento (REICHERT, 2019).

É importante ressaltar, por outro lado, que apesar de ter sido gerado um arcabouço de decisões tomadas em um projeto de inovação nas duas instituições de pesquisa, esse modelo possui limitações severas de generalização, visto que trata-se da análise de um caso único (CROWE ET AL., 2011). Ademais, os próprios autores da metodologia de levantamento de decisões destacam que outras pesquisas encontrariam arcabouços de decisões diferentes (KRISHNAN E ULRICH, 2001). Estudos futuros repetindo a metodologia em casos múltiplos poderão fornecer evidências comparativas, para gerar teorias com robustez elevada acerca do processo de inovação em universidades. Portanto, o presente estudo não possui intenções de ser indutivo. Apesar disso, os resultados aqui apresentados oferecem *insights* a partir da avaliação de um dos integrantes do projeto (*insider*) para introduzir perguntas no contexto da interação universidade-empresa e sobre como o processo de inovação pode ser gerenciado dentro das universidades, com foco na transferência de tecnologia.

A inovação desenvolvida no caso será transferida para a empresa demandante, caracterizando um caso de desenvolvimento de inovação na universidade que conclui o ciclo de pesquisa, desenvolvimento e transferência (licenciamento) da tecnologia. Nesse ciclo, foi possível observar o surgimento de novos conceitos ao longo do processo de inovação e também a relevância que a escolha da propriedade intelectual tem sobre esse tipo de processo.

Por fim, os resultados do presente estudo terão aplicação imediata na rotina da empresa estudada, podendo estimular novos desenvolvimentos de produtos complexos para a saúde pública, especialmente, para resolver o problema causado pelo mosquito *Ae. aegypti*.

7 CONCLUSÕES

Conclui-se que o presente trabalho atingiu os objetivos propostos de apresentar o contexto do caso e o processo de desenvolvimento do produto, detalhando suas complexidades e decisões tomadas. Além disso, foi possível esclarecer a veracidade ou falsidade das hipóteses formuladas neste trabalho ([Seção 3](#)).

A Hipótese H1 que afirmava que não seria possível utilizar um arcabouço de decisões padronizado para projetos de desenvolvimento de produtos realizados em instituições de pesquisa se mostrou parcialmente correta, já que as universidades têm o papel de desenvolver inovações tecnológicas que serão incorporadas em produtos após o licenciamento de tecnologias e, atualmente, não executam atividades de desenvolvimento de produtos sendo essa atividade, essencialmente realizada no âmbito corporativo. No entanto, sob certo grau de abstração, o arcabouço de decisões tomadas no desenvolvimento de produtos pode ser adaptado à realidade de universidades, para que estas passem a orientar sua pesquisa e desenvolvimento de tecnologias inovadoras considerando aspectos de mercado e também como a sua inovação irá performar após ter sido incorporada a um produto. Aspectos para medição de desempenho de projetos de inovação, bem como o estabelecimento de prazos de entrega para o desenvolvimento de tecnologias, além do estímulo ao empreendedorismo acadêmico são detalhes que podem favorecer as universidades em sua nova empreitada na economia do conhecimento. Nesse sentido, o papel dos NITs é essencial como formulador de estratégias para gestão da propriedade intelectual e treinamentos empreendedores.

A Hipótese H2, por sua vez, se mostrou acertada, quando afirmou que as complexidades e incertezas enfrentadas no projeto de inovação seriam semelhantes às mapeadas pela literatura de desenvolvimento de produtos e que influenciaram nas decisões tomadas. Verificou-se que apesar das particularidades do projeto, pelo fato de ter sido realizado em instituições de pesquisa, a equipe se orientou para a inovação, apresentando características organizacionais observadas em empresas, para enfrentar as incertezas intrínsecas à processos inovativos.

Dessa forma, ciente das limitações de generalização, o trabalho discutiu como um projeto de desenvolvimento realizado em instituições de pesquisa pode ser diferente do tradicional na perspectiva das decisões e complexidades, fornecendo reflexões para novas pesquisas de casos semelhantes. Com isso, no futuro, espera-se que o caso estudado sirva de evidência para que, em conjunto com outros estudos, possibilite a construção de um modelo indutivo de desenvolvimento de inovações realizados em universidades com foco na transferência de tecnologias e incorporação em produtos complexos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, R., BESSANT, J., PHELPS, R. Innovation management measurement: a review. **International Journal of Management Reviews**, v. 8, n. 1., p. 21–47, 2006
- AHEARNE, M., GRUEN, T., SAXTON, M.K. When the product is complex, does the advertisement's conclusion matter? **Journal of Business Research**, v. 48, n. 1, p. 55–62, 2000
- ALVAREZ, S. A., BARNEY, J. B. The entrepreneurial theory of the firm. **Journal of Management Studies**, v. 44, n.7, p. 1057-1063, 2007
- AMARA, N., LANDRY, R., BECHEIKH, N., OUIMET, M. Learning and novelty of innovation in established manufacturing SMEs. **Technovation**, v. 28 n. 7, p. 450-463, 2008
- ARBIX, G. Estratégias de inovação para o desenvolvimento. **Tempo Social**, v. 22, n. 2, p. 167-185, 2010
- AUDRETSCH, D., LEHMANN, E., WARNING, S. University spillovers and new firm location. **Research Policy**, v. 34, n. 7, 1113–1122, 2005
- BAGNO, R., SALERNO, M., DIAS, A. The emergence of innovation function in Brazilian companies. **Anais do Congresso: International Association for Management of Technology**, Cape Town, FL, p. 967–986, 2015
- BAGNO, R., SALERNO, M., DA SILVA, D. Models with graphical representation for innovation management: a literature review. **R&D Management**, v. 47, n. 4, p. 637–653. 2017
- BAKER et al. Guidebook to Decision-Making Methods. Washington, DC. **US Department of Energy**, 2001
- BANERJEE, G. Assessing visibility of research organization: A fuzzy analytic network process approach. **Journal of Scientific and Industrial Research**, v. 73, n. 5, p. 283-289, 2014
- BARSANTE, L., PAIXÃO, K., LAASS, K., CARDOSO, R. EIRAS, A. ACEBAL, J. A model to predict the population size of the dengue fever vector based on rainfall data. **Mathematical Bioscience**, v. 1, p. 1-22, 2014
- BAUMOL, W. The Free-Market Innovation Machine: Analyzing the Growth Miracle of Capitalism. Princeton, NJ, **Princeton University Press**, 2002
- BLASS, E., HAYWARD, P. Innovation in higher education; will there be a role for “the academe/university” in 2025?. **European Journal of Futures Research** v. 2, n. 41, 2014
- BONINI, L. A.; SBRAGIA, R. O Modelo de Design Thinking como indutor da inovação nas empresas: um estudo empírico. **Revista de Gestão e Projetos**, v. 2, n. 1, p. 3-25, 2011
- BOS, B., BROEKHUIZEN, T. L., DE FARIA, P. A dynamic view on secrecy management. **Journal of Business Research**, v. 68, n. 12, p. 2619–2627, 2015

BOSCHMA, R. Proximity and Innovation: A Critical Assessment. **Regional Studies**, v.39, n. 1, p. 61-74, 2005

BRASHERS D. E. Communication and Uncertainty Management. **Journal of Communication**, v.51, n.3, p. 477-497, 2006

BRASIL, Lei nº 9.279, de 14 de maio 1996. Dispõe sobre os direitos e obrigações relativos à propriedade industrial. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19279.htm

BRASIL, Lei nº 9.609, de 19 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre a proteção da propriedade intelectual de programa de computador, sua comercialização no País, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9609.htm

BRASIL, Lei nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19610.htm

BRASIL, Lei nº 10.168, de 29 de dezembro de 2000. Institui contribuição de intervenção de domínio econômico destinada a financiar o Programa de Estímulo à Interação Universidade-Empresa para o Apoio à Inovação e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L10168.htm

BRASIL, Lei nº 11.196, de 21 de novembro de 2005. “Lei do Bem”. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/111196.htm

BRASIL, Lei nº 10.973, de 2 de dezembro de 2004. Dispõe sobre incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato20042006/2004/lei/110.973.htm

BRASIL, Lei nº 13.243, de 11 de janeiro de 2016. “Marco Legal da Ciência, Tecnologia e Inovação”. Dispõe sobre estímulos ao desenvolvimento científico, à pesquisa, à capacitação científica e tecnológica e à inovação. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2016/Lei/L13243.htm

BREM, A., VOIGT, K. I. Integration of market pull and technology push in the corporate front end and innovation management Insights from the German software industry. **Technovation**, v. 29, n. 5, p. 351-367, 2004

BROWN, T. Design thinking. **Harvard Business Review**, v. 86, n. 6, p. 85-92, 2008

CÂMARA, S. F. Os núcleos de inovação tecnológica e as spin-offs acadêmicas. **Journal of Management Analysis**, v. 7, n. 1, 2018

CANONGIA, C., SANTOS, D. M., SANTOS, M. M., ZACKIEWICZ, M. Foresight, inteligência competitiva e gestão do conhecimento: instrumentos para a gestão da inovação. **Gestão e Produção**, v. 11, n. 2, p. 231-238, 2004

CANTARELLO S., NOSELLA A., PETRONI G., VENTURINI K., External technology sourcing: evidence from design-driven innovation, **Management Decision**, v. 49, n. 6, p. 962-983, 2011

CHANDRA, A., SILVA, M. Business Incubation in Chile: Development, Financing and Financial Services. **Journal of Technology Management Innovation**, v. 7, n. 2, p. 1-13, 2012

CHESBROUGH, H. Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology. Boston, MA, **Harvard Business School Press**, 2003

CHRISTOFFERSON R. C. Zika Virus Emergence and Expansion: Lessons Learned from Dengue and Chikungunya May Not Provide All the Answers. **The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 95, n. 1, p. 15–18, 2016

CLEYN, S., JACOBY, A., BRAET, J. Success Factors in New Product Development: How Do They Apply to Company Characteristics of Academic Spin-Offs? **The Journal of Private Equity**, v. 13, n. 1, p. 51-61, 2009

CODEÇO, C. T.; et al. Surveillance of *Aedes aegypti*: Comparison of House Index with Four Alternative Traps. **PLOS Neglected Tropical Diseases**, v.9, n.2, 2015

COELHO K., BOSCHIVER S., COUTO M. Políticas governamentais de incentivo ao patenteamento: uma revisão da literatura. **Revista Online de Pesquisa Propriedade Intelectual**. v. 1, n. 2, p. 47-54, 2019

COHEN, W., & LEVINTHAL, D. Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation. **Administrative Science Quarterly**, v. 35, n. 1, p. 128-152, 1990

CONNOR, M., MONROE, W. *Stegomyia* indices and their value in yellow fever control. **American Journal of Tropical Medical Hygiene**. 1923, v. 3, p. 9-19

COOPER, R. G. Stage-gate system: A new tool for managing new products. **Business horizons**, v. 33, n. 3, p. 44-54, 1990

COOPER, L. G. Strategic marketing planning for radically new products. **Journal of Marketing**, v. 64, n. 1, p. 1-16, 2000

COOPER, R. G. The drivers of success in new-product development. **Industrial Marketing Management**. v. 76, p. 36-47, 2019

CRASS, D., VALERO, F. G., PITTON, F., RAMMER, C. Protecting Innovation Through Patents and Trade Secrets: Evidence for Firms with a Single Innovation, **International Journal of the Economics of Business**, v. 26, n. 1, p. 117-156, 2019

CROSSAN, M. M., APAYDIN, M. A Multi-Dimensional Framework of Organizational Innovation: A Systematic Review of the Literature. **Journal of Management Studies**. v. 47, n. 6, p 1154-1191, 2010

CROWE, S., CRESSWELL, K., ROBERTSON, A., HUBY, G., AVERY, A., SHEIKH, A. The case study approach. **BMC Medical Research Methodology**, v. 11, n. 100. 2011

DAMANPOUR, F., SCHNEIDER, M. Characteristics of Innovation and Innovation Adoption in Public Organizations: Assessing the Role of Managers, **Journal of Public Administration Research and Theory**, v. 19, n. 3, p. 495–552, 2009

DENZIN, N. K. The research act. 3thd. ed. Englewood Cliffs: **Prentice Hall**, 1989.

DEWAR, R. D., DUTTON, J. E. The Adoption of Radical and Incremental Innovations: An Empirical Analysis. **Management Science**. v. 32, n. 11, p. 1422-1433, 1986

DZIALLAS, M., BLIND, K. Innovation indicators throughout the innovation process: An extensive literature analysis. **Technovation**. v. 80

EIRAS, A. E., SANT'ANA, A. L. **Atraentes de oviposição de mosquitos**. Depositante: Universidade Federal de Minas Gerais. PI 0106701-0 B1. Depósito: 20 dez. 2001. Concessão 08 dez. 2015

EIRAS, A. E. **Armadilha para captura de mosquitos**. Depositante: Universidade Federal de Minas Gerais. PI 0203907-9 B1. Depósito: 05 set. 2002. Concessão: 26 nov. 2019

EIRAS, A. E. **Sistema de monitoramento e controle de endemias e armadilha com atraentes sintéticos de oviposição para captura de mosquitos**. Depositante: Universidade Federal de Minas Gerais/ Ecovec Comércio e Licenciamento de Tecnologias LTDA. PI 0506220-9 B1. Depósito: 27 dez. 2005. Concessão: 31 mar. 2015.

EIRAS, A. E.; RESENDE, M. C. Preliminary evaluation of the "Dengue-MI" technology for *Aedes aegypti* monitoring and control. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 25, n. 1, p. 45-58, 2009

EIRAS, A. E., RESENDE, M. C., ACEBAL, J. L., PAIXÃO, K. S. New cost-benefit of Brazilian technology for vector surveillance using trapping system. **Intechopen**. Malaria. Ed: Fyson H. Kasenga. 2018

ELVERUM, C. W., WELO, T. The role of early prototypes in concept development: Insights from the automotive industry. **Procedia CIRP**, v. 21, p. 491–496, 2014

EMDEN, Z., CALANTONE, R. J., DROGE, C. Collaborating for New Product Development: Selecting the Partner with Maximum Potential to Create Value. **The Journal of Product Innovation Management**, v. 23, n. 4, p. 330-341, 2006

ERDIL, E., MEISSNER, D., CHATAWAY, J. Innovation Ecosystems and Universities. Innovation and the Entrepreneurial University. **Capítulo 1 - Science, Technology and Innovation Studies**. Springer, Cham, Suíça. 2018

ERNST, H. Success Factors of New Product Development: A Review of the Empirical Literature. **International Journal of Management Reviews**, v. 4, n. 1, p. 1-40, 2002

ETGES, A. P. B. S., CORTIMIGLIA, M. N. A systematic review of risk management in innovation-oriented firms, **Journal of Risk Research**, v. 22, n. 3, p. 364-381, 2019

ETZKOWITZ, H.; LEYDESDORFF, L. The dynamics of innovation: from national systems and “Mode 2” to a Triple Helix of university-industry-government relations. **Research Policy**, v. 29, p. 109-123, 2000

ETZKOWITZ, H. Hélice Tríplice: universidade-indústria-governo: inovação em ação. Porto Alegre: **EDIPUCRS**, 2009

ETZKOWITZ, H., ZHOU, C. Hélice Tríplice: inovação e empreendedorismo universidade indústria-governo. **Estudos avançados**, v. 31, n. 90, p. 23-48, 2017

FERNÁNDEZ-ALLES, M., CAMELO-ORDAZ, C., FRANCO-LEAL, N. Key resources and actors for the evolution of academic spin-offs. **Journal of Technology Transfer**, v. 40, p. 976–1002, 2015

FERREIRA, D. et al. Meteorological variables and mosquito monitoring are good predictors for infestation trends of *Aedes aegypti*, the vector of dengue, chikungunya and Zika. **Parasites & Vectors**, v.10, n.78, p.1-11, 2017

FILIOU, D., MASSINI, S. Industry cognitive distance in alliances and firm innovation performance. **R&D Management**, v. 48, n. 4, p. 422-437, 2017

FINCH, B. J. Internet discussions as a source for consumer product customer involvement and quality information: an exploratory study. **Journal of Operations Management**, v. 17, p. 535-556, 1999

FINEP. Financiadora de Estudos e Projetos. Apresentação do Fundo CT-Verde-Amarelo. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/a-finep-externo/fndct/estrutura-orcamentaria/quais-sao-os-fundos-setoriais/ct-verde-amarelo>. Acesso em 28 de janeiro de 2020

FOCKS, D. A. 2003. A review of entomological sampling methods and indicators for dengue vectors. Gainesville, FL. **World Health Organization**, 40 p.

FRANCIS, D., BESSANT, J. Targeting innovation and implications for capability development. **Technovation**, v. 25, n. 3, p. 171-183, 2005

FREEMAN, C.; SOETE, L. A economia da inovação industrial. Campinas: **Editora da Unicamp**, 2008

GALES, L., MANSOUR-COLE, D. User involvement in innovation projects: Toward an information processing model, **Journal of Engineering Technology Management**, v. 12, p. 77–109, 1995

GARCIA, R., CALANTONE, R. A critical look at technological innovation typology and innovativeness terminology: a literature review. **The Journal of Product Innovation Management**, v. 19, p. 110—132, 2002

GARCIA, R. C., RAPINI, M. S., CÁRIO, S. A. F. Estudos de caso da interação universidade-empresa. Belo Horizonte, MG: **FACE/UFMG**, 2018

GEMSER, G., LEENDERS, M. Managing cross-functional cooperation for new product development success, **Long Range Planning**, v. 44, n. 1, p. 26-41, 2011

GOVINDARAJAN, V., TRIMBLE, C. O outro lado da inovação: a execução como fator crítico de sucesso. **Harvard Business Review Press**, 2009

GRAS, J. M. G. et al. An empirical approach to the organisational determinants of spin-off creation in European universities. **International Entrepreneurship and Management Journal**, v. 4, n. 2, p. 187-198, 2008

GREEN, S.G., GAVIN, M.B. AIMAN-SMITH, L. Assessing a multidimensional measure of radical technological innovation". **IEEE Transactions on Engineering Management**. v. 42 n. 3, p. 203-214, 1995

GRIFFIN, A. The Effect of Project and Process Characteristics on Product Development Cycle Time. **Journal of Marketing Research**, v. 34, n. 1, p. 24-35, 1997

GUZMAN, M. G., HARRIS, E. Dengue. **Lancet**, v. 385, n. 9966, p. 453-465, 2015

HAMEL, G.; PRAHALAD, C. K. Competing for the future. Boston, MA: **Harvard Business School Press**, p. 1-25, 1994

HENDERSON, R. M., CLARK, K. B. Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms. **Administrative Science Quarterly**, v. 35, n.1, p. 9-30, 1990

HERSTATT, C.: Search fields for radical innovations, *International Journal of Entrepreneurship and Innovation Management*, v. 2, n. 1, p. 71-95, 2002

HEUS, J. J., DE PAUW, E. S., MIRJAM, L., MARGHERITA, M., MICHAEL R, H., MICHAL, H. Importance of intellectual property generated by biomedical research at universities and academic hospitals. **Journal of Clinical and Translational Research**, v. 3, n. 2, p. 250-259, 2017

HLADIK, K.J. R&D and International Joint Ventures. **Cooperative Strategies in International Business**. New York, Macmillan. 1988

HOBDAY, M., RUSH, M., TIDD, J. Innovation in Complex Products and Systems. **Research Policy**, v. 29, n. 7-8, p. 793-804, 2000

HUSTON, L., SAKKAB, N. Connect and Develop: Inside Procter & Gamble's New Model for Innovation. **Harvard Business Review**, v. 84, n. 3, p. 58-66, 2006

IANSTITI, M., WEST., J. Technology Integration: Turning Great Research into Great Products. **Harvard Business Review**. v. 75, n. 3, p. 69-78, 1997

IBGE. Pesquisa de Inovação (PINTEC - 2014). Diretoria de Pesquisas. Coordenação da Indústria. Rio de Janeiro, RJ. **Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão**, 2014

ISAKSEN, S.G. Leadership's role in creative climate creation. Capítulo de Livro: Handbook of Research on Leadership and Creativity. Ed: Michael D. Mumford e Sven Hemlin, **Edward Elgar Publishing Limited**, Cheltenham, UK, 2006

ISOHERRANEN, V., KESS, P. Analysis of Strategy Focus vs. Market Share in the Mobile Phone Case Business. **Technology and Investment**, v. 2 n. 2, p. 134-141, 2011

JALONEN, H. The Uncertainty of Innovation: A Systematic Review of the Literature. **Journal of Management Research**. v. 4, n. 1, p. 1-47, 2012

JOHNSON, W. Roles, Resources and Benefits of Intermediate Organizations Supporting Triple Helix Collaborative R&D: The Case of Precarn. **Technovation**, v. 28, n. 8, p. 495-505, 2008

KELLEY, T., LITTMAN, J. As 10 faces da inovação: estratégias para turbinar a criatividade. **Rio de Janeiro: Campus**, 2007.

