

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL  
FACULDADES UNIFICADAS DE CATAGUASES**

**LUCIANO SERGIO LACERDA LIMA  
RODRIGO TADEU FUCIO DE SOUZA  
SAULO FELIPPE DA SILVA**

**DISPOSITIVO QUÍMICO COM MARCADOR PARA CORTE DE FORNECIMENTO  
DE ENERGIA A BAIXO CUSTO**

**CATAGUASES – MG**

**2024**

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL  
FACULDADES UNIFICADAS DE CATAGUASES**

**LUCIANO SERGIO LACERDA LIMA  
RODRIGO TADEU FUCIO DE SOUZA  
SAULO FELIPPE DA SILVA**

**DISPOSITIVO QUÍMICO COM MARCADOR PARA CORTE DE FORNECIMENTO  
DE ENERGIA A BAIXO CUSTO**

**Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao curso de Engenharia  
Elétrica das Faculdades Unificadas de  
Cataguases como requisito parcial para  
obtenção do título de bacharel em  
Engenharia Elétrica  
Área de Concentração: inovação**

**Orientador: Dr. José Eduardo H. Silva**

**CATAGUASES – MG**

**2024**

## DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho de conclusão de curso aos nossos colegas, cuja presença constante e apoio foram fundamentais ao longo desta jornada. Agradeço-lhes por contribuírem significativamente para o meu desenvolvimento acadêmico. Aos professores, nossa gratidão pela dedicação incansável em compartilhar conhecimento e orientação, guiando-nos rumo à conquista do tão almejado diploma de engenharia.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, expressamos nossa gratidão a Deus pela dádiva da vida, abençoada com saúde, que nos permitiu alcançar este momento tão esperado de conclusão do curso. Com o término desta jornada, celebra-se o início de uma nova fase, repleta de oportunidades e desafios.

Não poderíamos deixar também de agradecer a nossas esposas, filhos e pais, por cada palavra e gesto de apoio e carinho, se hoje estamos finalizando mais uma etapa, isso só foi possível devido a presença de vocês sempre ao nosso lado.

Também desejamos expressar nossa sincera gratidão ao nosso orientador, cujo incentivo e dedicação foram fundamentais para nossa jornada acadêmica. Agradecemos igualmente a todos os professores e funcionários da instituição, cujas contribuições individuais, de diversas formas, foram essenciais para que nós pudéssemos alcançar este tão esperado momento.

## RESUMO

Este trabalho foi elaborado com o objetivo de apresentar um dispositivo químico inovador com marcador de baixo custo elaborado para ser um lacre inviolável quando aplicado durante as atividades de corte do fornecimento de energia de consumidores inadimplentes. O dispositivo pode ser usado em caixas de diferentes formatos e tamanhos, tornando-se mais abrangente que a principal solução usada no momento para a função, o dispositivo denominado “gavião”. A metodologia proposta se baseia em testes sistemáticos e padronizados de produtos de mercado e no desenvolvimento de soluções customizadas. Os testes da solução adesiva para vedação da portinhola da caixa de medição, assim como de remoção do adesivo por solução específica, foram desenvolvidos tanto em laboratório quanto em campo.

**Palavras-Chave:** Dispositivo químico. Corte de fornecimento. Consumidores inadimplentes. Dispositivo gavião.

## **ABSTRACT**

The aim of this work is to present an innovative chemical device with a low-cost marker designed to be a tamper-evident seal when applied during activities to cut off the energy supply to defaulting consumers. The device can be used in boxes of different shapes and sizes, making it more comprehensive than the main solution currently used for the function, the so-called "hawk" device. The proposed methodology is based on systematic, standardized testing of market products and the development of customized solutions. Tests of the adhesive solution for sealing the measuring box hatch, as well as the removal of the adhesive by a specific solution, were carried out both in the laboratory and in the field.

**Keywords:** Chemical device. Disconnection of supply. Defaulting consumers. Hawk device.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Dispositivo Gavião.....	10
Figura 2 – Fluxograma geral de desenvolvimento do projeto.....	19
Figura 3 – Fotografia da placa de policarbonato mostrando a aplicação dos adesivos comerciais testados.....	20
Figura 4 – Fotografias das placas de policarbonato contendo adesivos comerciais transparentes de secagem rápida .....	21
Figura 5 – Fotografia obtida durante a realização dos testes de remoção dos adesivos comerciais .....	22
Figura 6 – Esquema demonstrando as Formulações propostas .....	23
Figura 7 – Registro Fotográfico das placas durante as remoções das formulações .	24
Figura 8 – Aspecto visual da aplicação da formulação a), b) sem colágeno e (c) com colágeno nas caixas de medição .....	25
Figura 9 – Formação de gel do removedor específico .....	25
Figura 10 – Sucessivas aplicações do adesivo na caixa a) de metal, b) de acrílico e remoções na caixa de acrílico c).....	26
Figura 11 – Aplicação da luz UV no adesivo aditivado aplicado na caixa de acrílico	27
Figura 12 – Gráfico de tensão máxima obtido para os adesivos no ensaio de adesividade .....	28
Figura 13 – Testes de aplicação do adesivo em laboratório e campo.....	29
Figura 14 – Aplicador com reservatório.....	30
Figura 15 – Refil .....	30
Figura 16 – Utilização equipe de campo .....	31
Figura 17 – Comparativo KPI'S .....	31

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

EPI – Equipamento de Proteção Individual

SPC – Serviço de Proteção ao Crédito

KPI's - São métricas que medem o desempenho de projeto relação às suas metas e objetivos.



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>1.1 Objetivo Geral .....</b>	<b>11</b>
<b>1.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>11</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 Combate à Inadimplência .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2 Perdas Comerciais .....</b>	<b>13</b>
<b>2.3 Suspensão de Fornecimento – Corte .....</b>	<b>14</b>
<b>2.4 Metodologia para Teste de Adesividade .....</b>	<b>15</b>
<b>2.5 Métricas e Indicadores.....</b>	<b>16</b>
<b>3 PROPOSTA .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1 Prospecção de tecnologias e benchmarking.....</b>	<b>17</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>20</b>
<b>4.1 Construção do Dispositivo .....</b>	<b>20</b>
<b>4.1.1 Aplicação dos Adesivos Comerciais.....</b>	<b>20</b>
<b>4.1.2 Desenvolvimento e Formulações para o Adesivo.....</b>	<b>23</b>
<b>4.1.3 Modificações nas Formulações .....</b>	<b>24</b>
<b>4.1.4 Testes de Repetitividade .....</b>	<b>26</b>
<b>4.1.5 Ensaio de Adesividade .....</b>	<b>27</b>
<b>4.1.6 Aplicabilidade da Solução .....</b>	<b>29</b>
<b>4.1.7 Desenvolvimento do Aplicador.....</b>	<b>30</b>
<b>4.2 Resultados Obtidos através do Uso do Dispositivo .....</b>	<b>31</b>
<b>4.2.1 Resultados Parciais .....</b>	<b>31</b>
<b>5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>33</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>34</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A inadimplência no pagamento pelos clientes pelo serviço de fornecimento de energia elétrica tem mostrado um crescimento notável ao longo dos anos. Devido às taxas de juros e multas serem comparativamente mais baixas do que em outros setores de serviços, muitos consumidores têm relegado o pagamento das contas de energia elétrica a segundo plano (ACENDEBRASIL, 2017).

Dado que essa situação afeta os indicadores de desempenho dos recebíveis das empresas do setor elétrico de maneira ampla, está sendo buscada a implementação de uma nova tecnologia que permita realizar cortes individuais e dificultar a auto religação por parte do cliente. Com o objetivo de evitar uma redução significativa no desempenho dos cortes, foram adotadas medidas baseadas na segmentação da carteira de serviços em diferentes classes. Por exemplo, para os clientes que não apresentaram auto religação nos últimos meses, está sendo utilizado o corte no disjuntor com dispositivo de "gavião". Para os clientes que tiveram registros de auto religação, o corte está sendo realizado no medidor, e para aqueles com reincidência no auto religação, o corte é efetuado no poste (BOLETIM COMERCIAL ENERGISA, 2022).

A utilização do dispositivo "gavião" é preferível, pois representa uma modalidade de corte que pode ser executada individualmente, reduzindo o custo operacional. Em contrapartida, o corte no medidor ou no poste exige duplas, conforme estabelecido na Resolução Normativa Número 10 (ABNT, 2019). Apesar de todo o processo de seleção do tipo de corte mais adequado para cada cliente por meio de ferramentas computacionais, 27% dos cortes impedidos são devido à restrição técnica no uso do dispositivo "gavião". Dados demonstram que 11% dos cortes efetuados com o dispositivo "gavião" apresentam indicação de auto religação (BOLETIM COMERCIAL ENERGISA, 2022).

A Figura 1 apresenta o dispositivo gavião sendo utilizado em um disjuntor.

**Figura 1** – Dispositivo Gavião

Fonte – Padrão Energisa

A análise do problema revela que o dispositivo atualmente utilizado no processo de corte de energia está defasado tecnologicamente, não atendendo adequadamente às exigências e desafios específicos de aumentar a efetividade da suspensão de fornecimento, além de apresentar fragilidades mecânicas que facilitam a ocorrência de auto religação. Portanto, é imprescindível buscar e implementar novas tecnologias que permitam às Concessionárias Distribuidoras de Energia Elétrica realizarem cortes individuais mais abrangentes, independentemente do formato ou tamanho das caixas, para substituir o dispositivo "gavião", que é atualmente a principal solução utilizada para essa finalidade (BOLETIM COMERCIAL ENERGISA, 2022).

Com base no exposto, o propósito deste trabalho é desenvolver um dispositivo com marcador químico, fundamentado no sistema adesivo/removedor específico. O dispositivo desenvolvido incorpora propriedades de resistência mecânica, térmica e antichama, além de ser resistente a solventes facilmente disponíveis para a população e apresentar solubilidade específica em removedor também desenvolvido para essa finalidade. Além disso, busca-se uma aplicação com aspecto visual satisfatório que não danifique o material das caixas de medição. O dispositivo é equipado com

marcador químico antifraude e pode ser aplicado com Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) comuns (como luvas e óculos), demonstrando também baixo impacto ambiental em relação aos seus componentes e utilidades. O sistema de corte e religação desenvolvido neste trabalho representa uma alternativa eficaz e descomplicada para o corte e religação de energia diretamente nas caixas de energia, resultando em redução de custos diretos e indiretos.

### **1.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver e discutir a aplicação de dispositivo químico destinado à utilização na caixa de medição, o qual possibilite o corte do fornecimento de energia de forma ágil, exigindo apenas a presença de um único funcionário e sendo removível mediante o uso de solvente específico e equipamentos apropriados para aplicação.

### **1.2 Objetivos Específicos**

Dentre os objetivos específicos, destacam-se:

- Verificar a existência de algum produto no mercado, que já atenda aos requisitos necessários;
- Testar os adesivos existentes no mercado;
- Desenvolver nova formulação, em caso de não sucesso com a etapa anterior;
- Testar a repetitividade;
- Testar a adesividade;
- Desenvolver aplicador para utilização em campo;
- Desenvolver o solvente específico e de uso restrito ao projeto.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta a base teórica referente aos temas abordados e os principais conceitos e elementos utilizados para uma melhor compreensão do trabalho. Sendo assim, se faz necessário um breve relato histórico a respeito do tema inadimplência e perdas nas distribuidoras de energia, além de uma abordagem sobre uma das principais ações de cobrança, no combate a inadimplência, o corte.

### 2.1 Combate à Inadimplência

A inadimplência dos clientes em relação ao pagamento do serviço de fornecimento de energia elétrica tem apresentado crescimento significativo ao longo dos anos. Em função das taxas de juros e multas serem relativamente menores do que as praticadas em outros setores de prestação de serviços, grande parcela dos consumidores tem colocado em segundo plano o pagamento das faturas de energia elétrica. Isto, somado ao longo prazo entre a data de vencimento da fatura e a efetiva possibilidade de suspensão do fornecimento de energia elétrica, tem levado a um aumento generalizado na inadimplência do setor (ACENDEBRASIL, 2017).

A inadimplência se refere à receita faturada e não recebida pelas distribuidoras de energia elétrica. Além disso, o documento descreve que a inadimplência gera prejuízos e impacta as tarifas cobradas pelas distribuidoras, causando também um impacto sobre seu desempenho econômico (SILVA, 2014). Em 2015, 1,74% da energia faturada no Brasil permanecia não paga após 24 meses de inadimplência. Esse valor equivalia, à época, a aproximadamente R\$ 3 bilhões (três bilhões de reais) (ACENDEBRASIL, 2017).

Parte do aumento da inadimplência de seus clientes, tem efeito direto com a retração econômica e os impactos remanescentes da crise hídrica de 2021, que elevou as tarifas, e da restrição de suspensão de fornecimento durante a pandemia de Covid-19, que gerou aumento das dívidas de clientes. Diante do cenário desafiador, as companhias adotaram várias medidas para proteger a receita e aumentar a arrecadação (ACENDEBRASIL, 2023).

Entre estas ações, foi intensificado o uso das ferramentas de cobrança, com destaque para SMS, e-mail, carta, negativações e protestos. As ferramentas foram aprimoradas com o uso de dados para ajustar a régua de cobrança e selecionar os

melhores alvos. Além disso, houve automatização dos processos – como o de protesto de dívidas, realizado 100% online e sem intervenção humana e a busca incessante de novas ações, principalmente para substituir as mais caras, como a suspensão de fornecimento (BI ACÕES DE COBRANÇA ENERGISA, 2022).