KIM, N., SRIVASTAVA, R. K. Managing intraorganizational diffusion of technological innovations. **Industrial Marketing Management**, v. 27, n. 3, p. 229-246, 1998

KIM, J., WILEMON, D. Sources and assessment of complexity in NPD projects. **R&D Management**, v. 33, n. 1, p. 15-30, 2003

KIM, J. WILEMON, D. An empirical investigation of complexity and its management in new product development. **Technology Analysis and Strategic Management**, v. 21, n.4, p. 547-564, 2009

KLEINKNECHT, A., PANNE, G. V. D. Predicting New Product Sales: The Post-Launch Performance Of 215 Innovators, **International Journal of Innovation Management**, v. 16, n. 2, p. 1-14, 2012

KLINE, S. J.; ROSENBERG, N. An overview of innovation. Em: Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth. Washington, DC. **National Academy Press**, p. 275-305, 1986

KLINGEBIEL, R., RAMMER, C. Resource allocation strategy for innovation portfolio management. **Strategic Management Journal**, v. 35, n. 2, p. 246-268, 2013

KNOCKAERT M., UCBASARAN D., WRIGHT M. The relationship between knowledge transfer, top management team composition, and performance: the case of science-based entrepreneurial firms. **Entrepreneurship Theory and Practice**, v. 35, n. 4, p. 777-803, 2011

KOC, T., BOZDAG, E., Measuring the degree of novelty of innovation based on Porter's value chain approach. **European Journal of Operational Research**, v. 257, n. 2, p. 559-567, 2017

KOPMANN, J., KOCK, A., KILLEN, C. P., & GEMUENDEN, H. G. Business Case Control: The Key to Project Portfolio Success or Merely a Matter of Form? **Conference Paper: Euram**, Valencia, Espanha., 2014

KOSKINEN, K. U., VANHARANTA, H., The role of tacit knowledge in innovation processes of small technology companies. **International Journal of Production Economics**, v. 80, p. 57-64, 2002

KRISHNAN, V., ULRICH, K. T. Product development decisions: a review of the literature. **Management Science**, v. 47, n. 1, p. 1-21, 2001

LEE, S. M., TRIMI, S. Innovation for creating a smart future. **Journal of Innovation & Knowledge**, v. 3, n. 1, p. 1-8, 2016

MACHO-STADLER, I., PÉREZ-CASTRILLO, D., VEUGELERS, R. Licensing of university inventions: The role of a technology transfer office. **International Journal of Industrial Organization**, v. 25, n. 3, p. 483-510, 2007

MARTINO, J. P. A review of selected recent advances in technological forecasting. **Technological Forecasting and Social Change**, n. 70, p. 719-733, 2003

MELO D. P. O., EIRAS A. E., SCHERRER L. R. Dengue Fever Occurrence and Vector Detection by Larval Survey, Ovitrap and MosquiTRAP: A Space-Time Clusters Analysis. **PLoS One** v. 7, p. 1–14, 2012

MEYER, M. H., UTTERBACK, J. M. Product development cycle time and commercial success. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 42, n. 4, p. 297-304, 1995

MEYERS, P. W., WILEMON, D. Learning in new technology development teams. **Journal of Product Management**, v. 6, n. 2, p. 79-88, 1989

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Diretrizes Nacionais para a Prevenção e Controle de Epidemias de Dengue. **Série A. Normas Técnicas e Manuais Técnicos**. Brasília, DF, 2009

MORRISON, A. Gatekeepers of knowledge' within industrial districts: who they are, how they interact". *Regional Studies*, vol.42, n. 6, p. 817-835, 2008

MU, J., PENG, G. MACLACHLAN, D. L., Effect of risk management strategy on NPD performance. **Technovation**, n. 29, p. 170–180, 2009

MUDELE, O., BAYER, F. M., ZANANDREZ, L. F. R., EIRAS, A. E., GAMBA, P. Modeling the Temporal Population Distribution of *Ae. aegypti* Mosquito Using Big Earth Observation Data. **IEEE Access**, v. 8, p. 14182-14194, 2020

MURMANN, P., Expected development time reduction in the German mechanical engineering industry. **Journal of Product Innovation Management**, v. 11, n.3, p. 236-252, 1994

- MURRAY, F. The role of academic inventors in entrepreneurial firms: sharing the laboratory life. **Research Policy**, v. 33, n. 4, p. 643-659, 2004
- NDONZUAU, F. N., PIRNAY, F. SURLEMONT, B. A stage model of academic spin-off creation. **Technovation**, v. 22, n. 5, p. 281-289, 2002
- NOVAK, S., EPPINGER, S. D. Sourcing By Design: Product Complexity and the Supply Chain. **Management Science**, v. 47, n. 1, p. 189-204, 2001
- NUTT, P.C., Intelligence gathering for decision making. **Omega**, v. 35, p. 604-622, 2007
- O'CONNOR, G., VERYZER, R. The nature of market visioning for technology-based radical innovation. **Journal of Product Innovation Management**, v. 18, n. 4, p. 231-246, 2001
- O'CONNOR, G. C. Innovation: From Process to Function. **Journal of Product Innovation Management**, v. 29, n. 3, p. 361-363, 2012
- OBENAUER, J. F., ANDREW J. T., HARRIS, J. B. The importance of human population characteristics in modeling *Aedes aegypti* distributions and assessing risk of mosquito-borne infectious diseases. **Tropical Medicine Health**, v. 45, n. 38, 2017
- OGAWA, S., PILLER, F.T., Reducing the risks of new product developments. **Sloan Management Review**, v. 47, n.2, 2006
- OKOLI, C., PAWLOWSKI, S. D. The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications. **Information and Management**, v. 42, p. 15-29, 2004
- OLANDER, H., VANHALA, M., HURMELINNA-LAUKKANEN, P. Reasons for choosing mechanisms to protect knowledge and innovations. **Management Decision**, v. 52, n. 2, p. 207-229, 2014
- OOMS, W., WERKER, C., CANIELS, M. Personal and social proximity empowering collaborations: the glue of knowledge networks. **Industry and Innovation**, v. 25, n. 9, p. 833-840, 2018
- OSORIO, F. et al. Design and management of innovation laboratories: Toward a performance assessment tool. **Creativity and Innovation Management**, v. 28, n. 1, p. 82-100, 2019
- OWENS, J. D. Modeling the New Product Development Process: The Value of a Product Development Process Model Approach as a Means for Business Survival in the 21st Century. **Handbook of Research on Knowledge-Intensive Organizations**. p. 208-227, 2009
- PARK, S., LEE, S. J., JUN, S. A network analysis model for selecting sustainable technology. **Sustainability**, v. 7, n.10, p. 13126-13141, 2015
- PATTNAIK, P. N., & PANDEY, S. C. University Spinoffs: What, Why, and How?. **Technology Innovation Management Review**, v. 4, n. 12, p. 44-50, 2014

PEPIN, K. M., LEACH, C. B., MARQUES-TOLEDO, C. et al. Utility of mosquito surveillance data for spatial prioritization of vector control against dengue viruses in three Brazilian cities. **Parasites and Vectors**, v. 8, n. 98, 2015.

PERKS, H., JEFFERY, R. Global Network Configuration for Innovation: A Study of International Fibre Innovation. **R&D Management**, v. 36, n. 1, p. 67-83, 2006.

PETETIN, F., BERTOLUCI, G. BOCQUET, J.C. Decision-Making in Disruptive Innovation Projects: a Value Approach. **Congresso Internacional de Engenharia de Design (ICED 11), Technical University Of Denmark**, Copenhagen, Denmark, 15–18 de agosto de 2011

PLEWA, C. QUESTER, P. A dyadic study of “champions” in university-industry relationships. **Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics**, v. 20, n. 2, p. 211-226, 2008

POPA, I. L, PREDA, G. BOLDEA, M. A theoretical approach of the concept of innovation. **Managerial Challenges of the Contemporary Society**, n. 1, p. 151-156, 2010

POUTANEN, P., SOLIMAN, W. STÅHLE, P. The complexity of innovation: an assessment and review of the complexity perspective. **European Journal of Innovation Management**, v. 19 n. 2, p. 189-213, 2016

PROKOP, D., HUGGINS, R., BRISTOW, G. The survival of academic spinoff companies: An empirical study of key determinants. **International Small Business Journal: Researching Entrepreneurship**, v. 37, n. 5, 2019

RAPINI, M. S., CHIARINI, T., BITTENCOURT, P. F. Obstacles to innovation in Brazil. **Industry and Higher Education**, v. 31, n. 3, p. 168–183, 2017

REICHERT, R. The role of universities in regional innovation ecosystems. Brussels, Geneva: Capítulo de livro. **European University Association**, 2019 Disponível em: https://eua.eu/downloads/publications/eua%20innovation%20ecosystem%20report%202019v1.1_final_digital.pdf. Acesso em 16 de janeiro de 2020

RESENDE, M. C., DE ÁZARA, T., COSTA, I. O., HERINGER, L. C., ANDRADE M. R., ACEBAL J. L., EIRAS A. E. Field optimisation of MosquiTRAP sampling for monitoring *Aedes aegypti* Linnaeus (Diptera: Culicidae). **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, n. 107, p. 294-302, 2012

RESENDE, M. C., SILVA I. M., ELLIS B. R., EIRAS A. E. A comparison of larval, ovitrap and MosquiTRAP surveillance for *Aedes (Stegomyia) aegypti*. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, n. 108, p. 1024-1030, 2013

RESENDE, R. G. Fatores mediadores do processo de colaboração entre Universidade e empresa para a realização de projetos de P&D: Aplicação a um centro de tecnologia em nanomateriais. Dissertação de mestrado. **Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica e Propriedade Intelectual**. Universidade Federal de Minas Gerais, 2018

RIBEIRO, L. O marco legal (CT&I) no sistema nacional de inovação do Brasil: uma avaliação de indicadores selecionados. Dissertação de mestrado. **Mestrado em Economia**. Faculdade de Ciências e Letras de Araraquara, Universidade Estadual Paulista. Araraquara-SP. 2019

RITALA, P., OLANDER, H., MICHAILOVA, S., HUSTED, K. Knowledge sharing, knowledge leaking and relative innovation performance: An empirical study. **Technovation**, v. 35, p. 22–31, 2015

ROBERTS, E. B. *Entrepreneurs in High Technology: Lessons from MIT and Beyond*. Nova York, **Oxford University Press**, 1991

ROGERS, E. M. *Diffusion of Innovations* 5th ed. Nova York. **Free Press**, 2003

SAAD, M. Issues and Challenges Arising from the Application of Innovation Strategies Based on the Triple Helix Culture: Experience of the Incubation System in Algeria, **International Journal of Technology Management & Sustainable Development**, v. 3, n. 1, p. 17–35, 2004

SBRAGIA, R. The interface between project managers and functional managers in matrix organized product development projects. Artigo apresentado no **9º Congresso Internacional de Gestão de Tecnologia**, Miami, FL, 2000

SEIDEL, V. P. Concept Shifting and the Radical Product Development Process. **The Journal of Product Innovation Management**, v. 24, n. 6, p. 522-533, 2007

SHANE, S. *Academic Entrepreneurship: University Spinoffs and Wealth Creation*. **University of Illinois at Urbana-Champaign's Academy for Entrepreneurial Leadership**. 2004

SHEREMATA, W. Competing through innovation in network markets: Strategies for challengers. **The Academy of Management Review**, v. 29, n. 3, p. 359-377, 2004

SILVA, H. P., LEHOUX, P., MILLER, F. A., DENIS, J. Introducing responsible innovation in health: a policy-oriented framework. **Health Research Policy and Systems**, v. 16, n. 90, 2018

SINGH, S. Innovation, intellectual property rights and competition policy. **Innovation and Development**, v. 5, n. 1, p. 147–164, 2015

SIVAGNANAME N, GUNASEKARAN K. Need for an efficient adult trap for the surveillance of dengue vectors. **Indian Journal of Medical Research**. v. 136, n. 5, p. 739–749, 2012

SONG, X. M., PARRY, M. E. The R&D–Marketing Interface in Japanese High-Technology Firms. **Product Innovation Management**, v. 9, n. 2, p. 91-112, 1992

SOUDER, W. E., MOENAERT, R. K. An Information Uncertainty Model for Integrating Marketing and R&D Personnel. **Journal of Management Studies**, v. 29, n. 4, p. 485 – 512, 2007

STAL, E. Internacionalização de empresas brasileiras e o papel da inovação na construção de vantagens competitivas. **Innovation & Management Review**, v. 7, n. 3, p. 120-149, 2010

TATIKONDA, M. V., ROSENTHAL, S. R. Technology novelty, project complexity, and product development project execution success: a deeper look at task uncertainty in product innovation. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 47, n. 1, p. 74–87, 2000

TEECE, D. J. Profiting from technological innovation: Implications for integration, collaboration, licensing and public policy. **Research Policy**, v. 15, n. 6, p. 285-305, 1986

TEIXEIRA, A. A. C., FERREIRA, C. Intellectual property rights and the competitiveness of academic spin-offs. **Journal of Innovation and Knowledge**, v. 4, n. 3, p. 154-161, 2019

TETHER, B. S. Who co-operates for innovation, and why - An empirical analysis. **Research Policy**, v. 31, n. 6, p. 947-967, 2002

THOMAS, R. J. Bases of power in organizational buying decisions. **Industrial Marketing Management**, v. 13, n. 4, p. 209-217, 1984

TIDD, J. Innovation management in context: environment, organization and performance. **International Journal of Management Reviews**, v. 3, n. 3, p. 169-183, 2002

TIDD, J., BESSANT, J. Gestão da Inovação. 5 ed. Porto Alegre, RS: **Bookman**, 2015

VASCONCELOS-GOMES, L. A., FACIN, A. L. F., SALERNO, M. S., IKENAMI, R. K. Unpacking the innovation ecosystem construct: Evolution, gaps and trends. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 136, p. 30-48, 2018

VOHORA, A., WRIGHT, M., LOCKETT, A. Critical junctures in the development of university high-tech spinout companies. **Research Policy**, v. 33, n.1, p. 147-155, 2004

VOSS, C., TSIKRIKTSIS, N. AND FROHLICH, M. Case research in operations management, **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22 n. 2, p. 195-219.

WALSH, S.T., KIRCHHOFF, B.A., NEWBERT, S. Differentiating Market strategies for disruptive technologies. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 49, n. 4, p. 341–351, 2002

WEAVER, S. C., REISEN, W. K. Present and future arboviral threats. **Antiviral Research**. v. 85, n. 2, p. 328–345, 2010

WECKOWSKA, D. Learning in university technology transfer offices: transactions-focused and relations-focused approaches to commercialization of academic research. **Technovation**, v. 41, n. 42; p. 62-74, 2015

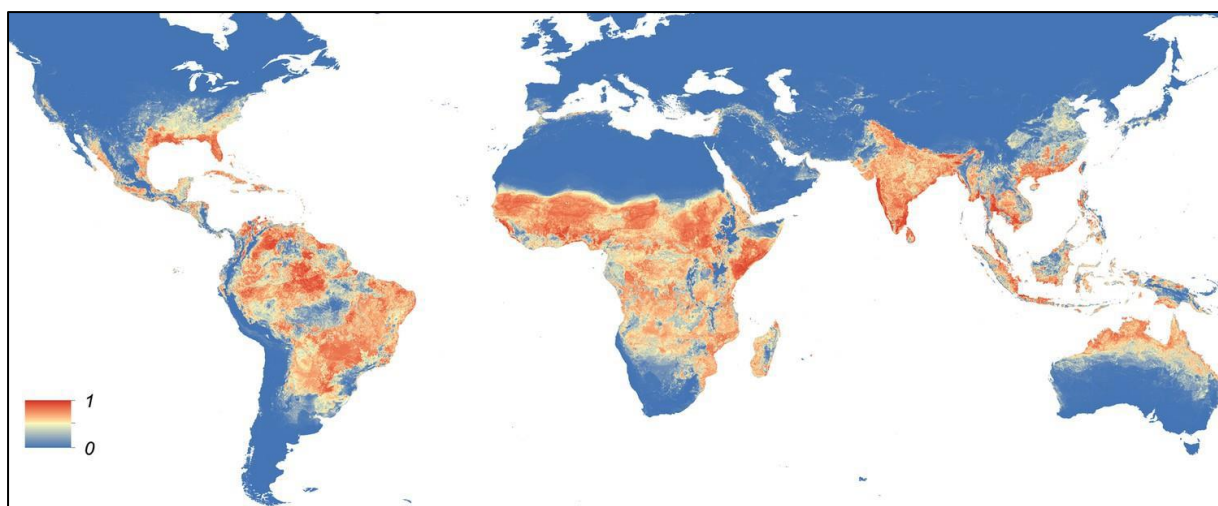
WHETTEN, D. A. What constitutes a theoretical contribution. **Academy of Management**, v. 14, n. 4, p. 490-495, 1993

APÊNDICE A – CONTEXTUALIZAÇÃO DO UNIVERSO DA INOVAÇÃO

Um problema de saúde pública: Mosquito *Aedes aegypti*

O *Aedes (Stegomyia) aegypti* (LINNAEUS, 1762), popularmente conhecido como mosquito da dengue, está presente em mais de 100 países e representa risco para metade da população mundial. A atenção para esse mosquito está relacionada ao fato de que ele é vetor de diversas doenças, chamadas arboviroses, tais como dengue, zika, chikungunya e febre amarela urbana. As doenças transmitidas pelo *Ae. aegypti* evocam preocupações importantes para as autoridades por seus prejuízos à saúde pública e pelos impactos econômicos e sociais (KRAEMER ET AL., 2015).

Figura 9. Distribuição mundial do mosquito *Aedes aegypti*



Fonte: Kraemer *et al.*, 2015.

Legenda: Risco de infecção com o vírus Dengue de 0 (sem risco) a 1 (maior risco).

A dengue é a mais prevalente das arboviroses com aproximadamente 390 milhões de novos casos anualmente no mundo, o que representa um aumento de 30 vezes nos últimos cinquenta anos (GUZMAN E HARRIS, 2015). Conhecida por causar febre alta, dores de cabeça, dores no corpo e nos olhos, a dengue pode evoluir para o quadro hemorrágico, o que pode levar à morte (GUZMAN ET AL., 2016). Em 2019, foram notificados 1.544.987 casos somente no Brasil, com pelo menos 782 óbitos (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2020).

Existem quatro variantes (sorotipos) diferentes de Dengue Vírus (DENV-1, DENV-2, DENV-3 e DENV-4), cada uma capaz de produzir uma resposta imune única. No entanto, essa imunidade é específica e não protege contra outros sorotipos, o que pode agravar uma segunda infecção por um sorotipo distinto. Esse fato também dificulta o combate à doença, já que a chance de haver pessoas susceptíveis a pelo menos um sorotipo viral em determinada região é maior, favorecendo a condição endemo-epidêmica da dengue (SANTOS ET AL., 2019).

Ao contrário da dengue, que parece ter chegado às Américas durante as colonizações (SALLES ET AL., 2018), a introdução dos vírus Chikungunya (CHIKV) e Zika (ZIKV) no Novo Mundo é mais recente. Nas Américas, eles emergiram entre 2013 e 2014 e rapidamente se espalharam por diversos países, incluindo o Brasil (VASCONCELOS E CALISHER, 2016).

O CHIKV causa uma doença que leva a fortes dores nas articulações na fase aguda, característica que deu nome à doença. No dialeto maconde, oriundo do interior da Tanzânia, onde o vírus foi descrito pela primeira vez em 1952, a palavra “chikungunya” significa “aquele que se dobra” em referência à posição contorcida que os pacientes com chikungunya costumam apresentar (AMARAL E SCHOEN, 2018). Em 2017, houve mais de 400.000 casos de chikungunya somente na Região Nordeste do Brasil, com o estado do Ceará concentrando mais de 149.000 notificações (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2018). As consequências clínicas da chikungunya são ainda mais graves que as da dengue, devido a seu perfil de cronificação da doença. Dos pacientes que apresentam dor aguda causada pela infecção pelo CHIKV, até 60% podem apresentar artrite, dor muscular e fadiga que pode perdurar por até 3 anos, obrigando os acometidos a necessitarem de acompanhamento de especialidades médicas adicionais, como a reumatologia (THIBERVILLE ET AL., 2013).