## **2.2 Perdas Comerciais**

Em 2015, as perdas comerciais (sinônimo de furto de energia, também chamadas de “perdas não técnicas”) das 59 principais distribuidoras de eletricidade do país foram da ordem de 5% da energia injetada nas redes de distribuição. Esse número pode parecer “baixo”, mas quando se leva em conta que é uma perda contínua que incide sobre toda a energia distribuída no Brasil, verifica-se que logo soma grandes montantes: em um ano, corresponde a mais de 15 milhões de megawatts-hora (MWh), o equivalente ao consumo de todos os consumidores do estado de Santa Catarina (ACENDEBRASIL, 2017).

Para se ter uma noção do que isso significa em termos monetários, pode-se multiplicar esse montante pela tarifa média de fornecimento, incluindo os tributos (R\$ 546/MWh), a fim de obter a perda de receita anual ocasionada pelas perdas comerciais: mais de R\$ 8 bilhões. Como referência, o orçamento para o programa social Bolsa Família em 2015 foi de R\$ 26,9 bilhões. Portanto, o furto e a fraude de energia representaram mais de três meses e meio (ou 30,4%) do que foi destinado ao Bolsa Família. Esse valor também supera os R\$ 6,2 bilhões de baixas contábeis da Petrobras por pagamentos indevidos identificados no âmbito da Operação Lava Jato, que tanto chocaram o país em 2015, causando indignação geral da população. Apesar de significar um valor maior, a mesma indignação não é constatada com o furto de eletricidade (ACENDEBRASIL, 2017).

Além dos prejuízos ocasionados pelas perdas comerciais, os consumidores também causam prejuízos por meio da inadimplência da conta de eletricidade. Em 2015, 1,74% da energia faturada permanecia não paga após 24 meses. Multiplicando-se esse percentual pelo consumo anual de 343 milhões de MWh e pela tarifa média no ano, incluídos os tributos, pode-se concluir que o montante devedor remanescente das faturas emitidas pelas distribuidoras – que dificilmente serão recuperadas – supera a cifra de R\$ 3 bilhões. Portanto, quando somadas as perdas comerciais e a

inadimplência de 24 meses, chega-se a mais de R\$ 11 bilhões que não foram recebidos pelos serviços prestados anualmente (ACENDEBRASIL, 2017).

Num primeiro momento, as perdas comerciais e a inadimplência impactam diretamente as empresas de distribuição, pois elas precisam pagar, independentemente de receber ou não o pagamento dos consumidores finais (ACENDEBRASIL, 2017):

- a fatura da energia suprida pelas geradoras;
- o serviço de transmissão;
- os encargos do setor elétrico; e
- os tributos Pis/COFINS e ICMS cobrados sobre a energia.

Para que a empresa de distribuição possa se manter solvente no longo prazo diante da existência de perdas de energia e inadimplência, ela precisa trabalhar com uma margem de preço suficiente para arcar com as diferenças entre o montante de energia faturado dos consumidores finais e o montante de energia adquirido dos geradores. Caso contrário, a empresa irá à falência e só será substituída por outra se houver a possibilidade de cobrar mais pelo serviço para que haja uma perspectiva de retorno para o investidor. Portanto, no longo prazo, as perdas comerciais e a inadimplência também impactam os consumidores que pagam regularmente as suas contas de energia elétrica (ACENDEBRASIL, 2017).

### **2.3 Suspensão de Fornecimento – Corte**

Para a concessionária, a suspensão do serviço, após a notificação do consumidor, é a alternativa mais drástica na tentativa de receber os débitos, pois existe um custo envolvido nesta ação. Por isso, diversas distribuidoras passaram a utilizar a negativação de CPF como forma de recuperar pendências financeiras, antes de realizar o corte (SPC BRAZIL, 2016).

Uma vez que o panorama apresentado reflete nos indicativos de desempenho de recebíveis das empresas do setor elétrico, busca-se uma nova tecnologia que permita realizar o corte individual e dificultar a auto religação pelo usuário. Para não haver redução do desempenho de corte, foram adotadas medidas baseadas na segmentação em classes da carteira de serviços. Assim, são atualmente utilizados pelas fornecedoras de energia elétrica três procedimentos de corte de fornecimento de energia elétrica: (BI ACÕES DE COBRANÇA ENERGISA, 2022).

- Corte no disjuntor: utilizando dispositivo “gavião”: realizado por apenas um funcionário, em clientes inadimplentes sem apontamento de auto religação nos últimos meses;
- Corte no medidor: realizados por dois funcionários, em duplas, em clientes inadimplentes com apontamento de auto religação; e
- Corte direto no poste: realizados por dois funcionários, em duplas, em clientes inadimplentes com reincidência no apontamento de auto religação.

O uso do dispositivo “gavião” é favorável, pois reduz gastos operacionais, sendo executado de forma individual, porém apresenta elevado índice de auto religação (BI ACÕES DE COBRANÇA ENERGISA, 2022).

É necessário buscar e implementar novas tecnologias que permitam as concessionárias de energia elétrica a realizarem o corte individual, de forma mais abrangente, independente do formato ou tamanho das caixas de distribuição de energia elétrica, a fim de substituir a principal solução usada atualmente, o dispositivo “gavião” (BI ACÕES DE COBRANÇA ENERGISA, 2022).

## **2.4 Metodologia para Teste de Adesividade**

Para realização do teste de adesividade, a metodologia seguida foi adaptada da norma ASTM D3163-01 (ASTM INTERNATIONAL, 2023). Essa norma consiste em um método de teste padrão para determinar a resistência de juntas de cisalhamento de plástico rígido coladas, sendo possível determinar a resistência das juntas por meio de carga de tensão.

Após a definição da norma a ser seguida, os ensaios serão realizados na máquina INSTRON EMIC 23-20, são equipamentos laboratoriais utilizados nas indústrias para o controle da qualidade ou no desenvolvimento de novos produtos para determinação da resistência dos materiais em ensaios de tração, compressão, flexão, dobramento, cisalhamento, arrancamento, delaminação, adesão, embutimento etc.; ou seja, todas as classes dos ensaios mecânicos destrutivos. Esses ensaios podem ser realizados em materiais e/ou produtos metálicos, plásticos, compósitos, biomédicos, elastoméricos, poliméricos, cerâmicos, e até onde a engenharia de materiais puder chegar.

## 2.5 Métricas e Indicadores

Para acompanhar e validar o projeto, serão utilizados os seguintes KPIs:

- **KPI 1 – Efetividade no pagamento**- avaliação da reação do cliente 7 dias após o corte. Validar quantos clientes pagaram após o corte com o dispositivo e fazer um comparativo com o gavião/Selo – métrica: clientes cortados/Clientes que efetuaram o pagamento.;
- **KPI 2 - Análise qualitativa** - seleção de 10% das amostras de UCs que não efetuaram o pagamento, para validação de tentativa de violação do corte e análise dos meios utilizados;
- **KPI 3 - Percentual de Auto-Religação** - Constatação de auto-religação do cliente via sistema Energisa (2º ciclo de faturamento pós 1º corte. Código 326). Fazer o comparativo da eficiência com o gavião/Selo;
- **KPI 4 - Custo** – avaliação comparativa de custo do adesivo e do corte convencional;
- **KPI 5 - Tempo** - avaliação comparativo do tempo de aplicação e religação do Spiderman e do corte convencional.

Esses KPIs foram utilizados como parâmetro de sucesso do projeto, pois são os principais indicadores de eficiência e custo acompanhados nas distribuidoras do grupo Energisa (BOLETIM COMERCIAL ENERGISA, 2022).

### 3 PROPOSTA

#### 3.1 Prospecção de Tecnologias e Benchmarking

Para solucionar o problema foi desenvolvido um par adesivo-removedor específico para vedação da portinhola da caixa de medição, sendo considerado como uma solução viável para substituir o dispositivo gavião, garantir o corte e promover elevada dificuldade de auto religação pelo cliente. A investigação da literatura técnica e científica não revelou artigos que contivessem propostas de estudo nessa direção específica. Com isso, foram identificados estudos focados nos tipos de adesivos e colas para substratos policarbonato e metais, os quais são produzidas tais caixas. Dentre os mais usados e estudados, destacam-se aqueles à base de resina acrílica, epoxidicas e poliuretanos (QUINI, G. J., MARINUCCI, 2008). Em geral, esses polímeros também fazem parte da composição da grande maioria das colas comerciais.

Para atuar no setor de energia elétrica com um fim específico, foram definidos no escopo do projeto com base na experiência de campo que o material deve reunir um conjunto de propriedades de modo a impedir que o cliente danifique o adesivo e venha a ter acesso ao disjuntor:

- Impedir o acesso do cliente ao disjuntor após o corte de fornecimento;
- Ter a solubilidade com solvente específico conhecido pela Energisa;
- O solvente não deverá ser constituído de materiais comuns em residências;
- Deverá conter marcador químico e ultravioleta, que permita a identificação da autenticidade da cola desenvolvida;
- Deve permitir um corte rápido e de baixo custo, sem deixar resíduos durante sua aplicação e após sua remoção.

Foi realizado um levantamento das colas e adesivos comerciais disponíveis no mercado a fim de avaliar se alguns dos produtos existentes reúne(m) os requisitos requeridos para comporem o dispositivo pretendido. Foram selecionados oito adesivos comerciais, como consta no Quadro 1.

**Quadro 1 - Lista de Produtos comerciais elencados para prospecção de *Benchmarking***

<b>Nome Comercial</b>	<b>Descrição simplificada</b>	<b>Propriedades</b>
<b>Threebond super 1000</b>	Resina a base de Cianoacrilato	Cura Instantânea
<b>Silicone branco</b>	Silicone acético	Cura rápida (entre 3 min e 20) na presença de umidade do ar.
<b>Tekbond instantâneo</b>	Etilcianoacrilato	Cura influenciada por fatores externos podendo atingir longos tempos.
<b>Cola (adesivo) epóxi</b>	Resina epóxi multicomponente.	Em torno de 3 horas e meia.
<b>Adesivo para tubo PVC</b>	Co-polímeros a base de PVC	Cura após a evaporação do solvente orgânico, dependência com a temperatura.
<b>Selante adesivo de PU</b>	Poliuretano monocomponente elastomérico.	Dependente da espessura, 3 mm a cada 24 h.
<b>Veda calha</b>	Polímeros sintético de base aquosa de alto desempenho.	24 h
<b>Adesivo para poliuretano</b>	Adesivo líquido a base de Poliuretano.	15 minutos

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

De forma similar, considerando que uma das condições de contorno da solução é a solubilidade específica em produto que não seja de fácil aquisição pela população, foram elencados os principais solventes comerciais que podem ser utilizados para remoção dos adesivos, sendo eles apresentados no Quadro 2.

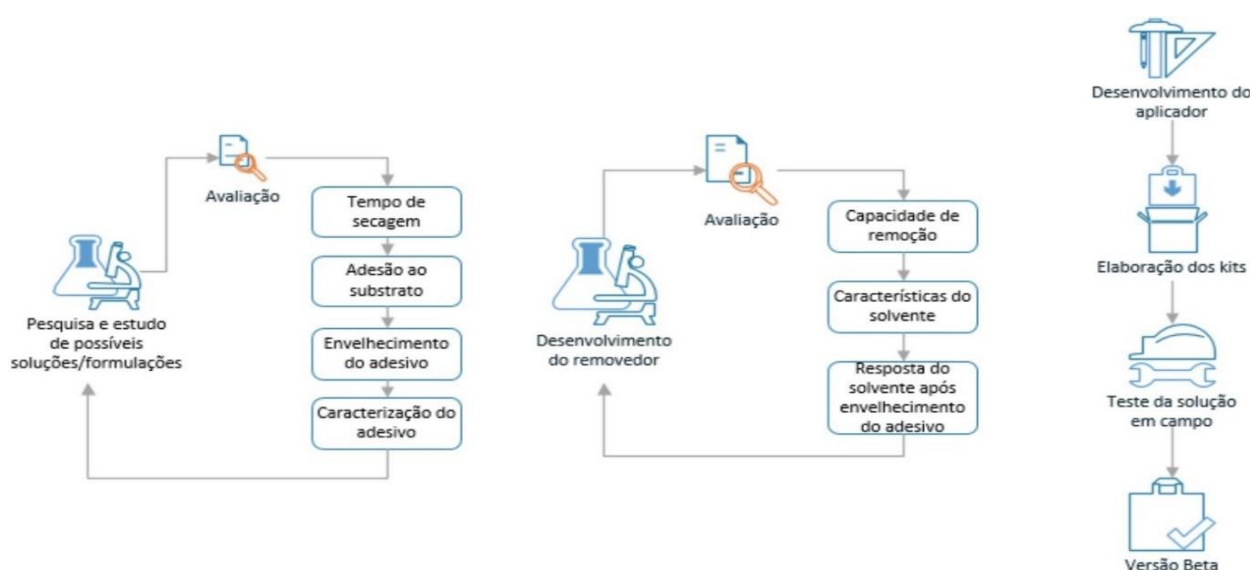
**Quadro 2** - Lista de solventes selecionados adquiridos comercialmente

Solventes					
01	Acetona	09	Acetona aquecida	17	Acetona PA
02	Ácido muriático	10	Água	18	Água aquecida
03	Água oxigenada	11	Aguarrás	19	Água sanitária
04	Álcool etílico 70/99	12	Amônia	20	Coca-Cola
05	Diesel	13	Etanol	21	Gasolina
06	Querosene	14	Removedor de cera	22	Removedor a base de acetato de etila
07	Soda Cáustica	15	Soluções ácidas (limão)	23	Soluções básicas (bicarbonato de sódio)
08	Vinagre	16	Thinner		

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Tendo feito o levantamento de soluções comerciais disponíveis, os solventes comerciais e os solventes controlados potencialmente viáveis para utilização, elaborou-se o fluxograma representando na Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma geral de desenvolvimento do projeto



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Construção do Dispositivo

#### 4.1.1 Aplicação dos Adesivos Comerciais

Os adesivos comerciais foram aplicados em placas de policarbonato, conforme mostrado na Figura 3, para serem avaliados de acordo com o conjunto de pré-requisitos elencados para o dispositivo proposto.