Com relação à febre zika, o primeiro caso foi confirmado em 2015 no estado de Pernambuco e em seguida houve dispersão do vírus para outros estados. Por apresentar sintomas mais brandos quando comparada às outras arboviroses, a zika não gerou alarde até outubro de 2015, quando ocorreu um importante aumento dos casos de microcefalia em recém-nascidos no Nordeste do país (TEIXEIRA ET AL., 2016). Menos de um ano depois, a Organização Mundial da Saúde (OMS) declarou emergência em saúde pública de interesse internacional após suspeitas de que o ZIKV estaria associado às más formações neurológicas, o que elevou a sua relevância entre os arbovírus (LOWE ET AL., 2018). O número de casos de zika vem diminuindo, com 205.578 casos notificados em 2016 e 13.353 em 2017, provavelmente pelo aumento da imunidade da população (FERGUSON ET AL., 2016).

A febre amarela, por sua vez, é uma doença de ciclo predominantemente silvestre e da qual já existe vacina desde 1937. Por outro lado, apresentou reemergência e risco de transmissão urbana nos anos de 2016, 2017 e 2018. As epizootias, como são chamados os casos em animais que ocorrem simultaneamente e em pouco tempo na natureza, ocorreram em grande quantidade e próximas ao meio urbano, enquanto os casos humanos chegaram a 777 confirmações em 2016, 1.376 em 2017 e 12 em 2018. A maioria dos casos ocorreu na Região Sudeste do país, com taxas de mortalidade próximas de 35% (GIOVANETTI ET AL., 2019).

Além das principais doenças arboviróticas, o *Ae. aegypti* tem a capacidade de transmitir outros arbovírus emergentes, em especial o vírus Mayaro, que causa fortes dores de cabeça e nas articulações que podem perdurar por semanas, configurando situação de cautela para as autoridades de saúde pública em países como o Brasil (FIGUEIREDO E FIGUEIREDO, 2014).

Análises do custo das arboviroses têm sido importantes indicadores da importância econômica dessas doenças para as nações, principalmente aquelas em desenvolvimento. Estudo sobre os impactos da dengue para os cofres públicos vêm demonstrando que o Brasil é o país com as maiores perdas econômicas causadas pela doença no hemisfério ocidental, cerca de US\$ 1,35 bilhão por ano. Quando avaliado o custo de cada caso separadamente, são dispendidos aproximadamente US\$ 629 na média, considerando os casos ambulatoriais, hospitalizações e mortes. O Brasil também é um dos países no qual a dengue tem maior custo per capita, cerca de US\$ 7 em valores de 2010 (SHEPARD ET AL., 2011).

A dengue tem uma característica considerada contra intuitiva no que tange o seu impacto na saúde pública. Os impactos dos custos indiretos, ou seja, causados pelo absenteísmo no trabalho e perdas de produtividade relativas aos sintomas tendem a ser maiores do que os impactos dos custos diretos, relacionados ao tratamento e manutenção das estruturas de saúde. Isso ocorre porque a maioria dos casos de dengue são ambulatoriais e não necessitam de internação, e a doença, quando apresenta sintomas, é capaz de causar prejuízos às atividades do dia-a-dia (SUAYA ET AL., 2009).

A subnotificação é outro fator a ser considerado quando analisados os impactos da dengue e o sucesso de programas de monitoramento e controle do vetor *Ae. aegypti*. A dengue, assim como as outras arboviroses que circulam no Brasil, são doenças de notificação compulsória no Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN). Porém, já foi demonstrada a fragilidade do sistema de saúde brasileiro em detectar e reportar corretamente casos de arboviroses. Silva *et al.* (2016) realizaram um monitoramento intensivo em uma unidade de pronto-atendimento pública na cidade de Salvador, Bahia, durante os anos de 2009 a 2011 e verificaram que apenas 5,7% dos casos cujo exame laboratorial foi positivo para dengue, foram de fato notificados no SINAN. Além disso, fatores relacionados à baixa sensibilidade de exames de teste rápido também podem levar a resultados falso-negativos, mascarando o início de surtos e epidemias. Com isso em mente, Martelli *et al.* (2015) calcularam que a epidemia de dengue ocorrida em 2013 teria custado aos cofres públicos US\$468 milhões, porém quando consideradas as subnotificações, esse valor saltaria para US\$1,212 bilhão.

Com relação a outras arboviroses, um estudo que avaliou os impactos do ZIKV, estimou um custo total entre US\$968 milhões e US\$4,6 bilhões para a epidemia ocorrida entre 2015 e 2017 no país, incluindo gastos diretos e indiretos com microcefalia e outras sequelas neurológicas (PNUD, 2017). Um trabalho que avaliou o impacto da chikungunya na epidemia que atingiu as Ilhas Reunião em 2005 e 2006 estimou que os 266.000 casos ocorridos custaram aos cofres públicos um total de 43,9 milhões de euros a valores da época, significando 165 euros, em média, por paciente, considerando custos diretos com despesas médicas e indiretos por absenteísmo no trabalho ou quedas de produtividade (SOUMAHORO ET AL., 2011). Estudos de avaliação do impacto da febre chikungunya ainda são escassos no contexto brasileiro.

Com exceção da febre amarela, as arboviroses não possuem uma vacina suficientemente eficaz, o que obriga as autoridades de saúde a buscarem alternativas para a prevenção e controle dessas doenças (SILVEIRA ET AL., 2019). Atualmente, essas alternativas estão focadas na vigilância e controle do vetor *Ae. aegypti* (WHO, 2016). Portanto, entender a biologia, ecologia e comportamento deste mosquito é de extrema importância para melhorar as ações de combate ao mosquito e às arboviroses (FOURNET ET AL., 2018).

Biologia e comportamento do *Aedes aegypti*

O mosquito *Ae. aegypti* pertence à Ordem Diptera, Sub-Ordem Nematocera e à Família Culicidae, da qual outros mosquitos de importância médica também fazem parte, como os do gênero *Culex*, *Anopheles*, *Sabethes* e *Haemagogus* e o próprio gênero *Aedes*, que compreende mais de 400 espécies (HARBARCH, 2007).

Usualmente conhecido como mosquito da dengue ou pernilongo, o *Aedes aegypti* apresenta cor preta, com manchas e listras branco-prateadas na cabeça, tórax, abdômen e pernas. A característica morfológica que o distingue de outras espécies do gênero *Aedes* é a presença de listras no formato de lira, um instrumento musical medieval, na parte dorsal de seu tórax, conforme demonstrado na Figura 8 (CLEMENTS, 1992).

Figura 10. Morfologia do *Aedes aegypti*, com listras no tórax em formato de lira (canto superior direito)



Aedes aegypti macho, com listras branco-prateadas no corpo e no tórax em formato de lira, que também está representada no canto superior direito. Fonte: Adaptação do autor de figura retirada da galeria de imagens da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz). Disponível em: <http://www.ioc.fiocruz.br/dengue/galeria/galeria.html>. Acesso em 22 de dezembro de 2019.

O *Ae. aegypti* se desenvolve através da metamorfose completa e passa por quatro estágios: ovo, larva, pupa e mosquito adulto. Para completar o ciclo, essa espécie é dependente de água parada, uma vez que as larvas e pupas são aquáticas. (FORATTINI, 2002). Originalmente, há séculos, o *Ae. aegypti* africano colocava os ovos em diversos criadouros naturais, com pequenas coleções de água, como buracos em árvores, cascas de frutas e folhas retorcidas, mas hoje, após ter sido exportado da África, este mosquito se adaptou completamente ao convívio humano e prefere criadouros artificiais, tais como vasos de plantas, vasilhas de água para animais domésticos, pneus, caixas d' água, entre outros (POWELL E TABACHNICK, 2013).

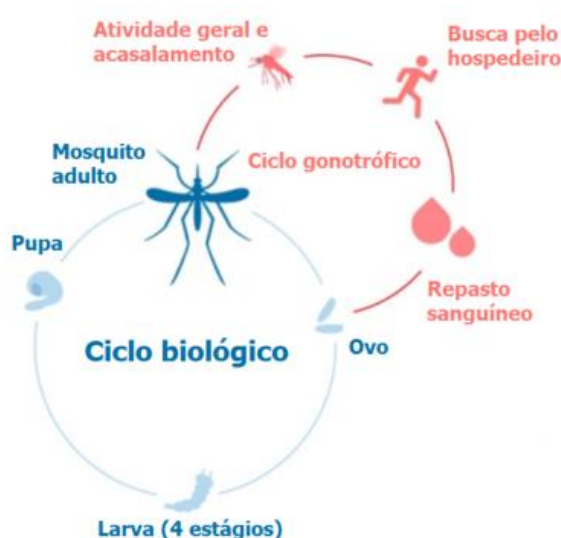
O ciclo biológico do ovo ao adulto tem duração variada, dependendo de condições ambientais, durando em torno de 7 a 10 dias (FORATTINI, 2002). Após a emersão dos mosquitos adultos, ocorre o acasalamento e, em seguida, as fêmeas iniciam a busca por hospedeiros para a realização do repasto sanguíneo, necessário para a maturação dos ovos, ciclo este denominado gonotrófico (REINHOLD ET AL., 2018). Apenas as fêmeas são hematófagas e é raro que fêmeas não-grávidas realizem o repasto sanguíneo antes do acasalamento ocasionalmente (CLEMENTS, 2011). Além disso, sabe-se que as fêmeas grávidas de *Ae. aegypti* têm preferência pelo sangue humano, uma vez que esse alimento possui maior qualidade nutricional em relação ao de outras espécies de mamíferos e aves (BERNIER ET AL., 2006). É durante o repasto sanguíneo que ocorre a transmissão dos arbovírus, que estarão

presentes na saliva do inseto em alguns dias, caso o mosquito tenha picado um hospedeiro infectado anteriormente (DUBRULLE ET AL., 2009; MONTEIRO ET AL., 2019).

Uma das características marcantes das fêmeas grávidas de *Ae. aegypti* é o seu comportamento de realizar múltiplos repastos sanguíneos, picando várias pessoas em um único ciclo gonotrófico, o que colabora com a dispersão de vírus em regiões endêmicas (SCOTT ET AL., 1993). Mosquitos machos, que não são hematófagos, e fêmeas não-grávidas, se alimentam majoritariamente de carboidratos, nutrientes estes necessários à sobrevivência e encontrados na seiva de plantas e no néctar (FORATTINI, 2002).

Após o repasto sanguíneo, a fêmea do *Ae. aegypti* busca locais calmos e escuros para realizar a digestão do alimento e maturação dos ovos, o que dura cerca de 2 a 3 dias (CLEMENTS, 1992). A partir daí, ela se desloca buscando criadouros que contenham água parada para a deposição dos ovos. Sabe-se que os ovos de *Ae. aegypti* tendem a ser dispostos acima da linha da água em condições de seca e sobre a água em estações chuvosas, em pequenos grupos em mais de um criadouro, comportamento adaptativo conhecido como “oviposição em salto” (REITER ET AL., 1995; ABREU ET AL., 2015). Esse comportamento de dispersão dos ovos parece estar relacionado a uma estratégia de sobrevivência para evitar o superpovoamento dos criadouros, que possuem nutrientes limitados, além de permitir o desenvolvimento rápido do inseto nas estações secas (ABREU ET AL., 2015). O comportamento de buscar os criadouros ideais para a sobrevivência do mosquito é, sem dúvidas, uma importante adaptação, tendo impacto significativo no deslocamento da fêmea (CARPENTER, 1983). O ciclo biológico e o gonotrófico do *Ae. aegypti* estão representados na Figura 9.

Figura 11. Ciclo biológico de desenvolvimento do *Aedes aegypti* e ciclo gonotrófico



Fonte: Adaptado de Reinhold *et al.* (2018).

Padrões de dispersão e aglomeração do *Aedes aegypti*

O deslocamento da fêmea do *Ae. aegypti* é tema de suma importância para o planejamento do monitoramento e de intervenções de controle do vetor (REITER, 2007). A maioria dos estudos sobre dispersão do *Ae. aegypti* são realizados por meio da metodologia marcação-liberação-recaptura, na qual um grupo de mosquitos é marcado com um marcador que possa ser detectado a olho nu ou por instrumentos, como pó fluorescente ou marcadores radioativos. Em seguida à marcação, esse grupo é liberado de um ponto conhecido e recapturado por meio de armadilhas ou aspiração em distâncias pré-estabelecidas (REITER, 2007).

A medição do raio de voo médio da fêmea grávida do *Ae. aegypti* em meio urbano indicará o raio limite para intervenções contra o vetor. Essa conclusão é de alta relevância para as autoridades de saúde, visto que em períodos de epidemia, a estratégia de eliminação de criadouros na tentativa de reduzir os locais de oviposição poderá estimular o voo de fêmeas infectadas, aumentando a área de transmissão dos vírus. Além disso, essa medição é importante para definir a área na qual uma população de fêmeas pode se deslocar a partir de um ponto inicial em um espaço de tempo (EDMAN ET AL., 1998; MACIEL-DE-FREITAS ET AL., 2010).

Apesar de não voar à longas distâncias a partir do ponto de emergência da fase adulta, sabe-se que o *Ae. aegypti* tem capacidade fisiológica de voar mais de 10km por dia (ROWLEY E GRAHAM, 1968). Porém, devido à grande quantidade de criadouros e hospedeiros próximos ao ponto de nascimento, esse mosquito tende a formar conglomerados, ou seja, sua distribuição não é homogênea no espaço e costuma se concentrar em raios de 10 a 30m (HARRINGTON ET AL., 2005).

O seu comportamento de “oviposição em salto” contribui com a formação de pequenos conglomerados, uma vez que já foi identificado que na presença de criadouros positivos para larvas e pupas, a chance de se encontrar mosquitos adultos e outros criadouros positivos nas redondezas aumenta significativamente (SCHAFRICK ET AL., 2013). Porém, na ausência de locais para oviposição, a fêmea do mosquito tende a se deslocar maiores distâncias em busca de criadouros (EDMAN ET AL., 1998).

Maciel-de-Freitas *et al.* (2010) liberaram fêmeas não-grávidas e não alimentadas em dois bairros urbanos do Rio de Janeiro e verificaram que as fêmeas se deslocaram predominantemente nos dois primeiros dias e não ultrapassaram 250m de distância a partir do ponto de soltura. Esse deslocamento tendeu a ocorrer para regiões onde havia maior disponibilidade de criadouros e maior disponibilidade de seres humanos e a distância máxima

percorrida ocorreu em apenas dois dias. Segundo os autores, esse comportamento foi condizente com o estado fisiológico dos mosquitos liberados, visto que voaram até encontrar alimento e permaneceram no local pois haviam criadouros disponíveis para oviposição.

Com o objetivo de entender o papel da disponibilidade de criadouros na dispersão do mosquito, Edman *et al.* (1998) liberaram fêmeas grávidas a partir de dois pontos pré-determinados, um com abundância de criadouros e o outro no qual os criadouros foram removidos antes da soltura. Os autores observaram maior recaptura no ponto com abundância de criadouros, corroborando a hipótese de que o *Ae. aegypti* irá voar para mais longe caso não encontre locais de oviposição nos arredores.

Um estudo realizado em Porto Rico descobriu que fêmeas de *Ae. aegypti* podem dispersar por pelo menos 441m a partir do ponto de liberação em poucos dias (REITER ET AL, 1995). Um experimento de marcação-recaptura realizado em um vilarejo no Quênia demonstrou que mosquitos adultos que acabaram de emergir, voaram por até 400m em um único dia, indicando que esse mosquito percorre uma distância relevante em um curto intervalo de tempo. Porém, a maioria das capturas ocorreu no raio de 200m, com alguns mosquitos chegando a atingir 800m em alguns dias (MCDONALD, 1977). Em um estudo utilizando armadilhas de oviposição dispostas em raios de 100, 200, 400, 600 e 800m a partir de um ponto inicial de liberação, Honório *et al.*, (2003) descobriram que após 7 dias, fêmeas grávidas de *Ae. aegypti* conseguiram se deslocar até 800m em um bairro na cidade do Rio de Janeiro. No entanto, nesse estudo, houve manipulação da área avaliada, com remoção de todos os criadouros com água parada previamente à liberação das fêmeas, o que teria estimulado a maior dispersão devido à busca por locais de oviposição.

Outro trabalho avaliou a dispersão de fêmeas grávidas de *Ae. aegypti* espalhando armadilhas de captura de adultos, sendo uma delas, a MosquiTRAP, no bairro Olaria, no Rio de Janeiro. Neste estudo, porém, nenhuma intervenção foi realizada previamente à liberação dos mosquitos. A maioria das fêmeas foi recapturada em até 350m, com 90% das recapturas ocorrendo em até 500m. A distância máxima percorrida em meio urbano foi de 690m e a média foi de 288,12m, o equivalente a uma distância de aproximadamente 3 quarteirões. Os autores associaram a dispersão ao fato de que o bairro não possui grandes barreiras geográficas para mosquitos, como avenidas e córregos (MACIEL-DE-FREITAS E LOURENÇO-DE-OLIVEIRA, 2009).

Portanto, a distância percorrida pelo *Ae. aegypti* pode ser muito maior do que os 30m até que ele encontre pontos de maior disponibilidade de alimento e água parada. Parece haver

um consenso, porém, de que essa distância raramente ultrapassa os 500m em meio urbano (REITER, 2007).

Com relação à concentração de mosquitos em determinadas regiões, trabalhos sustentam a hipótese de que o mosquito tende a se aglomerar de forma heterogênea no espaço e que algumas áreas são capazes de produzir mais larvas e mosquitos que outras (GETIS ET AL., 2003). A identificação desses conglomerados de mosquitos, isto é, a identificação de áreas com maior probabilidade de abrigar uma população elevada de vetores, já será suficiente para auxiliar na tomada de decisões de controle a fim de reduzir a proliferação e aumento da população e, principalmente, de evitar a transmissão de arboviroses (PEPIN ET AL., 2015).

Melo *et al.*, (2012) realizaram uma análise no município de Belo Horizonte e identificaram durante 18 meses de estudo, a formação de conglomerados por meio da captura de mosquitos adultos em armadilhas MosquiTRAP, além de outras metodologias de amostragem. O trabalho sugeriu que as fêmeas adultas de *Ae. aegypti* tendem a se agrupar em regiões de aproximadamente 100m a 600m de raio, de acordo com os tamanhos mínimo e máximo dos conglomerados identificados (92m e 586m, respectivamente). Além disso, verificaram que esses conglomerados persistem ao longo de mais de 400 dias, indicando que fatores ambientais presentes nas microrregiões das cidades colaboram com a manutenção de uma população de mosquitos em dado local por longos períodos. O estudo foi de grande relevância pois demonstrou o potencial da armadilha MosquiTRAP para a detecção precoce do risco de aparecimento de casos humanos de dengue, que ocorreram em regiões em que havia maior abundância e aglomeração de fêmeas do vetor.

A Tabela 1 sintetiza as informações disponíveis sobre a dispersão e aglomeração do *Ae. aegypti*, além das discutidas nesta seção.

Tabela 2. Estudos de dispersão do mosquito *Aedes aegypti* pela técnica de marcação-liberação-recaptura

Local do estudo	Metodologia de recaptura	Sexo e estado fisiológico dos mosquitos	Dispersão predominante (metros)	Dispersão máxima (metros)	Autores
Mgandini, Quênia	Armadilhas artesanais	Machos e fêmeas, EFNA ¹	200	800	McDonald, 1977
Florida, Porto Rico	Aspirador costal	Fêmeas grávidas	MR ²	NA ³	Edman <i>et al.</i> , 1998
Rio de Janeiro, Brasil	Ovitrapa	Fêmeas grávidas	400 ± 200	800	Honório <i>et al.</i> , 2003
Hua Sam Rong, Tailândia	Aspirador costal	Machos e fêmeas, EFNA ¹	MR ²	594	Harrington <i>et al.</i> , 2005
Yanes III, Porto Rico	Aspirador costal	Fêmeas grávidas	MR ²	102	Harrington <i>et al.</i> , 2005
Mae Sot, Tailândia	Aspirador costal	Fêmeas grávidas	199 ± 29	346	Harrington <i>et al.</i> , 2005
Rio de Janeiro, Brasil	Adultrap ⁴ e MosquiTRAP	Fêmeas grávidas	288	690	Maciel-de-Freitas e Lourenço-de-Oliveira, 2009
Rio de Janeiro, Brasil	Aspirador costal	Fêmeas, EFNA ¹	67	248	Maciel-de-Freitas <i>et al.</i> , 2010

Legenda: ¹EFNA: Estado fisiológico não avaliado; ²MR: Mesma residência de onde foi feita a liberação; ³NA: Não avaliado. ⁴Adultrap: Armadilha de captura de adultos (DONATTI E GOMES, 2007). **Fonte:** Elaboração do autor (2020).