**Figura 3** - Fotografia da placa de policarbonato mostrando a aplicação dos adesivos comerciais testados



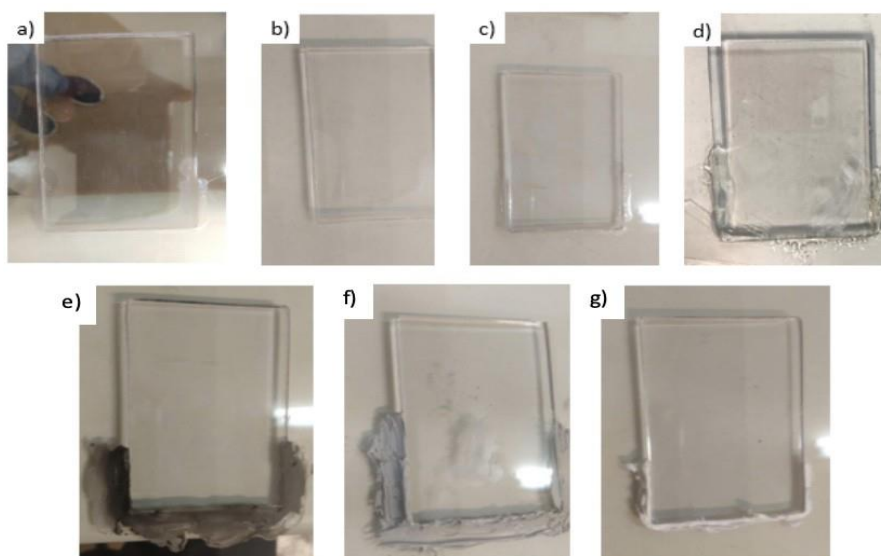
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Os produtos foram avaliados quanto a aderência ao policarbonato, dificuldade na aplicação, tempo de secagem e aspecto visual. Após a aplicação, realizou-se a remoção com solventes comerciais e controlados, observando-se:

- Quantidade de solvente necessário para remoção;
- Tempo necessário para remoção da cola;
- Facilidade/dificuldade na remoção da cola;
- Necessidade de remoção mecânica;
- Aspecto visual da cola/placa após aplicação do solvente.

Alguns adesivos apresentaram tempo de secagem inferior a 1 minuto, solução bastante fluida e transparente, de difícil controle da área de aplicação devido a seu espalhamento na placa de policarbonato, como mostrado na Figura 4 e representados pelas letras a) e b).

**Figura 4** - Fotografias das placas de policarbonato contendo adesivos comerciais transparentes de secagem rápida



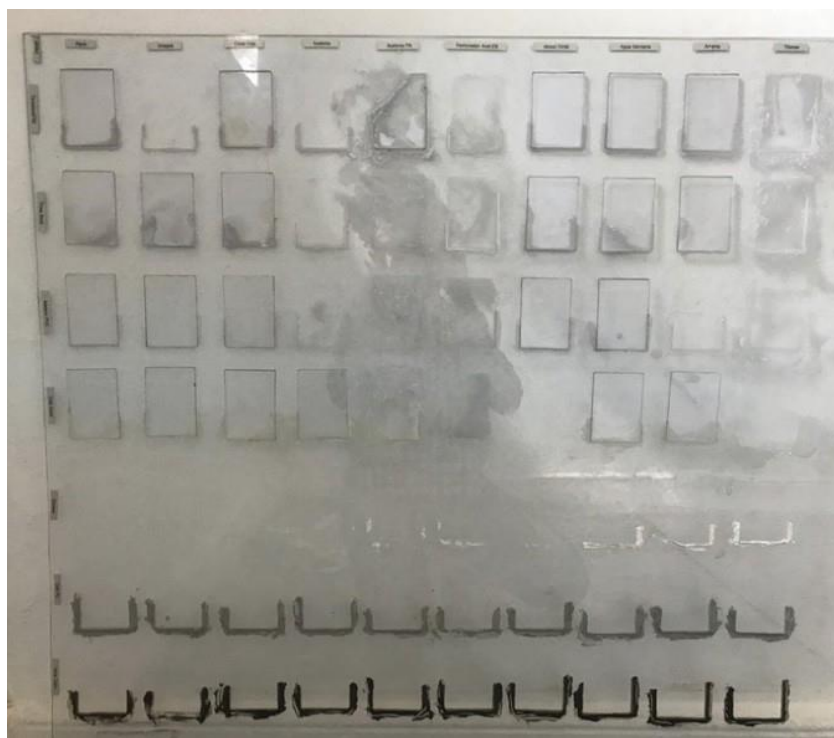
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

O adesivo c) também transparente, apresentou-se melhor nos quesitos aplicação devido ao formato da embalagem proporcionar uma aplicação direcionada, além disso a viscosidade desse produto sendo maior que os anteriores, o controle da aplicação foi mais satisfatório. O adesivo mostrado na Figura 4 d), à base de resina epóxi, apresentou tempo de secagem superior a 10 minutos, maior dificuldade de aplicação por ser bicomponente, maior viscosidade, leve amarelamento e boa adesão ao policarbonato. Os demais adesivos apresentaram aspecto visual classificado como ruim quando comparados com as aplicações anteriores (Figura 4 e), f) e g)). Além disso, exibiram menor adesão ao substrato de policarbonato.

Após a aplicação dos removedores domésticos, todos os adesivos comerciais citados anteriormente foram ativados, o que provocou o descolamento das placas. Conforme indica a Figura 5, as placas foram descoladas e/ou o policarbonato foi danificado, o que inviabiliza o uso dessas colas. Os três últimos adesivos foram

removidos apenas com força mecânica, sem necessidade de aplicação de solvente.

**Figura 5** - Fotografia obtida durante a realização dos testes de remoção dos adesivos comerciais



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

mediante as aplicações dos solventes, verificou-se que tanto a acetona PA quanto o *thinner* danificam a placa de policarbonato. Os solventes atacam a superfície da placa que apresenta amolecimento no local de aplicação, seguido de ressecamento com a evaporação do solvente, deixando a superfície quebradiça e esbranquiçada. Esses dois componentes não podem, portanto, compor, nessas concentrações, a formulação do solvente específico a ser proposto neste estudo.

Com vistas à elaboração da solução removedora eficiente e específica, que não seja de fácil aquisição, exceto para o Grupo Energisa, definiu-se a utilização de produtos controlados pela Polícia Federal e Exército. Buscaram-se solventes controlados que não apresentem toxicidade elevada e nem risco de manuseio ao aplicador, baixo custo e que sejam eficientes na solubilização dos adesivos, de forma a permitir que o operador possa ter acesso ao disjuntor após a aplicação da solução desenvolvida.

#### 4.1.2 Desenvolvimento de Formulações para o Adesivo

Com base nos resultados de aplicação dos adesivos comerciais, interação das formulações com o substrato de policarbonato e a interação das colas e da superfície com os solventes, foram propostas quatro formulações à base de diferentes resinas poliméricas (Figura 6).

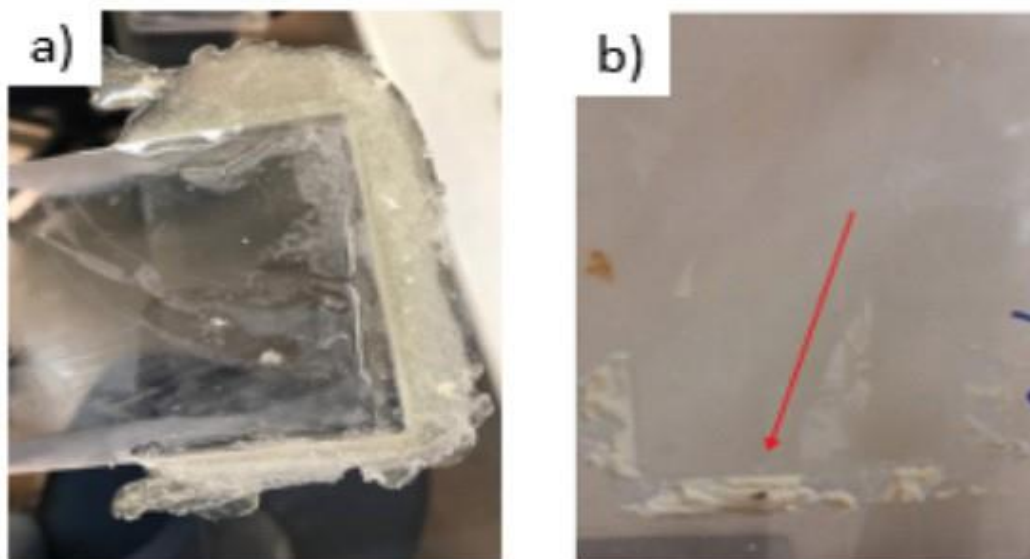
**Figura 6** - Esquema demonstrando as Formulações propostas



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Dentre as formulações 1 a 3, à base de resina de PU, a formulação 2 apresentou melhores resultados. A formulação 1 foi removida pela gasolina com ação mecânica. O material apresenta-se mais macio que as demais formulações, facilitando a ação de objetos perfurantes. A formulação 3 apresentou maior resistência aos solventes, tanto comerciais como controlados, porém, não apresentou boa aderência ao policarbonato sendo possível a remoção por ação mecânica. Mesmo após a aplicação dos solventes, o adesivo se manteve intacto, como mostrado na Figura 7 (a).

**Figura 7** - Registro Fotográfico durante as remoções das formulações 3 e 4



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

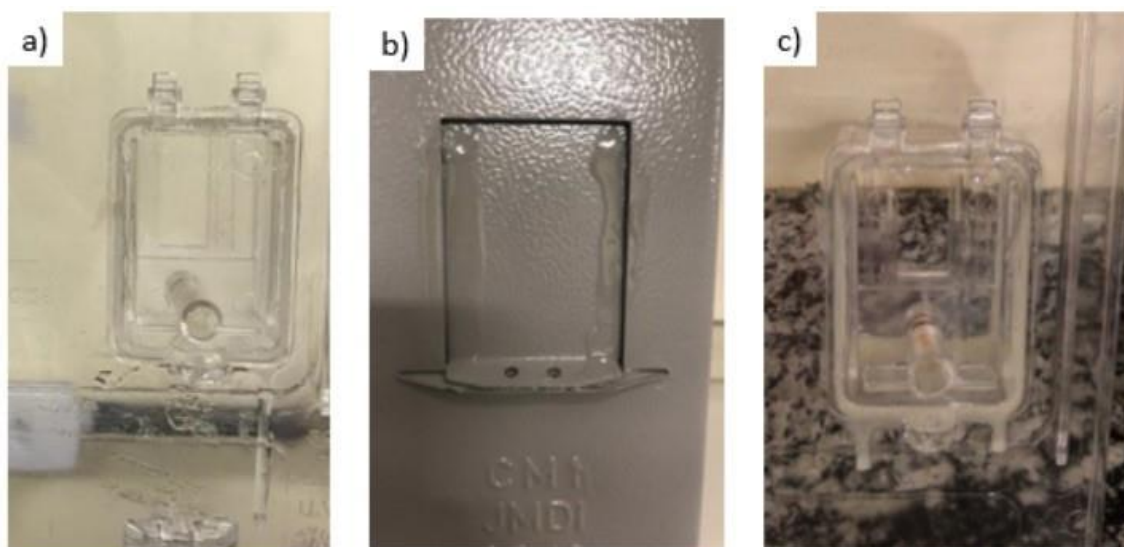
A formulação 4 apresentou formação de espuma (Figura 7 b). Apesar do tempo de secagem inferior a dois minutos, a solução não apresentou resultado satisfatório. A aderência ao policarbonato não foi suficiente sendo possível remoção apenas por ação mecânica. A baixa resistência pode estar associada aos poros formados no material. A formulação 2 apresentou os melhores resultados. A aplicação tem aspecto visual bom, boa aderência e remoção apenas com solvente controlado e ação mecânica.

O solvente controlado utilizado se apresentou muito líquido, propondo-se então, sua apresentação em forma de gel para facilitar a remoção. Além de melhorar a utilização do composto, essa condição de maior viscosidade reduz a taxa de evaporação, podendo-se, portanto, utilizar volumes menores na remoção dos adesivos, melhorando assim, sua aplicabilidade.

#### *4.1.3 Modificações nas Formulações*

Foi proposta a adição de colágeno à formulação com o intuito de reduzir o custo da aplicação, substituindo parte do componente de custo mais elevado na formulação. Medições do tempo de secagem da formulação indicaram que não houve alteração desse parâmetro após adição do colágeno. A inserção desse aditivo na formulação deixa o aspecto visual um pouco mais opaco (Figura 8 a) e b)) devido à coloração branca do colágeno, Figura 8 (c).