Monitoramento do vetor *Aedes aegypti*: a vigilância entomológica

O conceito de monitoramento do vetor *Ae. aegypti* faz parte do processo denominado “vigilância entomológica”. De acordo com a OMS (WHO, 2016, p. 39):

Vigilância entomológica é o processo de coleta sistemática, contínua, ordenada e planejada de dados de vetores de doenças e do seu ambiente, para descrever, analisar, avaliar, interpretar e tomar decisões relacionadas ao controle do vetor [...] devendo ser realizada igualmente nas estações seca e chuvosa, abrangendo os estágios imaturos e adultos do vetor.

Adicionalmente, os objetivos específicos da vigilância entomológica proposta pela OMS revelam a importância do monitoramento do vetor como atividade central do processo. Para a OMS (WHO, 2016, p. 39), que apresentou as diretrizes para a vigilância entomológica do *Ae. aegypti* no contexto da introdução do ZIKV nas Américas, tais objetivos são:

Deteção da presença do vetor em uma dada área geográfica; avaliação da densidade da população do vetor; determinação das áreas de maior risco entomológico, incluindo pesquisas por mosquitos infectados; identificação dos criadouros mais importantes e mais produtivos; avaliação do grau de resistência do vetor aos inseticidas; e monitoramento da qualidade e efetividade das intervenções em andamento.

O documento destaca ainda a importância da vigilância entomológica como ferramenta para intensificar a educação em saúde para que a própria sociedade obtenha conhecimento e possa realizar, por conta própria, o trabalho de eliminação de criadouros e prevenção de epidemias. Segundo a OMS, as boas práticas para a vigilância entomológica consistem de uma série de atividades de monitoramento do vetor em sua fase larvária e adulta, com o objetivo de obter dados que possam dar suporte às decisões de controle do vetor, além da organização de ações para mobilização da sociedade (WHO, 2016).

7.1.1.1 Monitoramento por índices larvários

No início do século XIX, o *Ae. aegypti* era responsável por grandes epidemias de febre amarela, o que levou ao desenvolvimento de métodos para seu monitoramento e controle, com o objetivo de erradicação. Foram desenvolvidos indicadores chamados estegômicos para a avaliação das regiões de maior risco de surtos, que eram baseados na presença de criadouros positivos para larvas e pupas do mosquito (CONNOR E MONROE, 1923). Por outro lado, com o êxodo rural, aumento de população nas cidades e resistência do mosquito a inseticidas, a essência da maioria dos programas nacionais de combate ao vetor *Ae. aegypti* foi alterada para manter a população do vetor abaixo do nível de risco e não mais erradicá-lo (BRAGA E VALLE, 2007). Os índices estegômicos, que outrora foram utilizados para o direcionamento de equipes focadas na erradicação do vetor, agora fazem parte de diversos programas nacionais

de controle do *Ae. aegypti*, incluindo o brasileiro, denominado Programa Nacional de Controle da Dengue (PNCD) e que tem como objetivo a redução dos impactos causados pelas epidemias de dengue (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2002; MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2009).

O PNCD utiliza como base diversas metodologias de levantamento de índices estegômicos, também chamados índices larvários, com o objetivo de estratificar as áreas de maior risco entomológico, direcionar as ações de controle e monitorar a sua eficácia (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2009).

Os índices atualmente utilizados são:

- a) **índice de infestação predial (IIP):** representa a porcentagem de imóveis que contêm larvas e/ou pupas;
- b) **índice por tipo de recipientes (ITR):** indica a proporção de recipientes positivos por tipo de criadouro.
- c) **índice de Breteau (IB):** indica o número de criadouros positivos para fases imaturas a cada 100 imóveis pesquisados;

É preconizado que seja realizado o levantamento dos índices larvários bimestralmente em 100% dos imóveis e quinzenalmente em pontos estratégicos, considerados assim, por possuírem alto risco de introdução do vetor. No entanto, esse levantamento é laborioso, pois depende de recursos humanos capacitados e infraestrutura para identificação das larvas em laboratório. Devido à falta de recursos, tanto operacionais quanto financeiros nos municípios brasileiros e à necessidade de informações entomológicas em tempo hábil, foi proposto e colocado em prática o Levantamento de Índice Rápido para *Ae. aegypti* (LIRAA), que é realizado de forma amostral e também utiliza os índices larvários. A partir dos dados obtidos, são estabelecidos os riscos de transmissão de arboviroses, sendo que em cenários de IIP < 1%, esse indicador é considerado satisfatório, entre 1% e 3,9%, alerta e IIP > 3,9% de risco. Porém, ainda é necessário que o LIRAA seja realizado quatro vezes ao ano, o que dependendo das condições do município, também pode ser complicado (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2009).

Os índices larvários têm sido questionados não apenas pelo esforço necessário para obtê-los, mas também por aspectos técnicos, como a baixa sensibilidade em detectar a presença do vetor e a incapacidade de estimar a população de mosquitos adultos, bem como representar o risco de transmissão de arboviroses (GOMES, 1998; FOCKS, 2003).

7.1.1.2 Armadilhas de monitoramento

A medição da infestação de *Ae. aegypti* de forma a antecipar o aparecimento de casos humanos de arboviroses é um dos objetivos primordiais da vigilância entomológica (WHO,

2016). Nesse sentido, o monitoramento por meio de armadilhas surge como um método de maior sensibilidade em relação à pesquisa larvária para identificação da presença do vetor e estabelecimento do risco de epidemias, uma vez que com as armadilhas, “o esforço de busca por criadouros é transferido dos agentes de saúde para os próprios mosquitos”, além de as armadilhas produzirem indicadores tanto qualitativos (% de armadilhas positivas), bem como quantitativos (número de capturas por armadilha) (CODEÇO ET AL., 2015).

Ao longo dos anos, foram desenvolvidas diversas armadilhas para monitoramento do *Ae. aegypti*, cada uma com foco em diferentes estágios de desenvolvimento do mosquito, do ovo à fase adulta e diferentes estágios do ciclo gonotrófico. Além disso, elas variam no modo de operação, custo, especificidade, sensibilidade e outros aspectos técnicos, como a capacidade de atração do mosquito (SIVAGNANAME E GUNASEKARAN, 2012).

As armadilhas podem ser passivas ou ativas. As armadilhas passivas funcionam na ausência de energia elétrica e utilizam pistas visuais e atraentes de oviposição atraindo, majoritariamente, fêmeas grávidas. As fêmeas atraídas entram nos dispositivos com a intenção de realizar a oviposição. Caso a armadilha tenha por objetivo capturar a fêmea adulta, essa captura pode ser realizada por meio de cartões adesivos, prisão da fêmea no interior do corpo da armadilha ou por eliminação da fêmea com uso de inseticidas de ação residual. Em contrapartida, as armadilhas ativas utilizam energia elétrica e capturam o mosquito por ação de uma ventoinha que suga o mosquito para o interior da armadilha. Dessa forma, mosquitos em diversos estágios do ciclo gonotrófico, não necessariamente fêmeas e não só as grávidas são capturadas (FOCKS, 2003; KROCKEL ET AL., 2006; EIRAS ET AL., 2018). Alguns exemplos de armadilhas de monitoramento são:

- a) **Ovitampa:** A ovitampa (Figura 10), armadilha focada na captura de ovos do *Ae. aegypti* é uma alternativa barata e sensível em relação à pesquisa larvária para a detecção da presença do vetor em determinada região geográfica (FAY E ELIASON, 1966). Ela consiste de um pequeno recipiente de coloração preta que leva água parada com infusão de capim para aumentar o poder de atração de fêmeas grávidas, que irão realizar a oviposição em uma paleta de madeira. Porém, devido ao fato de capturar ovos do mosquito, sua capacidade de mensurar quantitativamente a população de mosquitos adultos e de informar o risco de transmissão de arboviroses é limitada (FOCKS, 2003; RESENDE, M. ET AL., 2012; CODEÇO ET AL., 2015).

Figura 12. Armadilha ovitrampa



Fonte: Fiocruz. Disponível em: <http://www.fiocruz.br/>

- b) **Larvitampa:** São simples, de design artesanal, feitas de secções transversais de pneus. As fêmeas grávidas colocam os ovos na armadilha e estes se desenvolvem em larvas e pupas, que são facilmente visualizadas em seu interior e servem como indicador da presença do vetor. De acordo com as Diretrizes Nacionais para Prevenção e Controle da Dengue (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2009, p. 78), as larvitampas visam a “detecção precoce da introdução do vetor em locais como portos fluviais ou marítimos, terminais rodoviários, ferroviários, de passageiros e de carga”. É, portanto, uma armadilha de detecção passiva da presença do vetor. No entanto, mostrou-se menos sensível e específica que a ovitrampa e tem caído em desuso na rotina dos municípios (MARQUES ET AL., 1993).

Figura 13. Armadilha larvitampa



Fonte: Disponível em: <http://palmaressemdengue.blogspot.com>. Acesso em 12 de dezembro de 2019.

- c) **BG-Sentinel:** A armadilha BG-Sentinel (BGS) (BIOGENTS GMBH, REGENSBURG, ALEMANHA) é uma armadilha ativa para captura de mosquitos adultos desenvolvida e patenteada pelo Instituto de Zoologia da Universidade de Regensburg, Alemanha e licenciada para a empresa Biogents. Ela imita correntes de convecção de ar criadas pelo corpo humano por meio de uma ventoinha contida em seu interior e pode levar um atraiante sintético que simula o odor humano para aumentar seu poder de atração. Os mosquitos atraídos são sugados pela ventoinha e ficam retidos no interior de uma bolsa (KROCKEL ET AL., 2006). É uma armadilha eficiente para captura de *Ae. aegypti* em vários estágios do ciclo gonotrófico e já foi utilizada em diversos experimentos, incluindo testes no Brasil (MACIEL-DE-FREITAS ET AL., 2006; MEERAUS ET AL., 2008; HAPAIRAI ET AL., 2013). As capturas de *Ae. aegypti* pela BG-Sentinel apresentaram boa correlação com o aparecimento de casos humanos de dengue, o que comprovou sua eficácia como ferramenta de monitoramento (BARRERA ET AL., 2011). No entanto, essa armadilha tem a desvantagem de necessitar de energia elétrica para funcionar, além de possuir um custo elevado, de aproximadamente US\$150, inviabilizando seu uso em larga escala (BAZIN E WILLIAMS, 2018). A Figura 12 demonstra a armadilha BGS instalada em campo, com a bateria acoplada no lado esquerdo da foto.

Figura 14. Armadilha BG-Sentinel



Fonte: Biogents (2019). Disponível em: <http://bg-sentinel.com>. Acesso em 12 de dezembro de 2019.

- d) **MosquiTRAP®:** A MosquiTRAP (ECOVEC LTDA, BELO HORIZONTE, BRASIL) é uma armadilha de oviposição desenvolvida e patenteada pela UFMG (EIRAS, 2002 – Patente PI 0203907-9 B1) e licenciada para a empresa Ecovec Ltda., sediada no Parque Tecnológico de Belo Horizonte, em Minas Gerais. O dispositivo possui corpo na cor preta, com um funil na parte superior que direciona o mosquito para o interior da armadilha. Ao explorar a parte interna da MosquiTRAP, o inseto fica retido em um cartão adesivo. A armadilha leva aproximadamente 300 mL de água parada e um atraiante de oviposição sintético chamado Atraedes® (EIRAS E SANT’ANA, 2001 – Patente PI0106701-0) possibilitando com que seja específica para captura de fêmeas grávidas de *Ae. aegypti* (FÁVARO ET AL., 2006). A MosquiTRAP é a armadilha utilizada em larga escala no programa de monitoramento denominado MI-Aedes®, serviço oferecido pela empresa Ecovec para municípios brasileiros (EIRAS ET AL., 2018).

Figura 15. Armadilha MosquiTRAP®



Fonte: Secretaria Municipal de Saúde de Cubatão/SP. Autor da foto desconhecido. Disponível em: <https://www.flickr.com/photos/imprensacubatao/sets/72157629055344819/>. Acesso em 18 de novembro de 2019.

- e) **Gravid Aedes Trap (GAT):** A GAT é uma armadilha passiva de oviposição desenvolvida pela James Cook University, Austrália, em parceria com a UFMG (EIRAS E RITCHIE, 2012 – Patente BR102012028002-7) e licenciada para a empresa Biogents GmbH (Regensburg, Alemanha) (EIRAS ET AL., 2014). A GAT é composta por um

balde de cor preta na parte inferior que se encaixa a uma câmara translúcida transparente na parte superior (Figura 14). O mosquito é atraído por estímulos visuais, olfativos e pela água parada no interior da armadilha, entrando pela tampa de cor preta. Em seu interior, o mosquito poderá ser capturado ou eliminado por diversos métodos, desde a captura pelo cartão adesivo até a eliminação com o uso de inseticidas de ação residual ou por impregnação com óleo de canola (RITCHIE ET AL., 2014). Por conter água parada, simulando um criadouro do mosquito, o objetivo da GAT é a captura de fêmeas grávidas do vetor (EIRAS ET AL., 2014). Essa armadilha demonstrou alto poder de captura quando comparada à MosquiTRAP e maior especificidade para fêmeas grávidas quando comparada à BGS, sendo uma opção de baixo custo e prática para sistemas de monitoramento (RITCHIE ET AL., 2014). No entanto, não foi utilizada na escala municipal até o momento, apenas a nível de bairros (MOTA, 2018; JOHNSON ET AL., 2018).

Figura 16. Armadilha GAT



Fonte: Disponível em: <https://eu.biogents.com/bg-gat-para-residencias/>. Acesso em 14 de dezembro de 2019.

O Monitoramento Integrado do *Aedes* (MI-Aedes®): Operação e resultados

A globalização, o crescimento desordenado dos grandes centros urbanos, a crescente migração de pessoas e as mudanças climáticas têm causado aumento da transmissão das arboviroses e impactado significativamente os sistemas de vigilância entomológica do *Ae. aegypti* pelo mundo (FOCKS, 2003). Um sistema de vigilância entomológica eficaz deverá ser

capaz de coletar dados sobre a presença e densidade do vetor em determinada área geográfica, analisar e distribuir essa informação para as autoridades de saúde pública, que deverão aproveitar-se das tecnologias disponíveis para controlar o vetor (WHO, 2016). Porém, a vigilância entomológica não será capaz de resolver o problema se não for integrada a elementos que possam auxiliar no levantamento e uso de dados mais robustos, como sistemas de monitoramento do vetor que utilizem estratégias sensíveis para detecção e medição da população do vetor e da circulação viral, de detecção de criadouros ocultos e áreas de risco, rapidez na transmissão de informação entre os agentes de vigilância e controle e monitoramento da qualidade das intervenções e da resistência do *Ae. aegypti* (FOURNET ET AL., 2018).

Atualmente, o Monitoramento Integrado do *Aedes* (MI-Aedes®) é um sistema de monitoramento do *Ae. aegypti* adulto, oferecido pela empresa *spin-off* acadêmica Ecovec e o único implementado em larga escala no mundo que atende aos objetivos da OMS. Além disso, utiliza um sistema de inteligência para gestão das informações do vetor, obtidas em campo por agentes vistoriadores (EIRAS E RESENDE, 2009).

O MI-Aedes surgiu da interação entre a UFMG e a Ecovec, uma de suas *spin-offs* acadêmicas, no período de 2002 a 2004, época na qual o Brasil implementara diversos programas de financiamento no âmbito da ciência e tecnologia com o objetivo de acelerar o desenvolvimento nacional, dentre eles o financiamento pelo Fundo Verde Amarelo.

Diferente dos outros sistemas de informação já descritos, que focam no monitoramento de ovos e larvas do mosquito (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2002; CHANSANG E KITTAYAPONG, 2007; REGIS ET AL., 2008), o MI-Aedes é capaz de informar às autoridades de saúde sobre a presença e densidade do vetor adulto em determinadas áreas geográficas, além de permitir o direcionamento das ações de controle baseadas nas áreas de maior risco de transmissão (PEPIN ET AL., 2015).

O MI-Aedes consiste na instalação de armadilhas MosquiTRAP em toda a área urbana dos municípios que contratam o serviço, na proporção de 16 armadilhas/km², ou a cada 250m (EIRAS, 2007; PEPIN ET AL., 2013; PEPIN ET AL., 2015). As armadilhas são instaladas na área externa das residências, em varandas e garagens, devido ao comportamento da fêmea grávida do *Ae. aegypti* de picar dentro dos imóveis e colocar os ovos no lado de fora (FÁVARO ET AL., 2006). São adicionados uma unidade do atraente de oviposição (Atraedes®) e do cartão adesivo para captura. As armadilhas também devem ser posicionadas a no máximo 1,5m de altura, protegidas do sol e da chuva e longe do alcance de animais domésticos e crianças. Semanalmente, as MosquiTRAPs são vistoriadas por agentes capacitados para identificar a presença de mosquitos machos e fêmeas da família Culicidae aderidos ao cartão adesivo,

incluindo o *Ae. aegypti*, outras espécies de *Aedes* como o *Ae. albopictus* e *Culex spp.* Tanto o cartão adesivo, quanto o atraente de oviposição são trocados periodicamente, nos prazos indicados pelo fabricante, garantindo a sua qualidade em campo. A informação entomológica obtida é registrada em um aplicativo de smartphone, que as envia para um banco de dados online e uma plataforma *web* exibe as informações em tempo real, apresentadas em mapas, gráficos e quadros informativos. Adicionalmente, os mosquitos *Ae. aegypti* capturados nas armadilhas são analisados em laboratório quanto à presença dos principais arbovírus de circulação no Brasil (Dengue, Zika, Chikungunya e Febre Amarela), permitindo a geração de alertas de surtos e epidemias. Essa tecnologia é denominada Monitoramento Inteligente do Vírus (MI-Vírus) e está inserida no MI-Aedes como um serviço adicional para municípios que desejam realizar um diagnóstico semanal da circulação viral em cada área monitorada (EIRAS ET AL., 2018). A partir das informações, as autoridades de saúde pública podem iniciar as ações de controle nas áreas críticas, de maior densidade vetorial e, conseqüentemente, de maior risco de transmissão de arboviroses (EIRAS E RESENDE, M. 2009). A eficácia das ações pode ser avaliada continuamente, uma vez que, na semana seguinte, novas informações entomológicas serão obtidas para cada localidade. A Figura 15 esquematiza o funcionamento do MI-Aedes e suas etapas.

Figura 17. Etapas do Monitoramento Integrado do *Aedes* (MI-Aedes)



Fonte: Apresentação do MI-Aedes. Ecovec (2019).

Análises dos impactos do MI-Aedes em municípios que implementaram o sistema demonstraram excelente relação custo-benefício, na proporção de R\$6 para cada R\$1 investido na tecnologia, em função da redução de até 60% dos casos de dengue (PEPIN ET AL., 2013).

Adicionalmente, a MosquiTRAP, quando utilizada no padrão metodológico do MI-Aedes mostrou a capacidade de prever o aparecimento de conglomerados de casos humanos devido ao aumento da densidade de vetores capturados em microrregiões específicas. Essa previsão foi superior à previsão imposta pela ovitrampa no mesmo estudo, apesar da segunda armadilha apresentar sensibilidade maior para a detecção da presença do vetor (MELO ET AL., 2012). Outro estudo, que adicionou variáveis meteorológicas aos dados obtidos com o MI-Aedes, demonstrou que é possível prever o aparecimento de casos humanos com pelo menos uma semana de antecedência (FERREIRA ET AL., 2017).

O MI-Aedes e MI-Vírus foram utilizados pelo município de Governador Valadares/MG durante uma epidemia de Chikungunya em 2017. Na ocasião, 8% das amostras de *Ae. aegypti* coletadas nas armadilhas MosquiTRAP foram positivas para o CHIKV ao longo de 10 semanas, demonstrando a eficácia do MI-Aedes e MI-Vírus em diagnosticar a circulação viral e direcionar as ações para as áreas com risco de transmissão ao longo do período epidêmico (Dados não publicados). O MI-Aedes também foi capaz de detectar a circulação do vírus DENV-2 no estado do Espírito Santo com até 5 meses de antecedência à detecção por metodologias tradicionais (Dados não publicados).