**Figura 8** - Aspecto visual da aplicação da formulação a), b) sem colágeno e (c) com colágeno nas caixas de medição.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Outra modificação proposta foi a elaboração de gel do solvente controlado para que o mesmo pudesse ser aplicado de maneira mais fácil, sem escorrer, reduzindo a evaporação e, assim, apresentando ação mais efetiva sobre o adesivo. Foram adicionados agentes espessantes à formulação resultando no removedor específico, conforme Figura 9.

**Figura 9** - Formação de gel do removedor específico.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

#### 4.1.4 Testes de Repetitividade

Procederam-se repetidos testes nas mesmas caixas para que fossem avaliados o aspecto visual após várias aplicações e remoções e a capacidade de adesividade do dispositivo químico e remoção do solvente em experimentos sucessivos. Caixas de policarbonato e metal foram utilizadas e foram aplicadas quatro vezes consecutivas a formulação com colágeno (Figura 10). A adição do componente não altera a possibilidade de reaplicação do adesivo na mesma caixa. Foi possível realizar sucessivas aplicações e remoções. O aspecto visual do equipamento apresentou baixa degradação. Após a quarta remoção, a ação mecânica e do solvente interagindo com a tinta da caixa de metal foi mais perceptível.

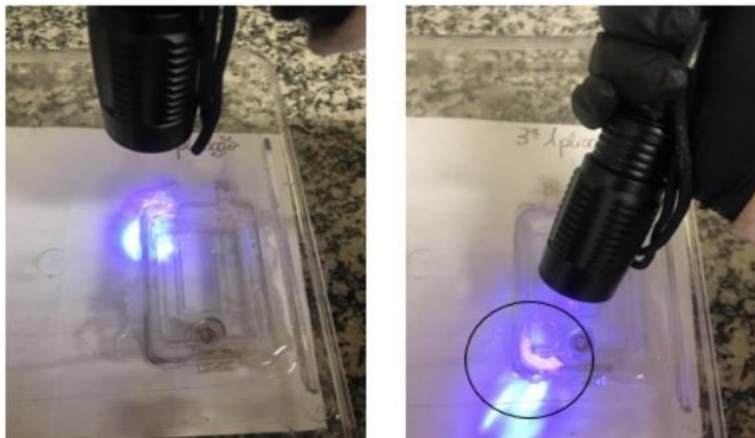
**Figura 10** - Sucessivas aplicações do adesivo na caixa a) de metal, b) de acrílico e remoções na caixa de acrílico c).



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Como já mencionado, o dispositivo químico é composto por um marcador químico para garantir sua autenticidade e evitar fraudes de vedação das caixas. Os testes do dispositivo contendo o aditivo marcador foram realizados. As caixas de acrílico com o dispositivo foram expostas a luz UV e foi possível identificar o brilho proporcionado, conforme mostrado na Figura 11.

**Figura 11** - Aplicação da luz UV no adesivo aditivado aplicado na caixa de acrílico

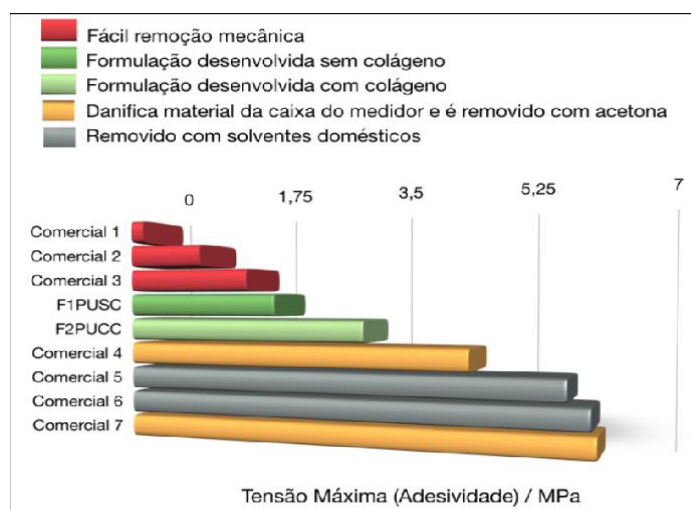


Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

#### 4.1.5 Ensaio de Adesividade

Foram preparados 27 corpos de prova para o teste de adesividade. A metodologia seguida foi da norma ASTM D3163-01 ((ASTM INTERNATIONAL, 2013) e as placas usadas foram de policarbonato com as dimensões média de 90 x 20 x 3,5 mm. As placas foram coladas a 20 mm da borda, obtendo-se um total de 400 mm<sup>2</sup> de área de contato das duas superfícies. Para junção das duas placas foram usados 2 g de cada cola. Os corpos de prova foram levados à máquina de ensaio INSTRON EMIC 23-20, com uma programação de deslocamento vertical de 10 mm/min e com carga de 20 kN. Antes dos ensaios, foram medidas (em triplicata) as dimensões da área aplicada com adesivos/cola sua largura, comprimento e a espessura do filme.

**Figura 12** - Gráfico de tensão máxima obtido para os adesivos no ensaio de adesividade



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A tensão máxima foi calculada a partir dos ensaios mecânicos realizados conforme a norma ASTM D3163-01 e avaliada como a propriedade relacionada com a adesividade produtos avaliados. Analisando-se o gráfico da Figura 12, observa-se que as formulações desenvolvidas apresentaram uma adesividade intermediária quando comparada com os adesivos comerciais. As colas comerciais 1, 2 e 3, são conhecidas e muito utilizadas e já apresentam boa adesividade. Por outro lado, os adesivos comerciais apresentam uma série de desvantagens quanto à aplicação nas caixas de policarbonato, são elas: remoção mecânica com a ação de um objeto perfurante (adesivos comerciais de 1 a 3) ou por meio da aplicação de solventes comerciais como a acetona e gasolina (adesivos comerciais 5 e 6), ou ainda danificam o material da caixa quando em contato (adesivos comerciais 4 e 7).

Comparando-se os resultados para as duas formulações desenvolvidas F1PUSC (sem colágeno) e F2PUCC (com colágeno), constata-se no gráfico da Figura 12, que houve um aumento de 57,4% na máxima tensão após a adição de colágeno à solução. Embora as duas formulações mostraram-se aptas a serem usadas na composição do dispositivo químico, a adição do colágeno está relacionada ao custo final do material, reduzindo o custo inicial em 20%.

#### *4.1.6 Aplicabilidade da Solução*

De forma paralela ao desenvolvimento do adesivo e testes em laboratório, testes de aplicação também estão sendo realizados em campo pelos profissionais que executam a atividade de suspensão de fornecimento e religação de energia elétrica. Esses testes têm como objetivo a identificação de características, fatores e informações que agreguem ao processo de desenvolvimento da formulação dos adesivos. Essas percepções atestam pontos de melhoria, como por exemplo, a forma ideal de aplicação, formato da ferramenta de aplicação e o comportamento do adesivo após aplicação. A Figura 13 apresenta teste de aplicação realizado em laboratório e campo, em uma empresa do Grupo Energisa: a Energisa Nova Friburgo.