7.1.1.3 Medição da infestação espaço-temporal de *Ae. aegypti* utilizando o MI-Aedes

O MI-Aedes utiliza sistematicamente a armadilha MosquiTRAP para o levantamento semanal do número de fêmeas de *Ae. aegypti* capturadas, o que permite a geração de diversos indicadores entomológicos capazes de estimar a presença e o tamanho da população de mosquitos em determinado local e a variação da densidade populacional no tempo (MACIEL-DE-FREITAS ET AL., 2008; EIRAS E RESENDE, 2009; HONÓRIO ET AL., 2009a)

A presença do vetor adulto é medida pelo **Índice de Positividade da Mosquitrap (IPM)** (RESENDE ET AL., 2013), que indica o percentual de armadilhas que capturaram uma ou mais fêmeas de *Ae. aegypti* em determinada área (armadilhas positivas). Assim, esse indicador representa a porcentagem da área infestada por fêmeas adultas do vetor e pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$IPM (\%) = \frac{\text{número de armadilhas positivas}}{\text{armadilhas vistoriadas}} \times 100$$

A medida de abundância ou densidade populacional de fêmeas do *Ae. aegypti*, por sua vez, é medida pelo **Índice Médio de Fêmeas de *Aedes* (IMFA)**, que indica a média de fêmeas

do vetor capturadas por armadilha. É, portanto, um indicador que permite comparar a densidade de fêmeas entre as localidades monitoradas, visto que é esperado que em áreas com maior abundância do vetor, o número de fêmeas capturadas seja maior (EIRAS E RESENDE, 2009; RESENDE, ET AL., 2013). O IMFA é obtido a partir da seguinte fórmula:

$$IMFA = \frac{\text{número de fêmeas de } Ae. aegypti \text{ capturadas}}{\text{armadilhas vistoriadas}}$$

Considerando que o IMFA é uma medida de densidade da população do vetor, ele pode ser utilizado para comparar a variação temporal do *Ae. aegypti* em determinada área e, conseqüentemente, servir como ferramenta de avaliação do risco de transmissão de arboviroses e avaliação da eficácia das medidas de controle do vetor (FÁVARO ET AL., 2008; EIRAS E RESENDE, 2009; PEPIN ET AL., 2015).

O IMFA foi utilizado em um estudo no município de Vitória/ES para avaliação de sua capacidade de indicar o risco de transmissão de dengue. Nesse estudo, foi demonstrado que a média do IMFA de três semanas (IMFA_t) correlacionou positivamente com o aparecimento de casos em bairros no município. Foram estabelecidos limiares de risco, sendo que o IMFA_t maior que 0,20 indica alerta para o aparecimento de casos de dengue (EIRAS E RESENDE, 2009).

Outro indicador utilizado no MI-Aedes é o **Índice Médio de Fêmeas Ponderado (IMFAP)**. O IMFAP mede a reincidência de capturas de fêmeas de *Ae. aegypti* em uma determinada armadilha durante quatro semanas consecutivas, sendo um indicador relevante para a delimitação de áreas foco, ou seja, áreas na qual a presença do vetor é persistente (Dados não publicados). Devido à característica temporal, é mais provável que se obtenha uma ideia da presença do vetor ao longo de quatro semanas do que se a medição fosse realizada apenas semanalmente. Além disso, evidências empíricas demonstram que o IMFAP é um indicador para a presença de criadouros, uma vez que há maior probabilidade de se encontram criadouros positivos para larvas do mosquito *Ae. aegypti* em locais com presença do vetor adulto (SCHAFRICK ET AL., 2013). Por essa razão, o IMFAP também é um indicador relativo das chances de se identificarem fêmeas de *Ae. aegypti* no próximo período de quatro semanas. No cálculo do IMFA ponderado, são empregadas três variáveis:

- a) reincidência de positividade: equivale a quantas vezes a armadilha apresentou uma ou mais capturas de fêmeas de *Ae. aegypti*. A reincidência de positividade sugere a persistência de um criadouro ativo (com presença de larvas) e, portanto, aumenta as chances de novas capturas nas semanas subsequentes, por meio de um multiplicador;

- b) número de capturas de *Ae. aegypti* fêmea por semana: considera-se que quanto maior o número absoluto de fêmeas por semana, maior será a chance de novas capturas nas semanas subsequentes, visto que são a presença do vetor sugere maior taxa de oviposição e presença de criadouros ativos;
- c) tempo: é o fator de ponderação. Assume-se que as semanas mais próximas à semana de análise (semana atual) possuem um peso relativo maior no cálculo ponderado, justamente porque a probabilidade de o criadouro estar ativo quando a captura é recente é maior.

O IMFAP é obtido através da fórmula:

$$IMFAP = \frac{\sum_{i=1}^4 a(i) \cdot p(i)}{\sum_{i=1}^4 p(i)} * R_{(e)} = \left[\frac{a(1) \cdot 0,69 + a(2) \cdot 0,78 + a(3) \cdot 0,84 + a(4) \cdot (1)}{3,31} \right] * R_{(e)}$$

a = Número de fêmeas de *Aedes aegypti* capturadas por semana;

p = Peso de cada semana com base no impacto desta semana em relação à média observada de captura nas quatro semanas subsequentes ao período analisado. Pesos a(i): a(1) = 0,69; a(2) = 0,78; a(3) = 0,84; a(4) = 1,00;

i = Semana da Captura (ex. 1ª, 2ª, 3ª e 4ª das quatro semanas analisadas);

R = Coeficiente de Reincidência de Positividade das armadilhas. Pesos R(e): R(4) = 1; R(3) = 0,92; R(2) = 0,78; R(1) = 0,63;

e = Número de reincidências de positividade observadas.

O IMFA é útil para estimar a densidade populacional de fêmeas de *Ae. aegypti* a nível de bairros e municípios, enquanto o IPM mede exclusivamente a presença do vetor em determinadas áreas. O IMFAP, por sua vez, é um indicador da presença de criadouros nas proximidades e da chance de novas capturas e é medido em cada armadilha, não representando uma média da área. Apesar da diversidade de indicadores, em todos os casos a confiabilidade das medições depende da capacidade da armadilha MosquiTRAP de efetivamente capturar mosquitos no nível da residência, o que é expresso por sua sensibilidade.

7.1.1.4 Sensibilidade da MosquiTRAP como ferramenta de monitoramento

A sensibilidade de uma armadilha é a capacidade do dispositivo de informar sobre variações na presença e na densidade populacional do vetor, de forma consistente, não dependendo do tamanho da população real. Isto é, se o objetivo da armadilha é capturar fêmeas

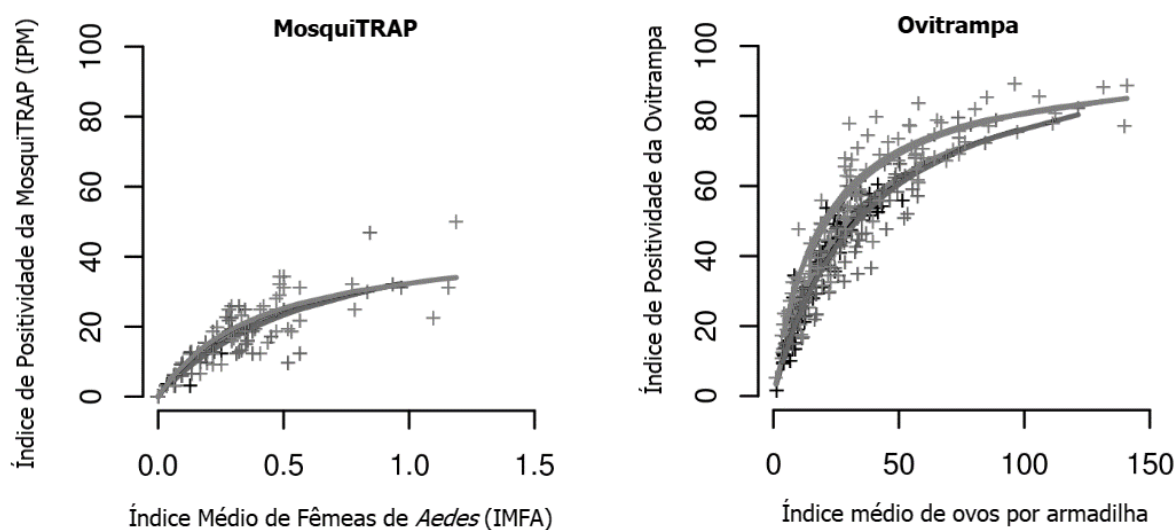
adultas do vetor, ela deverá possuir alta eficácia para capturar o máximo de fêmeas adultas (amostra) que estiverem nas proximidades (população).

A medição da sensibilidade absoluta de uma armadilha ainda é um tema recente e pouco explorado, pois depende de cálculos estatísticos para estimar a população total do vetor em determinada área antes de se medir a capacidade de um dispositivo de estima-la com precisão a partir de uma amostra. Até o momento, por esse motivo não há uma armadilha considerada padrão-ouro com sensibilidade absoluta conhecida (CODEÇO ET AL., 2015). O que é possível mensurar é a sensibilidade relativa entre duas armadilhas, comparando se uma é mais eficaz que a outra em medir tanto a presença do vetor, quanto variações na densidade populacional.

A sensibilidade da armadilha MosquiTRAP, utilizada no MI-Aedes, foi comparada com a pesquisa larvária e com a ovitrampa. Ela apresentou sensibilidade maior em relação à pesquisa larvária, mesmo em condições de seca, quando a população do vetor é baixa, porém, menor sensibilidade em relação à ovitrampa (RESENDE ET AL., 2013). Outros estudos demonstraram que a MosquiTRAP foi mais sensível que a pesquisa larvária (GAMA ET AL., 2007; HONÓRIO ET AL., 2009b; RESENDE ET AL., 2010) e igualmente (FÁVARO ET AL., 2008) ou menos sensível que a ovitrampa (HONÓRIO ET AL., 2009b). Os autores associaram esses resultados tanto a fatores comportamentais de oviposição do mosquito quanto a características técnicas das armadilhas. O *Ae. aegypti* apresenta oviposição em salto, o que faz com que mais armadilhas ovitrampas sejam positivas para ovos, enquanto, no caso da MosquiTRAP, a fêmea do vetor é capturada pelo cartão adesivo da primeira armadilha, não podendo visitar outras armadilhas nas proximidades (RESENDE ET AL., 2013).

Idealmente, a sensibilidade da MosquiTRAP não deveria variar com base na densidade populacional do vetor, porém esse cenário é utópico. Na prática, ocorre uma saturação no número de capturas, à medida em que se aumenta a densidade de mosquitos adultos, o que pode ser observado como um platô. Em comparação à ovitrampa, a saturação da MosquiTRAP ocorre em menor índice de densidade (CODEÇO ET AL., 2015). Esse padrão é explicado pelo fato de que o mosquito *Ae. aegypti* se distribui de forma não homogênea, formando conglomerados (GETIS ET AL., 2003; SCHAFRICK ET AL., 2013) e também porque a ovitrampa não captura o mosquito adulto, permitindo com que ele oviponha em várias armadilhas (CODEÇO ET AL., 2015).

Figura 18. Gráficos de positividade x densidade das capturas das armadilhas MosquiTRAP e ovitrampa



A saturação da armadilha MosquiTRAP ocorre por volta da positividade de 40%, enquanto a da ovitrampa ocorre próximo aos 80%. **Fonte:** Adaptado de Codeço *et al.* (2015).

A sensibilidade da MosquiTRAP também foi testada em um estudo de validação da armadilha GAT para captura de *Ae. aegypti* em campo. A GAT capturou significativamente mais mosquitos que a MosquiTRAP e apresentou maior sensibilidade. A quantidade de água utilizada na GAT e características técnicas, como o seu tamanho, funil de entrada maior e a estrutura translúcida da câmara de captura foram as razões associadas à maior eficácia na captura em relação à MosquiTRAP e outras armadilhas avaliadas (RITCHIE ET AL., 2014).

Alguns fatores podem prejudicar a sensibilidade da armadilha MosquiTRAP, utilizada no MI-Aedes. A presença de criadouros nas proximidades da armadilha pode gerar competição, levando à falha do dispositivo em detectar pequenas populações de *Ae. aegypti*. Em períodos de chuva, essa competição é intensificada, diminuindo o número de capturas de *Ae. aegypti* devido ao aumento do número de criadouros e de seu volume de água (GAMA ET AL., 2007). Erros humanos como o posicionamento inadequado da armadilha fora das condições favoráveis à oviposição, preenchimento incompleto da armadilha com água e má conservação do cartão adesivo e do atraente de oviposição também podem contribuir com a perda de eficácia. O cartão adesivo também perde adesividade ao longo das semanas de uso, o que parece acarretar em perda de capacidade de captura da armadilha nas últimas semanas antes das trocas programadas (RESENDE ET AL., 2013). Além desses, o erro de identificação de mosquitos adultos é fator para perda de sensibilidade, já que espécimes de *Ae. aegypti* podem passar despercebidos na vistoria (MACIEL-DE-FREITAS ET AL., 2014).

A sensibilidade da MosquiTRAP também foi avaliada em diferentes densidades de armadilhas por unidade de área. O objetivo do experimento era definir o número mínimo de

armadilhas necessárias por unidade de área (um quarteirão) para produzir um dado confiável e estatisticamente significativo sobre a população de *Ae. aegypti*. Assim, era esperado que quanto maior a densidade de armadilhas por quarteirão, maior seria a eficácia na detecção da presença do vetor. A sensibilidade da MosquiTRAP aumentou significativamente na faixa de 1-8 armadilhas/quadra, até atingir 100% de sensibilidade a partir de 16 armadilhas/quadra (RESENDE ET AL., 2012). Apesar desse resultado, a instalação de 16 armadilhas por quarteirão é inviável operacionalmente, visto que seria necessário um número significativamente maior de agentes de campo para vistoriá-las semanalmente, tornando o MI-Aedes caro e demorado. A sensibilidade da MosquiTRAP nas condições operacionais de 16 armadilhas/km² (1 a cada 3 ou 4 quarteirões) é desconhecida. Essa densidade é menor do que a densidade mínima utilizada por Resende *et al.* (2012) em seu estudo.

Nessas condições, o que justifica o uso da MosquiTRAP são as suas vantagens competitivas. Uma delas é a capacidade de mensurar a densidade de fêmeas adultas de *Ae. aegypti*, que efetivamente irão transmitir as arboviroses, algo não alcançado pela ovitrampa, já que o número de ovos colocados por fêmea é desconhecido (RESENDE ET AL., 2013; DEGENER, 2014). Além disso, ela é de fácil instalação, transporte, fácil operação (permite a identificação do mosquito adulto em campo), não utiliza energia elétrica, e é comercialmente viável para o monitoramento em larga escala, ao contrário da BGS. (FÁVARO ET AL., 2008; RESENDE ET AL., 2013; CODEÇO ET AL., 2015). Em comparação à GAT, a MosquiTRAP é mais barata e possui patente concedida no Brasil (EIRAS, 2005 – PATENTE PI0505952-6), já tendo sido testada e utilizada com sucesso em larga escala em programas de vigilância (PEPIN ET AL., 2013). Além disso, a MosquiTRAP utiliza um volume reduzido de água em comparação à GAT (o que é um fator preponderante em cidades que apresentam estresse hídrico) e é de transporte mais fácil e barato devido ao tamanho menor. A superioridade técnica da GAT em relação à MosquiTRAP em questão de sensibilidade é inegável (RITCHIE ET AL., 2014), sendo essa armadilha uma potencial ferramenta de controle (JOHNSON ET AL., 2018), porém o seu custo-benefício como ferramenta de monitoramento em larga escala ainda é desconhecido.

Além das vantagens técnicas da MosquiTRAP, as armadilhas para monitoramento de adultos, em geral, apresentam a vantagem de mensurarem de forma direta a população de fêmeas de *Ae. aegypti*, as quais transmitem os vírus (FOCKS, 2003; SIVAGNANAME E GUNASEKARAN, 2012). Esse levantamento direto faz-se relevante uma vez que a medição do risco de incidência das arboviroses transmitidas pelo *Ae. aegypti* é complexa devido à sua característica multifatorial (PEPIN ET AL., 2015).

Referências Bibliográficas

- ABREU, F. V. S., MORAIS, M. M., RIBEIRO, S. P., EIRAS, A. E. Influence of breeding site availability on the oviposition behaviour of *Aedes aegypti*. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 110, n. 5, p. 669-676, 2015
- AMARAL, J. K., SCHOEN, R. T. Chikungunya in Brazil: Rheumatologists on the Front Line **The Journal of Rheumatology**, v. 45, n. 10, p. 1491-1492, 2018
- BARRERA, R., AMADOR, M., MACKAY, A. J, Population Dynamics of *Aedes aegypti* and Dengue as Influenced by Weather and Human Behavior in San Juan, Puerto Rico. **PLoS Neglected Tropical Diseases**, v. 5, n. 12, 2011
- BAZIN, M., WILLIAMS, C. R. Mosquito traps for urban surveillance: collection efficacy and potential for use by citizen scientists. **Journal of Vector Ecology**, v. 43, n. 1, p. 98-103, 2018
- BERNIER, U. R. et al. Human emanations and related natural compounds that inhibit mosquito host-finding abilities. **Development**, p. 77–100, 2006
- BRAGA, I. A.; VALLE, D. *Aedes aegypti*: inseticidas, mecanismos de ação e resistência. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 16, n. 4, p.279-293, 2007.
- CARPENTER, S., R. Resource limitation of larval tree-hole mosquitoes subsisting on beech detritus. **Ecology** n. 64, p. 219-223, 1983
- CHANSANG, C., KITTAYAPONG, P. Application of Mosquito Sampling Count and Geospatial Methods to Improve Dengue Vector Surveillance. **The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 77, n. 5, p. 897-902, 2007
- CLEMENTS A. N. The biology of mosquitoes. Development, nutrition and reproduction, **Chapman and Hall**, Londres, UK, 1992
- CLEMENTS, A. N. Biology of Mosquitoes. Transmission of Viruses and Interactions with Bacteria. 1. ed. **The Centre for Agriculture and Bioscience International**, 2011.
- CODEÇO, C. T.; et al. Surveillance of *Aedes aegypti*: Comparison of House Index with Four Alternative Traps. **PLOS Neglected Tropical Diseases**, v.9, n.2, 2015
- CONNOR M., E., MONROE W., M. *Stegomyia* indices and their value in yellow fever control. **American Journal of Tropical Medicine and Hygiene** v. 3, p. 9-19, 1923.
- DEGENER, C., M., ÁZARA, T. M. F., ROQUE, R. A., CODEÇO, C. T. et al. Temporal abundance of *Aedes aegypti* in Manaus, Brazil, measured by two trap types for adult mosquitoes. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 109, n. 8, p. 1030-1040, 2014
- DONATTI, J. E., GOMES, A. C. Adultrap: descrição de armadilha para adulto de *Aedes aegypti* (Diptera, Culicidae). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 51, n. 2, p. 255-256, 2007

DUBRULLE M., MOUSSON L., MOUTAILIER S., VAZEILLE M., FAILLOUX A. B. Chikungunya virus and Aedes mosquitoes: saliva is infectious as soon as two days after oral infection. **PLoS One**, v. 4 n. e5895, 2009

EDMAN, J., D., SCOTT, T., W., COSTERO, A., MORRISON, A., C. et al. Aedes aegypti (Diptera: Culicidae) Movement Influenced by Availability of Oviposition Sites, **Journal of Medical Entomology**, v. 35, n. 4, 1, p. 578–583, 1998

EIRAS, A., E., SANT'ANA, A., L. **Atraentes de oviposição de mosquitos**. Depositante: Universidade Federal de Minas Gerais. PI 0106701-0 B1. Depósito: 20 dez. 2001. Concessão 08 dez. 2015

EIRAS, A., E. **Armadilha para captura de mosquitos**. Depositante: Universidade Federal de Minas Gerais. PI 0203907-9 B1. Depósito: 05 set. 2002. Concessão: 26 nov. 2019

EIRAS, A., E. Relatório de Avaliação dos Resultados do Estudo Multicêntrico do Uso de Armadilhas para Captura de Aedes aegypti. **Relatório Técnico submetido ao Ministério da Saúde em Resposta ao Ofício 853/GAB/SVS/MS de 13 de abril de 2006**, 52p. 2007.

EIRAS, A. E.; RESENDE, M. C. Preliminary evaluation of the "Dengue-MI" technology for Aedes aegypti monitoring and control. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 25, n. 1, p. 45-58, 2009

EIRAS, A., E., RITCHIE, S. A. **Dispositivo para capturar e eliminar mosquitos adultos**. Depositante: Universidade Federal de Minas Gerais e James Cook University. BR202012-028002-2Y1. Depósito: 31 de out. 2012. Concessão: 23 de out. 2018

EIRAS, A., E., BUHAGIAR, T. S., RITCHIE, S. A., Development of the Gravid Aedes Trap for the Capture of Adult Female Container–Exploiting Mosquitoes (Diptera: Culicidae), **Journal of Medical Entomology**, v. 51, n.1, 1 p. 200–209, 2014

EIRAS, A., E., RESENDE, M. C., ACEBAL, J. L., PAIXÃO, K. S. New cost-benefit of Brazilian technology for vector surveillance using trapping system. **Intechopen**. Malaria. Ed: Fyson H. Kasenga. 2018

FÁVARO E. A., MONDINI A., DIBO M. R., BARBOSA A. A., EIRAS A. E. et al. Assessment of entomological indicators of Aedes aegypti (L.) from adult and egg collections in São Paulo, Brazil. **Journal of Vector Ecolog**, v. 33, n. 1, p. 8–16, 2008

FAY R., W, ELIASON D., A. A preferred oviposition site as a surveillance method for Aedes aegypti. **Mosquito News**, v.26, p. 531-535, 1966

FERGUSON, N. M., CUCUNUBÁ, Z. M., DORIGATTI I., et al. Countering the Zika epidemic in Latin America. **Science**. n. 353, v. 6297, p. 353–354, 2016

FERREIRA, D. et al. Meteorological variables and mosquito monitoring are good predictors for infestation trends of Aedes aegypti, the vector of dengue, chikungunya and Zika. **Parasites & Vectors**, v.10, n.78, p.1-11, 2017

FIGUEIREDO, M. L. G., FIGUEIREDO, L. T. M. Emerging alphaviruses in the Americas: Chikungunya and Mayaro. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 47, n. 6, p. 677-683, 2014

FOCKS, D. A. 2003. A review of entomological sampling methods and indicators for dengue vectors. Gainesville, FL. **World Health Organization**, 40 p.

FORATTINI O. P. Culicidologia Médica, Vol. 2, Identificação, Biologia, Epidemiologia, **Edusp**, São Paulo, 860 p, 2002

FOURNET, F., JOURDAIN, F., BONNET, E., DEGROOTE, S., RIDDE, V. Effective surveillance systems for vector-borne diseases in urban settings and translation of the data into action: a scoping review. **Infectious diseases of poverty**, v. 7 n. 1, p. 99-108, 2018

GAMA R. A., SILVA I. M., RESENDE M. C., EIRAS A. E. Evaluation of the sticky MosquiTRAP® for monitoring *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in the district of Itapoã, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil. **Neotropical Entomology**, v. 36, p. 294-302, 2007

GETIS, A. MORRISON, A. C., GRAY, K., SCOTT, T. W. Characteristics of the spatial pattern of the dengue vector, *Aedes aegypti*, in Iquitos, Peru. **American Journal of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 69, n. 5, p. 494-505, 2003

GIOVANETTI, M., MENDONÇA, M. C. L., FONSECA, V. et al. Yellow Fever Virus Reemergence and Spread in Southeast Brazil, 2016-2019. **Journal of Virology**, v. 94, n. 1, 2019

GOMES, A. C. Medidas dos níveis de infestação urbana para *Aedes (Stegomyia) aegypti* e *Aedes (Stegomyia) albopictus* em programas de Vigilância Entomológica. **Informes Epidemiológico do SUS**, v.7, n.3, p.49-57, 1998.

GUZMAN, M. G., HARRIS, E. Dengue. *Lancet*, v. 385, n. 9966, p. 453-465, 2015

GUZMAN, M., GUBLER, D., IZQUIERDO, A. et al. Dengue infection. **Nature Reviews Disease Primers** v. 2, n. 16055, 2016

HAPAIRAI, L. K., JOSEPH, H., SANG, M. A. et al. Field Evaluation of Selected Traps and Lures for Monitoring the Filarial and Arbovirus Vector, *Aedes polynesiensis* (Diptera: Culicidae) in French Polynesia. **Journal of Medical Entomology**, v. 50, n. 4, p. 731-739, 2013

HARBACH, R. E. The Culicidae (Diptera): a review of taxonomy, classification and phylogeny. **Zoo Taxa**, v. 1668, n.1, 2007

HARRINGTON, L. C., SCOTT, T. W., LERDTHUNSNEE, K. COLEMAN, R. C. et al. Dispersal of the Dengue Vector *Aedes aegypti* within and between rural communities. **American Journal of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 72, n. 2, p. 209-220, 2005

HONÓRIO, N. A., COSTA, W., GONÇALVES, P. J., MONTEIRO, J. et al. Dispersal of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in an urban endemic dengue area in the State of Rio de Janeiro, Brazil. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 98, n. 2, p. 191-198, 2003

HONÓRIO N. A., NOGUEIRA R. M. R., CODEÇO C. T., CARVALHO M. S., et al. Spatial evaluation and modeling of dengue seroprevalence and vector density in Rio de Janeiro, Brazil. **PLoS Neglected Tropical Diseases**, v.3 n. e545, 2009a

HONÓRIO N. A., CODEÇO C. T., ALVES O. F. C., MAGALHÃES M. A., et al. Temporal Distribution of *Aedes aegypti* in Different Districts of Rio De Janeiro, Brazil, Measured by Two Types of Traps. **Journal of Medical Entomology**. v. 46, n. 5, p. 1001–1014, 2009b

KRAEMER, M. U., SINKA, M. E., DUDA, K. A., ET AL. The global distribution of the arbovirus vectors *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus*. **Elife**. vol. 4, n. e08347, 2015

KRÖCKEL U., ROSE A., EIRAS A., GEIER M. New tools for surveillance of adult *Aedes aegypti*: comparison of trap catches with human landing collection in an urban environment. **Journal of American Mosquito Control Association**, in press. 2006

LOWE R., BARCELLOS C., BRASIL P., ET AL. The Zika Virus Epidemic in Brazil: From Discovery to Future Implications. **International Journal of Environmental Research and Public Health**. v. 15, n. 1, p. 96, 2018

MACIEL-DE-FREITAS, R. M., EIRAS, A. E., LOURENÇO-DE-OLIVEIRA, R. Field Evaluation of effectiveness of the BG-Sentinel, a New Trap for Capturing Adult *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**. v. 101, p. 321-325, 2006

MACIEL-DE-FREITAS R., PERES, R. C., ALVES F., BRANDOLINI, M. B. Mosquito traps designed to capture *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) females: preliminary comparison of Adultrap, MosquiTRAP and backpack aspirator efficiency in a dengue endemic area. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**. v. 103, n. 6, p. 602-605, 2008

MACIEL-DE-FREITAS, R., LOURENCO-DE-OLIVEIRA, R. Presumed unconstrained dispersal of *Aedes aegypti* in the city of Rio de Janeiro, Brazil. **Revista de Saúde Pública**, v. 43, n. 1, p. 8-12, 2009

MACIEL-DE-FREITAS, R. SOUZA-SANTOS, R., CODEÇO, C. T., OLIVEIRA, R. L. et al. Influence of the spatial distribution of human hosts and large size containers on the dispersal of the mosquito *Aedes aegypti* within the first gonotrophic cycle. **Medical and Veterinary Entomology**, v. 24, p. 74–82, 2010

MACIEL-DE-FREITAS, R., LIMA, A. W. S., ARAÚJO, S. C., LIMA, J. B. L. et al. Discrepancies between *Aedes aegypti* identification in the field and in the lab after collection with a sticky trap. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 109, n. 6, p. 824-827, 2014

MARQUES, C., MARQUES, G., BRITO, M., LUIZ L. ET AL. Estudo comparativo de eficácia de larvitrapas e ovitrapas para vigilância de vetores de dengue e febre amarela. **Revista de Saúde Pública**, v. 27, n. 4, p. 237-241, 1993

MARTELLI, C. M. T. et al. Economic Impact of Dengue: Multicenter Study across Four Brazilian Regions. **PLoS neglected tropical diseases**, v. 9, n. 9, p. e0004042, 2015.

MCDONALD, P. T. Population Characteristics of Domestic *Aedes Aegypti* (Diptera: Culicidae) in Villages on the Kenya Coast II. Dispersal within and between villages. **Journal of Medical Entomology**, v. 14, n. 1, p. 49–53, 1977

MEERAUS W. H., ARMISTEAD J. S., ARIAS J. R. Field comparison of novel and gold standard traps for collecting *Aedes albopictus* in Northern Virginia. *Journal of American Mosquito Control Association*. v. 24, p. 244–248. 2008

MELO D. P. O., EIRAS A. E., SCHERRER L. R. Dengue Fever Occurrence and Vector Detection by Larval Survey, Ovitrap and MosquiTRAP: A Space-Time Clusters Analysis. **PLoS One** v. 7, p. 1–14, 2012

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Programa Nacional de Controle da Dengue - PNCD. **Fundação Nacional da Saúde**. Brasília, DF 34 pp, 2002

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Diretrizes Nacionais para a Prevenção e Controle de Epidemias de Dengue. **Série A. Normas Técnicas e Manuais Técnicos**. Brasília, DF, 2009

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Boletim Epidemiológico nº 2/2018. Monitoramento dos casos de dengue, febre de chikungunya e febre pelo vírus Zika até a Semana Epidemiológica 52, 2017 **Secretária de Vigilância em Saúde. Brasília, DF**. Disponível em: <https://www.saude.gov.br/images/pdf/2018/janeiro/23/Boletim-2018-001-Dengue.pdf>. Acesso em 17 de dezembro de 2019

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Boletim Epidemiológico nº 2/2019. Monitoramento dos casos de arboviroses urbanas transmitidas pelo *Aedes* (dengue, chikungunya e Zika), Semanas epidemiológicas 01 a 52. **Secretária de Vigilância em Saúde. Brasília, DF**. Disponível em: <https://www.saude.gov.br/images/pdf/2020/janeiro/20/Boletim-epidemiologico-SVS-02-1-.pdf>. Acesso em 01 de janeiro de 2020

MONTEIRO, V., NAVEGANTES-LIMA K., LEMOS A., et al. *Aedes-Chikungunya Virus Interaction: Key Role of Vector Midguts Microbiota and Its Saliva in the Host Infection*. **Front Microbiology**. v. 10, n. 492, 2019

MOTA, L. H. V. Avaliação da supressão de *Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762) (Diptera: Culicidae) com a armadilha Gravid Aedes Trap em condições de campo no município de Piumhi, Minas Gerais. **Dissertação de mestrado. Mestrado em Parasitologia**. Universidade Federal de Minas Gerais, 2018

PEPIN K. M., MARQUES-TOLEDO C., SCHERRER L., MORAIS M. M., ELLIS B., EIRAS A. E. Cost-effectiveness of novel system of mosquito surveillance and control, Brazil. **Emerging Infectious Diseases**, v. 19, n.4, p. 542–550, 2013

PEPIN, K. M., LEACH, C. B., MARQUES-TOLEDO, C. et al. Utility of mosquito surveillance data for spatial prioritization of vector control against dengue viruses in three Brazilian cities. **Parasites and Vectors**, v. 8, n. 98, 2015

POWELL, J. R.; TABACHNICK, W. J. History of domestication and spread of *Aedes aegypti* - A Review. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 108, n. 1, p. 11-17, 2013

PNUD, PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. Uma avaliação do impacto socioeconômico do vírus zika na América Latina e Caribe: Brasil, Colômbia e Suriname como estudos de caso. **Federação Internacional das Sociedades da Cruz Vermelha e do Crescente Vermelho**, Nova York, NY, 2017

REGIS, L., MONTEIRO, A. M., MELO-SANTOS, M. A. V., SILVEIRA-JÚNIOR, J. C., FURTADO, ET AL. Developing new approaches for detecting and preventing *Aedes aegypti* population outbreaks: basis for surveillance, alert and control system. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 103, p. 50-59, 2008

REINHOLD J. M., LAZZARI C. R., LAHONDÈRE C. Effects of the Environmental Temperature on *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* Mosquitoes: A Review. **Insects**. v. 9 n. 4, p. 158, 2018

REITER P.; AMADOR M. A.; ANDERSON R. A; CLARK G. G. Dispersal of *Aedes aegypti* in a urban area after blood feeding as demonstrated by rubidium-marked eggs. **American Society of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 52, n. 2, p. 177- 179, 1995

REITER, P. Oviposition, dispersal, and survival in *Aedes aegypti*: implications for the efficacy of control strategies. **Vector borne and zoonotic diseases**, v. 7, n. 2, p. 261–73, 2007

RESENDE, M. C., DE ÁZARA, T., COSTA, I. O., HERINGER, L. C., ANDRADE M. R., ACEBAL J. L., EIRAS A. E. Field optimisation of MosquiTRAP sampling for monitoring *Aedes aegypti* Linnaeus (Diptera: Culicidae). **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, n. 107, p. 294-302, 2012

RESENDE, M. C., SILVA, I. M., EIRAS, A. E. Avaliação da operacionalidade da armadilha MosquiTRAP no monitoramento de *Aedes aegypti*. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 19, n. 4, p. 329-338, 2010

RESENDE, M. C., DE ÁZARA, T., COSTA, I. O., HERINGER, L. C., ANDRADE M. R., ACEBAL J. L., EIRAS A. E. Field optimisation of MosquiTRAP sampling for monitoring *Aedes aegypti* Linnaeus (Diptera: Culicidae). **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, n. 107, p. 294-302, 2012

RITCHIE, S. A. BUHAGIAR, T. S. TOWNSEND, M. HOFFMANN, A. et al. Field Validation of the Gravid *Aedes* Trap (GAT) for Collection of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). **Journal of Medical Entomology**, v.51, n. 1, 2014

ROWLEY, W., GRAHAM, C. The effect of temperature and relative umidity on the flight performance of fem. *Ae. aegypti*. **Journal of Insect Physiology**, v. 14, n. 9, p. 1251-1257, 1968

SALLES, T.S., DA ENCARNAÇÃO SÁ-GUIMARÃES, T., DE ALVARENGA, E.S.L. et al. History, epidemiology and diagnostics of dengue in the American and Brazilian contexts: a review. **Parasites Vectors**, v. 11, n. 264, 2018

SANTOS, J., HONORIO, N. A., NOBRE, A. A. Definition of persistent areas with increased dengue risk by detecting clusters in populations with differing mobility and immunity in Rio de Janeiro, Brazil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 35, n. 12, e00248118, 2019

SCHAFRICK, N., MILBRATH, M., BERROCAL, V., WILSON, M. L., EISENBERG, J. Spatial Clustering of *Aedes aegypti* Related to Breeding Container Characteristics in Coastal Ecuador: Implications for Dengue Control. **American Society of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 89, n. 4, p. 758-765, 2013

SCOTT, T., CHOW, E., STRICKMAN, D. KITTAYAPONG, P. et al. Blood-Feeding Patterns of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) Collected in a Rural Thai Village. **Journal of Medical Entomology**, v. 30, n. 5, 1, p. 922–927, 1993

SHEPARD, D. S., COUDEVILLE, L., HALASA, Y. A., ZAMBRANO, B., DAYAN, G. H. Economic impact of dengue illness in the Americas. **American Journal Tropical Medicine and Hygiene**, v. 84, n. 2, p. 200-207, 2011

SILVA, M., RODRIGUES M., PAPLOSKI I., KIKUTI M. et al. Accuracy of Dengue Reporting by National Surveillance System. **Emerging Infectious Diseases**, v. 22, n. 2, p. 336-339, 2016.

SILVEIRA, L.T.C., TURA, B. SANTOS, M. Systematic review of dengue vaccine efficacy. **BMC Infectious Diseases**, v. 19, n. 750, 2019.

SIVAGNANAME N, GUNASEKARAN K. Need for an efficient adult trap for the surveillance of dengue vectors. **Indian Journal of Medical Research**. v. 136, n. 5, p. 739–749, 2012

SOUMAHORU, M., BOELLE, P., GAÜZER, B. ATSOU, K. et al. The Chikungunya Epidemic on La Réunion Island in 2005–2006: A Cost-of-Illness Study. **PloS Neglected Tropical Diseases**, v. 5, n. 6, p. e1197, 2011

SUAYA, J., SHEPARD, D., SIQUEIRA, J., MARTELLI, C., et al. Cost of Dengue Cases in Eight Countries in the Americas and Asia: A Prospective Study. **The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 80, n. 5, p. 846-855, 2009

TEIXEIRA, M. COSTA, M. C., OLIVEIRA, W. K. NUNES, M. L., RODRIGUES, L. C. The Epidemic of Zika Virus–Related Microcephaly in Brazil: Detection, Control, Etiology, and Future Scenarios. **American Journal of Public Health**, v. 106, p. 601-605, 2016

THIBERVILLE, S. D., MOYEN, N., DUPUIS-MAGUIRAGA, L., NOUGAIREDE, A., et al. Chikungunya fever: epidemiology, clinical syndrome, pathogenesis and therapy. **Antiviral research**, v. 99, n. 3, p. 345–370, 2013

VASCONCELOS, P. F. C., CALISHER, C. H. Emergence of human arboviral diseases in the Americas, 2000-2016. **Vector-Borne and Zoonotic Diseases**, v. 16, n. 5, 2016

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. Entomological surveillance for *Aedes* spp. in the context of Zika virus: interim guidance for entomologists. World Health Organization, 2016. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/204624>. Acesso em 19 de dezembro de 2019

APÊNDICE B – INOVAÇÃO DESENVOLVIDA E PERSPECTIVAS

Este apêndice tem como objetivo principal a apresentação do produto pretendido do ponto de vista do tipo de inovação, bem como de suas funcionalidades para potenciais licenciamentos da tecnologia. O protótipo desenvolvido possui uma série de características técnicas e mercadológicas que foram moldadas a partir das decisões tomadas durante o projeto de desenvolvimento, visando fornecer uma nova forma de analisar dados de capturas de armadilhas, incorporando informações, antes indisponíveis, sobre a presença de vetores *Ae. aegypti* em situações de baixo número de capturas.

Para avaliação do produto pretendido, foi realizado o posicionamento da inovação desenvolvida com base em seu alvo, conforme metodologia dos 4 P's de Francis e Bessant (2005) e com base no seu grau de novidade e arquitetura, conforme metodologia proposta por Tidd e Bessant (2015), apoiada na visão de inovação arquitetural de Henderson e Clark (1990). Por fim, foram expostas as limitações do uso do protótipo no estágio atual e os próximos passos para convertê-lo em um produto funcional. Esta seção, por outro lado, não tem pretensões de realizar uma discussão acadêmica dos aspectos da invenção, mas sim, de introduzir conceitos sobre o sistema desenvolvido.

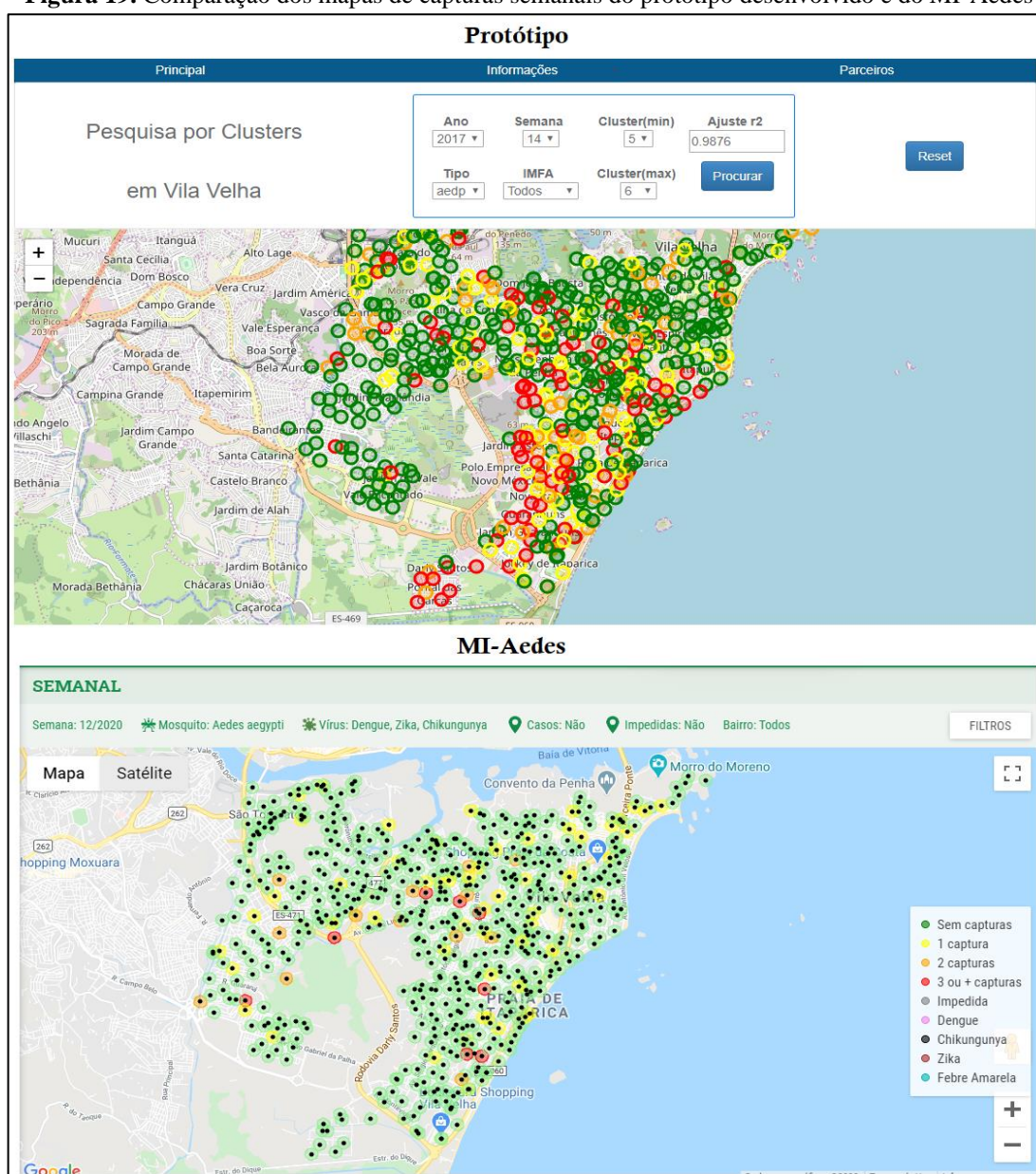
Apresentação geral do produto e suas funcionalidades

O produto encontra-se no estágio de protótipo e consiste em um software para identificação de regiões de alta probabilidade de presença de mosquitos, desenvolvido preferencialmente para avaliar dados de *Ae. aegypti*, capturados por armadilhas MosquiTRAP. O software pode ser adaptado a outras pragas urbanas, desde que seja possível levantar informações georreferenciadas de locais com presença da praga (por meio de armadilhas ou não) e desde que a distribuição da presença da espécie seja similar à apresentada pela espécie *Ae. aegypti* em experimentos de campo, como os realizados por Resende *et al.* (2012).

O software possui um algoritmo que calcula o grau de ajuste do conjunto de dados de capturas semanais distribuídos por área a um modelo matemático, que se encontra em sigilo. Esse modelo mostrou capacidade de identificar regiões em que a distribuição de capturas das armadilhas é homogênea, isto é, nessa região é possível estimar o número de capturas esperado para cada armadilha, mesmo que ela tenha capturado zero espécimes. Importante ressaltar que o produto precisa, portanto, de uma base de dados pré-existente de capturas por armadilha georreferenciada para ser aplicado.

O protótipo tem como objetivo apresentar o funcionamento do sistema utilizando simulações com dados reais extraídos do banco de dados de capturas de municípios que utilizam o sistema MI-Aedes da Ecovec. A página inicial é muito similar aos mapas de capturas já utilizados pela empresa no serviço de monitoramento do mosquito, apresentando, em uma escala de cores, o número de capturas de *Ae. aegypti* fêmea por armadilha. A diferença é que o protótipo possui campos adicionais para alteração de parâmetros, como a faixa de IMFA na qual o usuário deseja filtrar os clusters encontrados, o tamanho mínimo e máximo dos clusters e o grau de ajuste dos clusters ao modelo matemático (Figura 19).

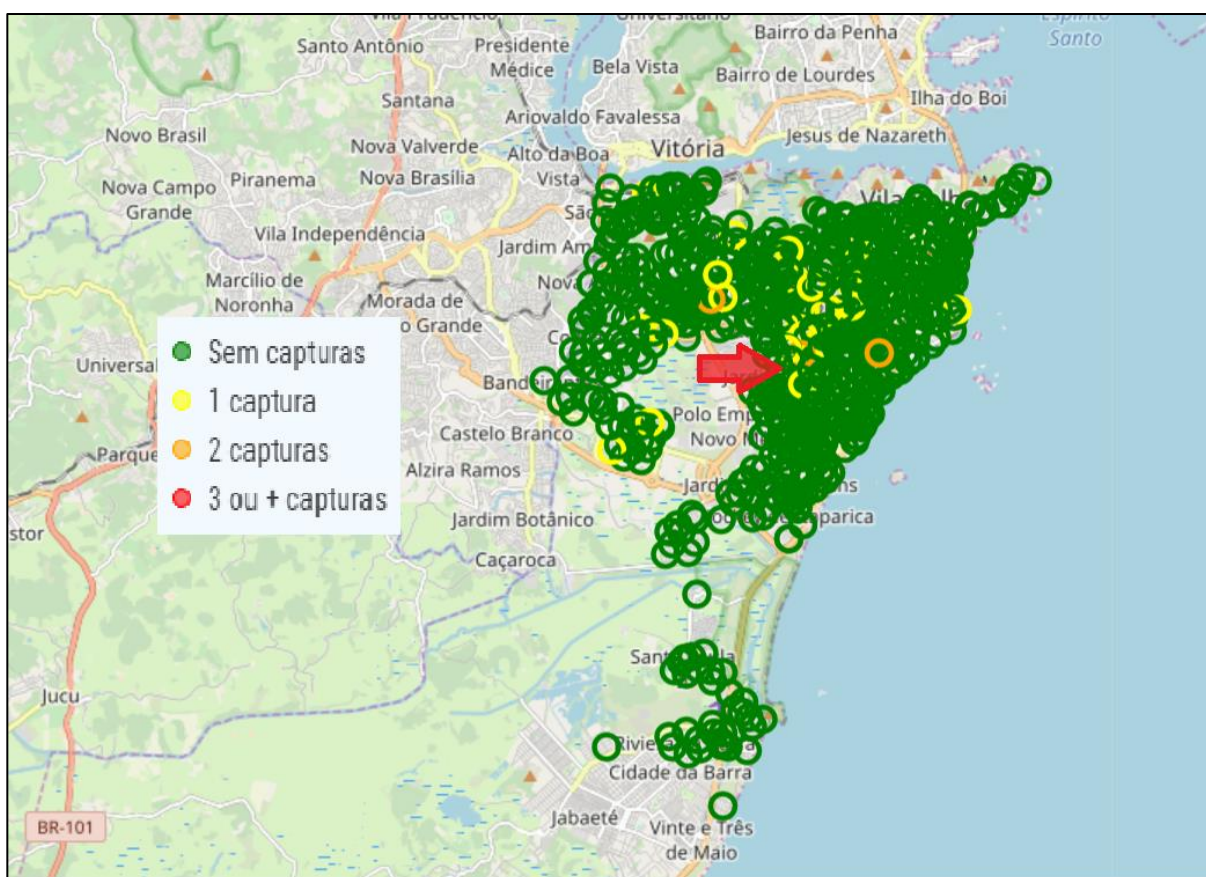
Figura 19. Comparação dos mapas de capturas semanais do protótipo desenvolvido e do MI-Aedes



Fonte: Protótipo (superior) – Semana epidemiológica 14/2017 de Vila Velha/ES (2020); mapa do MI-Aedes semanal (inferior) - semana epidemiológica 12/2020 de Vila Velha/ES. Mapa do MI-Aedes obtido na plataforma MI-Aedes, disponível em: <http://mi2.miaedes.com.br/clients/4161/region/4013/geoprocess/week>.

Após selecionar os parâmetros desejados e clicar em “Procurar”, o software procura naquele conjunto de dados (semana epidemiológica selecionada), clusters que atendam aos requisitos dos parâmetros escolhidos. Dessa forma, é possível customizar a busca, de acordo com as necessidades do momento. Um exemplo de aplicação é a identificação de regiões de alta probabilidade de capturas quando a infestação municipal geral é baixa, como ocorreu na semana 15/2017 no município de Vila Velha/ES (Figura 20).

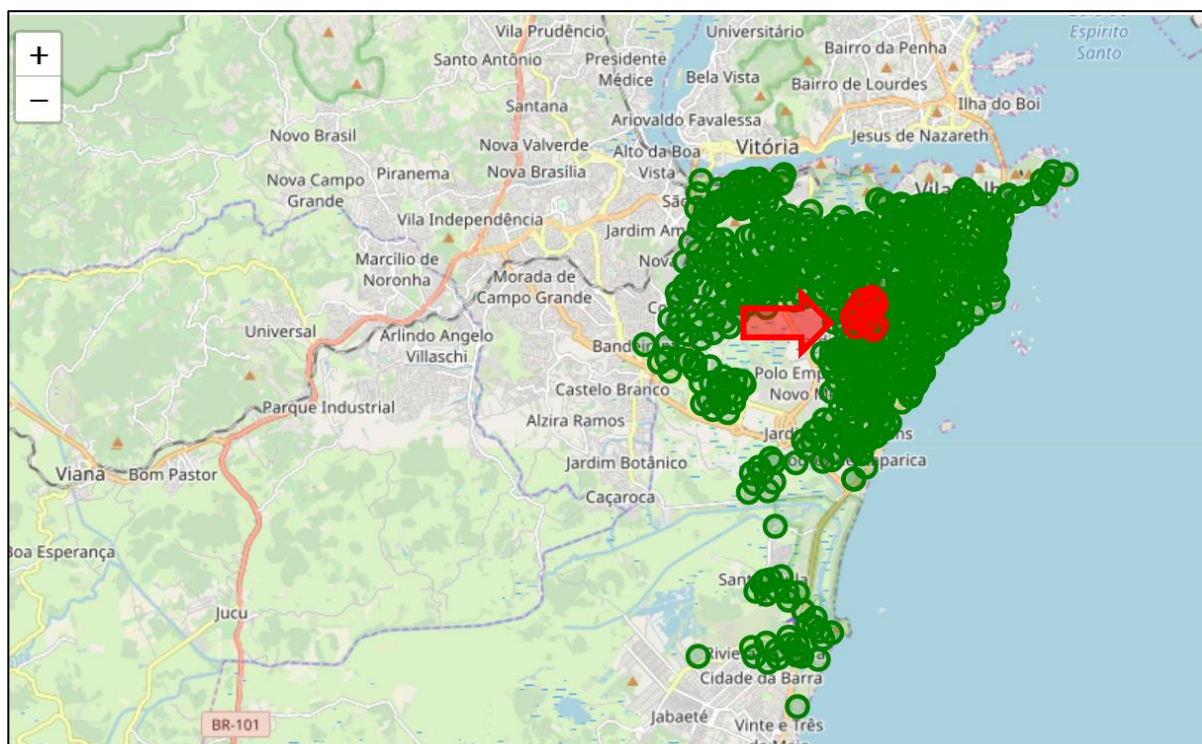
Figura 20. Número de capturas de *Ae. aegypti* fêmea por armadilha na semana 15/2017 – Vila Velha/ES



A seta vermelha indica uma região na qual o software indicou um cluster de IMFA > 0,60 que se ajustou com grande precisão ao modelo matemático ($r^2=0,99$). **Fonte:** Elaboração do autor (2020), a partir do uso do software.

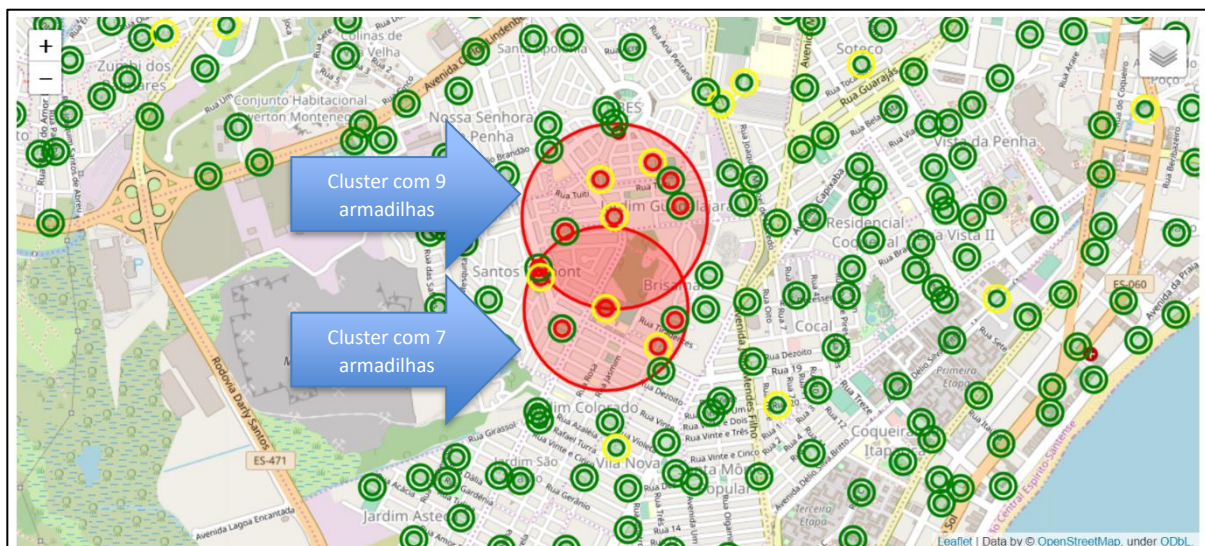
O cluster fica ainda mais evidente no mapa específico de clusters, presente no protótipo. Na figura 21, também referente à semana 15/2017, nota-se que não houve formação de clusters com IMFA > 0,60 em nenhum local do município, devido à baixa infestação média, exceto na região indicada na figura anterior, em que há a formação de dois clusters de 9 e 7 armadilhas cada, dentro dos quais, é possível afirmar, com alta confiabilidade, que a probabilidade das armadilhas de capturarem mosquitos é similar estatisticamente (Figuras 21 e 22).

Figura 21. Mapa de clusters com IMFA > 0,60 na semana 15/2017 em Vila Velha/ES



Parâmetros selecionados: *Ae. aegypti* fêmea; IMFA > 0,60; tamanho dos clusters entre 6 e 9 armadilhas; $r^2 \geq 0,99$.
Fonte: Elaboração do autor (2020), a partir do uso do software.

Figura 22. Busca por clusters de IMFA >0,60 de 6 a 9 armadilhas em Vila Velha/ES – Semana 15/2017



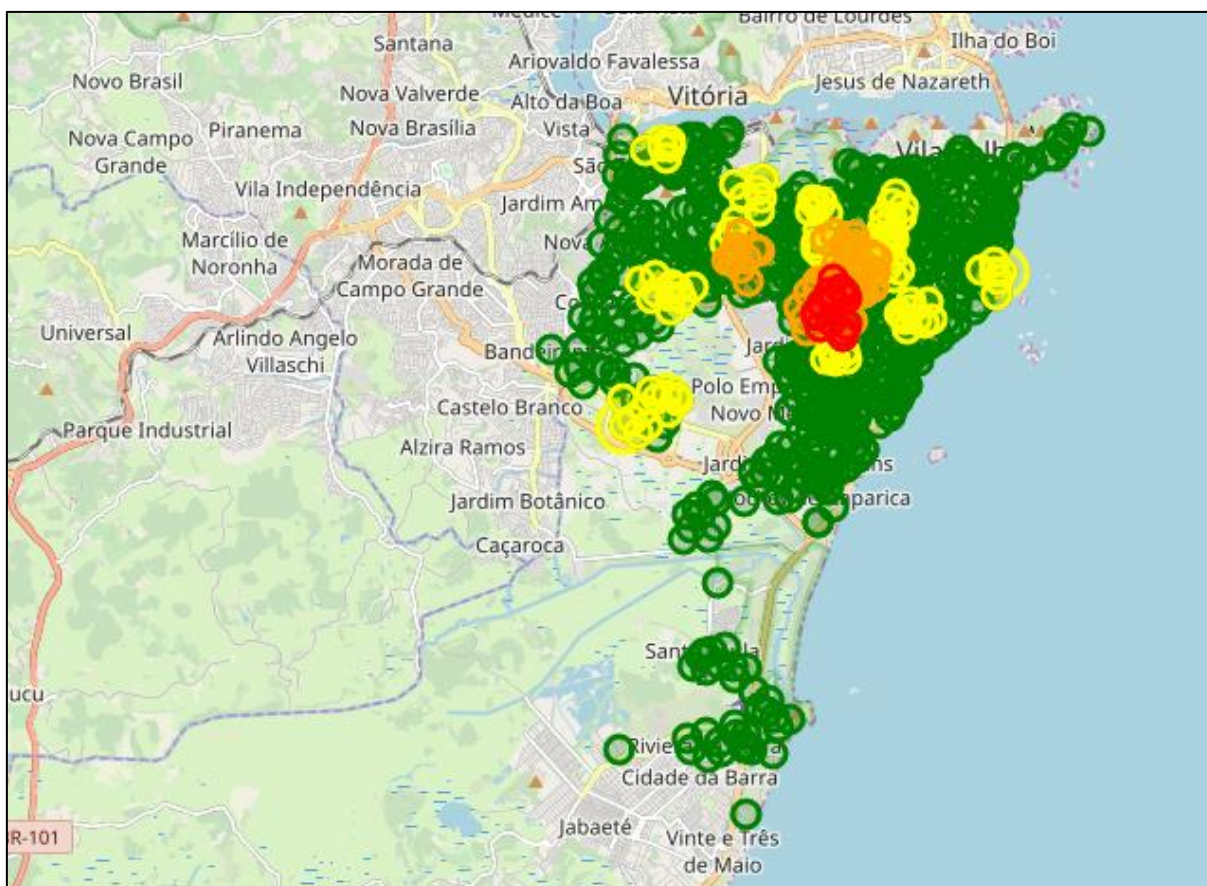
Parâmetros selecionados: *Ae. aegypti* fêmea; IMFA > 0,60; tamanho dos clusters entre 6 e 9 armadilhas; $r^2 \geq 0,99$.
Fonte: Elaboração do autor (2020), a partir do uso do software.

Nesse sentido, o software foi capaz de indicar a presença de uma região em que, mesmo na ausência de capturas de algumas armadilhas, é recomendada a realização de atividades de controle pela alta probabilidade de se encontrar mosquitos. Na prática, o que o software fez foi corrigir a baixa sensibilidade da MosquiTRAP, indicando para o gestor de saúde para onde ele deve direcionar seus recursos de combate às arboviroses, otimizando os gastos públicos. Essa

informação considera que se armadilhas na região estão capturando mosquitos, era esperado que todas apresentassem o mesmo padrão de capturas, mas não o fazem porque a sensibilidade do dispositivo é baixa, mesmo na presença do vetor.

O filtro de clusters por faixa de IMFA pode ser editado para evidenciar clusters de média e baixa infestação que também estão presentes na mesma semana epidemiológica. Essa funcionalidade pode ser, no futuro, transformada em uma ferramenta para gerar mapas de densidade de kernel (mapas de calor), melhorando ainda mais a visualização da condição de infestação do município. A Figura 23 apresenta a semana epidemiológica 15/2017 sem a utilização do filtro de IMFA, mostrando a presença de diversas regiões em que a probabilidade de presença de *Ae. aegypti* é média e baixa, mas que também se ajustaram com alta confiabilidade ($r^2 > 0,99$) ao modelo matemático.

Figura 23. Mapa de clusters identificados no município de Vila Velha/ES – Semana 15/2017



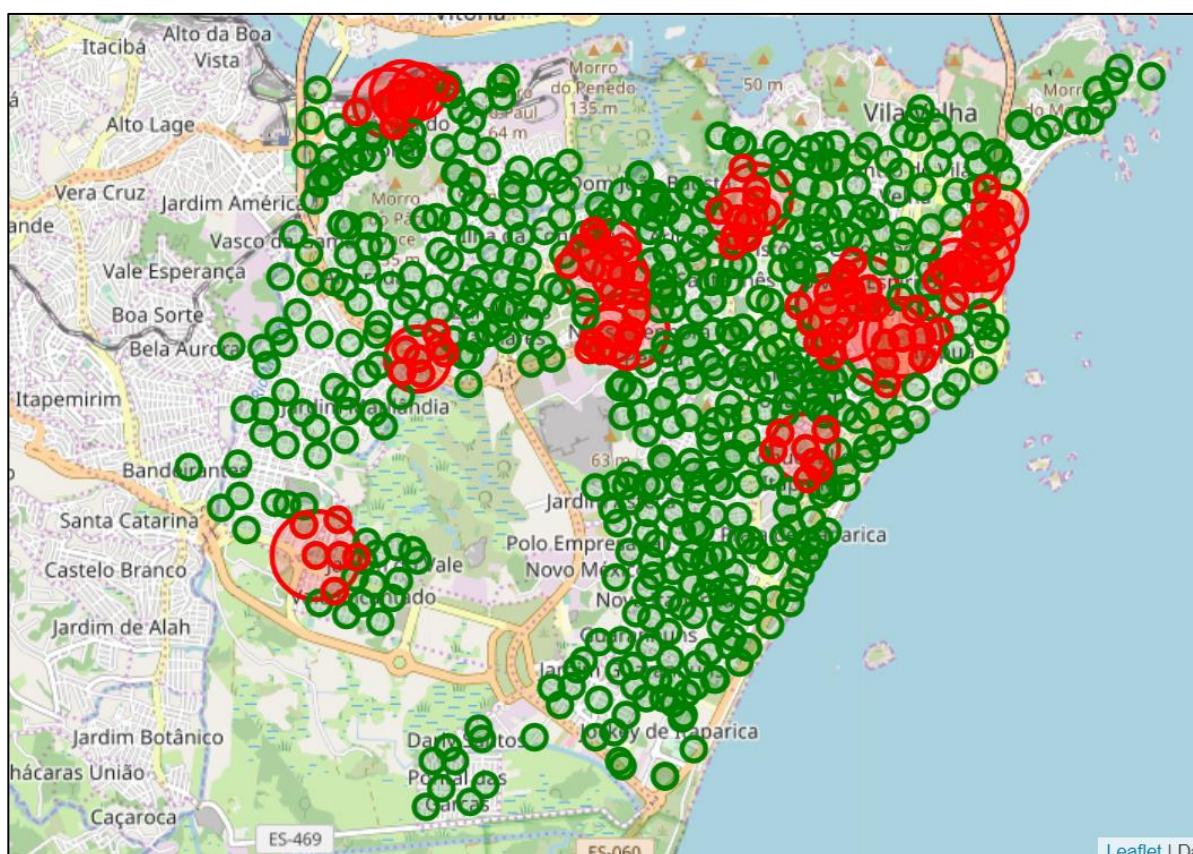
Parâmetros selecionados: *Ae. aegypti* fêmea; IMFA (todos); tamanho dos clusters entre 6 e 9 armadilhas; $r^2 \geq 0,99$.
Fonte: Elaboração do autor (2020), a partir do uso do software.

A partir da observação do mapa da Figura 23, percebe-se uma concentração de clusters de média infestação (laranja) na região próxima aos clusters de IMFA $> 0,60$, o que corrobora

aspectos de distribuição do *Ae. aegypti* de forma não homogênea pelo meio urbano. Além disso, são identificados pontos de atenção (em amarelo), regiões onde houve captura de *Ae. aegypti* e nas quais a infestação é baixa, mas que apresentam distribuições que se ajustam ao modelo, sugerindo que as armadilhas pertencentes àquelas regiões possuem um mesmo número esperado de capturas.

Em uma semana epidemiológica de alta infestação, é possível utilizar o software para identificação de clusters de IMFA $> 0,60$, com $r^2 > 0,90$, em meio a muitas outras regiões onde houve captura de mosquitos (Figura 24) e, portanto, permitir a priorização das atividades de controle para esses locais. O sistema, nesse cenário, pode ser utilizado tanto a nível macro, para a identificação das regiões, quanto a nível micro, para a identificação de áreas em que as armadilhas não capturaram mosquitos, mas que se encontram em regiões em que a captura era esperada.

Figura 24. Mapa de clusters com IMFA $> 0,60$ identificados em Vila Velha/ES na semana 01/2018

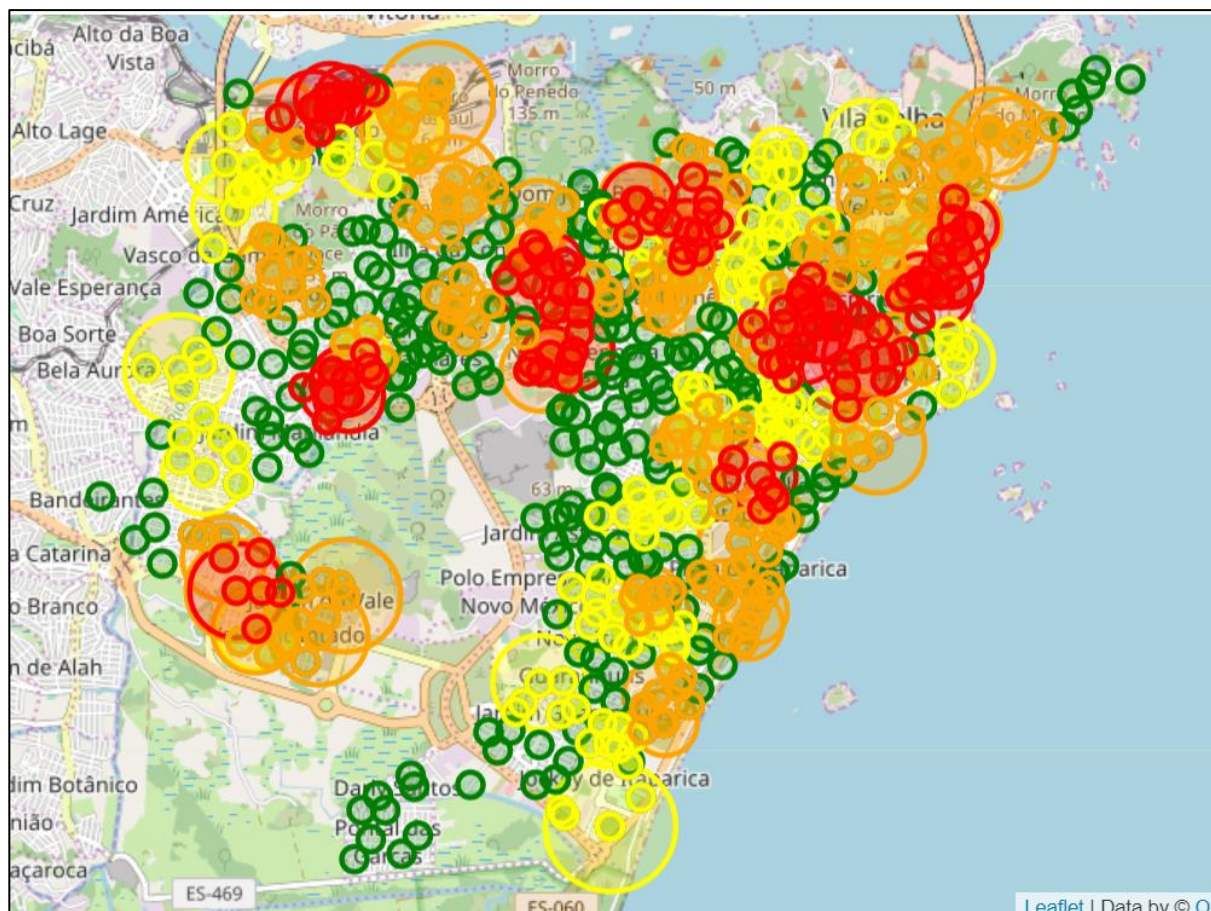


Parâmetros selecionados: *Ae. aegypti* fêmea; IMFA $> 0,60$; tamanho dos clusters entre 6 e 9 armadilhas; $r^2 \geq 0,90$.

Fonte: Elaboração do autor (2020), a partir do uso do software

O ajuste do r^2 é particularmente relevante em condições de alta infestação, visto que um número elevado de capturas pode gerar muitas áreas de alta infestação, mas que não se ajustam ao modelo. Isso significa que, ao mesmo tempo, em que o sistema indica regiões em que as capturas são homogêneas (quando o $r^2 > 0,90$) em um conjunto de armadilhas, ele pode também realizar a medição do IMFA por microrregião de até 9 armadilhas (utilizando $r^2 < 0,90$, preferencialmente, igual a 0). A funcionalidade de medir o IMFA por microrregião é um avanço em relação ao estado da arte do MI-Aedes atual, que possui uma funcionalidade de calcular o IMFA por bairros. Porém, o cálculo por bairro apresenta limitações como, por exemplo, bairros com poucas armadilhas que apresentarão variância de IMFA muito elevada e o fato de a dispersão do mosquito não ser influenciada pelos limites teóricos dos bairros, mas sim por condições socioambientais. Dessa forma, a busca utilizando o software com o $r^2 = 0$ permitirá a medição do IMFA por região, independente da divisão de bairros (Figura 25).

Figura 25. Mapa de regiões infestadas identificadas em Vila Velha/ES na semana 01/2018



Parâmetros selecionados: *Ae. aegypti* fêmea; IMFA (todos); tamanho dos clusters entre 6 e 9 armadilhas; $r^2 = 0$.
Fonte: Elaboração do autor (2020), a partir do uso do software.

É notável na Figura 25 que a maioria das áreas do município apresentaram infestação do *Ae. aegypti*, dificultando significativamente o trabalho de gestores de saúde na seleção de áreas prioritárias para controle. Dessa forma, o filtro por áreas de alta infestação é potencialmente útil. O parâmetro r^2 , por sua vez, funciona como um filtro de regiões em que as capturas são homogêneas, enquanto no mapa da Figura 25 não há qualquer tipo de filtro aplicado. A identificação de áreas com r^2 elevado fornece informações ainda mais precisas sobre onde o controle vetorial tem maiores chances de ser efetivo, visto que armadilhas nessas áreas têm a mesma probabilidade de capturar mosquitos. Por outro lado, armadilhas em áreas de infestação alta, mas com r^2 baixo, indicam que não há confiança suficiente para afirmar se determinada armadilha realmente capturou zero mosquitos ou se houve falha devido à sua baixa sensibilidade. Por fim, áreas sem capturas e que não houve formação de clusters em nenhuma faixa de r^2 são indicativas de baixo nível de infestação ou, em alguns casos, ausência de infestação e, por isso, não possuem prioridade para atividades de controle.

Ao selecionar uma semana epidemiológica, é preciso selecionar o tamanho mínimo e máximo dos clusters pesquisados. Esse parâmetro considera aspectos da dispersão do *Ae. aegypti* e do modelo matemático. Cada armadilha está disposta a aproximadamente 250 metros uma da outra, de acordo com a metodologia de trabalho proposta no MI-Aedes (EIRAS, 2007; EIRAS E RESENDE, 2009). Considerando que a fêmea do *Ae. aegypti* raramente se desloca além dos 500m em um intervalo de uma semana, de acordo com dados apresentados na seção intitulada “Padrões de dispersão e aglomeração do *Aedes aegypti*” desta dissertação, o tamanho máximo dos clusters recomendado é de 9 armadilhas, estando a armadilha central, afastada a pelo menos 250m das outras 8 armadilhas ao seu redor.

O tamanho mínimo recomendado para o cluster é de 6 armadilhas, visto que quanto menos armadilhas o cluster possuir, menor é a amostra de dados de capturas, o que reduz o grau de confiança do ajuste ao modelo matemático. Ainda com relação ao tamanho, clusters com 9 armadilhas abrangem uma área de aproximadamente 20 hectares, nas quais as condições ambientais e ecológicas são similares em áreas urbanas, o que justifica que 9 armadilhas seja o tamanho máximo dos clusters.

Próximos passos e perspectivas

O protótipo desenvolvido utiliza uma base de dados real de municípios que utilizam ativamente o MI-Aedes em sua rotina e é capaz de indicar com precisão as regiões que se ajustam ao modelo matemático. Portanto, uma parte da prova de conceito já foi concluída. Por outro lado, a capacidade do sistema em identificar a presença das fêmeas de *Ae. aegypti* em

armadilhas pertencentes à clusters em que se espera alta infestação de mosquitos ainda precisa ser testada em campo. Dessa forma, é necessário utilizar outro dispositivo de captura com maior sensibilidade do que a MosquiTRAP, como ovitrampas ou GATs para a confirmação da presença do vetor nas localidades em que o sistema indicar. Esse experimento será crucial para validar a tecnologia.

Como melhoria a ser implementada futuramente, o produto poderá considerar não apenas a análise espacial de clusters, mas também temporal. Uma ferramenta de avaliação da persistência da presença de clusters ao longo de várias semanas em uma localidade poderá reforçar os alertas de presença de mosquitos emitidos pela ferramenta. Além disso, o indicador IMFAP, que mede a reincidência de capturas nas armadilhas, pode ser útil para desenvolver um segundo conceito, o de identificar armadilhas com problemas de instalação. Caso uma armadilha apresente IMFAP reduzido em uma região em que persistem clusters de alta infestação, tal armadilha pode estar mal instalada ou com algum problema operacional. Em outras palavras, em uma região onde era esperado, por várias semanas seguidas, uma alta infestação homogênea entre as armadilhas e um ou outro dispositivo não captura, provavelmente este dispositivo está com problemas. Esse conceito precisa ser testado após implementação da ferramenta de identificação de persistência de clusters no espaço e no tempo.

A perspectiva do produto é que seja incorporado ao sistema MI-Aedes em algum momento futuro, como um incremento que permita melhorar o grau de análise e aumentar o volume de informações, de forma compreensível, que é entregue aos gestores de saúde, apoiando suas decisões.

Posicionamento do produto com base em seu alvo

O software com algoritmo que utiliza um modelo matemático é capaz de fornecer uma nova interpretação aos dados de capturas de mosquitos do sistema MI-Aedes. Com o seu uso, gestores de saúde serão capazes de identificar regiões em que o controle do vetor *Ae. aegypti* é necessário, o que pode ser considerado uma melhoria de performance em relação ao produto existente atualmente, que não considera a sensibilidade da armadilha MosquiTRAP no cálculo de risco.

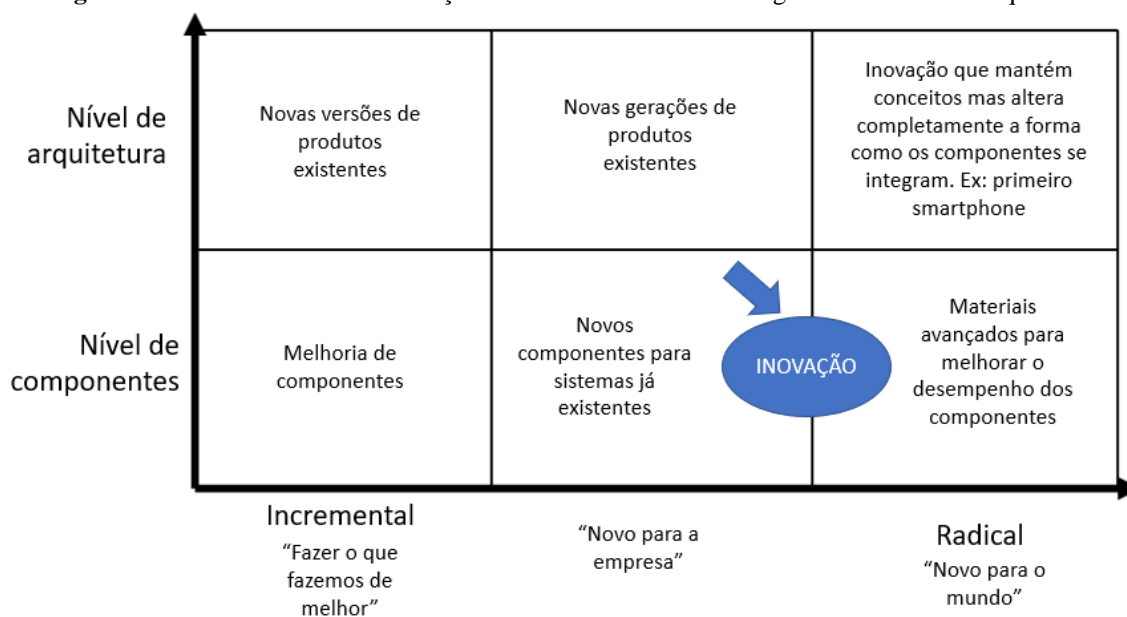
A inovação desenvolvida no caso estudado tem vistas a alterações na forma como o resultado de um sistema existente é entregue e, por essa razão, é considerada uma inovação de processo (FRANCIS E BESSANT, 2005). Dessa forma, ela permite aumentar a eficiência do serviço prestado pela empresa Ecovec, que consiste no fornecimento de sistemas de inteligência, capazes de direcionar ações de controle em saúde pública.

Posicionamento do produto com base no grau de novidade e arquitetura

O conceito predominante no mercado é o de monitoramento do *Ae. aegypti* em sua fase adulta por armadilhas e o direcionamento de ações de controle. Enquanto isso, o sistema MI-Aedes, existente no estado da arte, incorpora componentes como indicadores matemáticos, mapas, tabelas, gráficos, armadilhas e processos para o monitoramento. O produto desenvolvido no caso estudado, por sua vez, adiciona novos componentes ao sistema já existente, mas não altera o conceito original de monitoramento do mosquito *Ae. aegypti* adulto por armadilhas, com direcionamento do controle vetorial. Por isso, a inovação do caso estudado não pode ser considerada arquitetural, na visão de Henderson e Clark (1990).

Na perspectiva de Tidd e Bessant (2015), a inovação estudada ocorre a nível de componentes, fornecendo uma nova forma de analisar os dados por meio de um modelo matemático, algo que é “novo para a empresa”. Ao mesmo tempo, a incorporação desse modelo aos dados de capturas de mosquitos nas MosquiTRAPs é algo inédito para o mundo. Pode-se considerar que novos componentes foram adicionados ao sistema existente, mas que tais componentes carregam consigo tecnologias avançadas que permeiam a fronteira do conhecimento científico e, por isso, melhoram significativamente o desempenho dos componentes do sistema original. Por isso, posicionou-se a inovação que une componentes tácitos de várias áreas (biologia, ecologia, epidemiologia, entomologia, programação, sistemas de informação e estatística) entre a inovação incremental e radical, com grau de novidade elevado, porém sem alterar o sistema dominante, conforme a Figura 26.

Figura 26. Posicionamento da inovação desenvolvida com base no grau de novidade e arquitetura



Fonte: Elaboração do autor (2020).

Referências Bibliográficas

EIRAS, A., E. Relatório de Avaliação dos Resultados do Estudo Multicêntrico do Uso de Armadilhas para Captura de *Aedes aegypti*. **Relatório Técnico submetido ao Ministério da Saúde em Resposta ao Ofício 853/GAB/SVS/MS de 13 de abril de 2006**, 52p. 2007.

EIRAS, A. E.; RESENDE, M. C. Preliminary evaluation of the "Dengue-MI" technology for *Aedes aegypti* monitoring and control. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 25, n. 1, p. 45-58, 2009

FRANCIS, D., BESSANT, J. Targeting innovation and implications for capability development. **Technovation**, v. 25, n. 3, p. 171-183, 2005

HENDERSON, R. M., CLARK, K. B. Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms. **Administrative Science Quarterly**, v. 35, n.1, p. 9-30, 1990

RESENDE, M. C., DE ÁZARA, T., COSTA, I. O., HERINGER, L. C., ANDRADE M. R., ACEBAL J. L., EIRAS A. E. Field optimisation of MosquiTRAP sampling for monitoring *Aedes aegypti* Linnaeus (Diptera: Culicidae). **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, n. 107, p. 294-302, 2012

TIDD, J., BESSANT, J. Gestão da Inovação. 5 ed. Porto Alegre, RS: **Bookman**, 2015

APÊNDICE C - QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DAS COMPLEXIDADES

Avaliação das complexidades do projeto de desenvolvimento do sistema de identificação de clusters de *Aedes aegypti*

Complexidade Tecnológica: Diz respeito à quantidade de integração de componentes necessária, ao grau de novidade da tecnologia envolvida, à variedade de habilidades e know-how necessários para desenvolver a tecnologia, etc.

NOTA:

Comentários:

Complexidade do ambiente de mercado: Dificuldade de enxergar necessidades do mercado, variabilidade das mudanças do mercado, dificuldade em prever a reação de potenciais competidores, vulnerabilidade do produto a mudanças de mercado, etc.

NOTA:

Comentários:

Complexidade de desenvolvimento: Diz respeito à integração de decisões e resultados de pesquisa, dificuldade de medir quanto de esforço, recursos e dinheiro são necessários para desenvolver o novo produto, complexidade do processo de desenvolvimento, dificuldade de encontrar parceiros, fornecedores, etc.

NOTA:

Comentários:

Complexidade de Comercialização/Marketing: Grau de necessidade de educação de futuros usuários para usar o produto, necessidade de lidar com mercados inexplorados, grau de atendimento aos requisitos do mercado, dificuldade de promover o produto,

NOTA:

Comentários:

Complexidade Organizacional: Estruturas organizacionais, distância geográfica entre as organizações envolvidas, número de grupos/pessoas envolvidas, normas culturais, dificuldades de comunicação sobre o produto, eficácia da comunicação, grau de envolvimento dos grupos de trabalho com o projeto.

NOTA:

Comentários:

Complexidade intraorganizacional: Dificuldade em manter relacionamento com grupos de organizações diferentes, complexidade da relação universidade-empresa, dificuldade de lidar com as agências de apoio, distribuição do trabalho entre as equipes, gestão de relacionamentos.

NOTA:

Comentários:

RESPONDENTE: _____ SOMA DAS NOTAS: _____