**Figura 13** - Testes de aplicação do adesivo em laboratório e campo



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A tecnologia desenvolvida busca contribuir em ganhos de eficiência operacional, segurança e aumento da arrecadação das Distribuidoras. Neste contexto, estimam-se os seguintes ganhos após os testes amostrais realizados em campo:

- Aumento em 27% do quantitativo de cortes individuais em caixas de medição, onde o dispositivo “gavião” não possa ser aplicado;
- Redução em 11% dos clientes com apontamento de auto religação, devido a maior dificuldade do cliente para acesso ao disjuntor;
- Redução do custo da Distribuidora para suspensão de fornecimento, devido a nova modalidade ser realizada somente de forma individual, sem a necessidade de duplas;
- Redução em 20% do tempo médio de execução da atividade de suspensão de fornecimento pelas equipes operacionais.

#### *4.1.7 Desenvolvimento do Aplicador*

Os protótipos para aplicação do material e do solvente do adesivo foram desenvolvidos em alguns modelos e depois do teste de campo serão aprimorados. Alguns modelos foram utilizados com sucesso e um modelo final de aplicador de solvente com segurança aprimorada foi desenvolvido. O modelo ilustrado na Figura 14 e seu refil na Figura 15 e Figura 16 utilização equipe de campo.

**Figura 14** - Aplicador com reservatório



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

**Figura 15 – Refil**



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

**Figura 16 – Utilização equipe de campo**



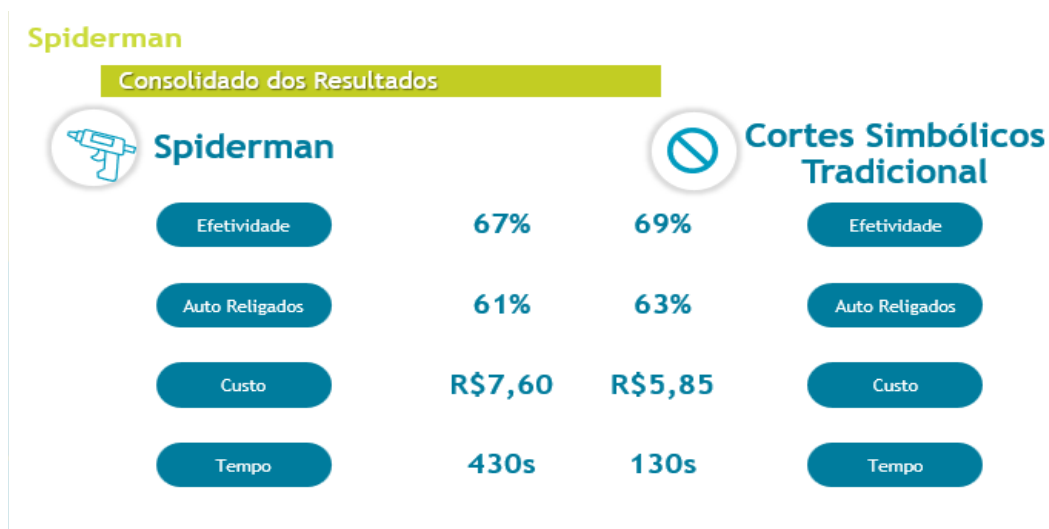
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

## 4.2 Resultados Obtidos através do Uso do Dispositivo

### 4.2.1 Resultados Parciais

Com base nos KPI's definidos para acompanhamento do projeto, conforme mostrado na Figura 17, os resultados apurados para esta etapa em comparação a solução tradicional.

**Figura 17 – Comparativo KPI'S**



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Pontos de atenção que o uso da solução requer:

- Mudança nos contratos das equipes para constar a utilização produtos químicos (ácido Fórmico) nas atividades de corte. O ácido fórmico por ser um produto utilizado na fabricação de drogas é controlado pela Polícia Federal;
- Espaço adequado e isolado para armazenamento e manipulação do ácido fórmico, atualmente o ácido é fornecido em recipiente de vidro de 1,5 litros, sendo necessário a manipulação para distribuição em recipientes menores;
- Cuidado com o descarte adequado dos frascos usados para armazenamento do ácido.
- Busca de melhoria nos KPIs de efetividade de pagamento, custo e tempo de aplicação.

## 5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O projeto apresenta os resultados parciais do desenvolvimento de um dispositivo com marcador químico de baixo custo, elaborado para a realização de corte com impedimento para auto religação em caixas de medição de consumidores de uma distribuidora de energia. Foram avaliadas 9 colas, sendo 7 delas comerciais e outras 2 de formulações desenvolvidas. Quanto às colas comerciais investigadas, apesar de apresentarem boa adesividade, conforme mostrado no ensaio mecânico, não atendem às exigências para atuarem no dispositivo pretendido, uma vez que são solúveis em solventes comerciais.

Dentre as formulações desenvolvidas, duas se destacaram (F1PUSC e F2PUCC) como possíveis soluções para a finalidade em questão. Dentre os 5 principais requisitos necessários para que os dispositivos atuem na vedação das caixas de energia, verificou-se que os adesivos desenvolvidos já cumprem 4, que são: (i) resistência mecânica ao atrito, (ii) aparência discreta, (iii) solubilidade específica em solventes controlados por órgãos competentes e (iv) boa interação com os materiais das caixas.

Com relação ao aplicador, após testes de campo, foi adotado o modelo da Figura 14, sendo utilizado como aplicador e removedor do adesivo, com base nos apontamentos foi a solução com melhor desempenho.

Conclui-se com a discussão, que o escopo inicial do projeto foi atingido, com criação da tecnologia (cola/solvente) de propriedade exclusiva da distribuidora, bem como conjunto inicial de aplicadores. Entretanto, é necessário como ação futura prosseguir com a realização de testes em um maior volume de dados com clientes de regiões diferentes, para auxiliar em uma decisão mais embasada sobre os benefícios do projeto, bem como buscar uma melhoria dos KPI's da efetividade de pagamento/custo e redução do tempo de secagem do adesivo.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. **Associação Brasileira de Normas Técnicas, NR-10**. Disponível em <https://www.normastecnicas.com/nr/nr-10/>. Acesso em 13/04/2024.
- ACENDEBRASIL, Instituto Acende Brasil. **Perdas Comerciais e Inadimplência no Setor Elétrico**, 2017.
- BI ACÕES DE COBRANÇA ENERGISA. **Relatório corporativo**. Energisa, 2022.
- BOLETIM COMERCIAL ENERGISA. **Relatório corporativo**. Energisa, 2022.
- MAIA, M.; AMARAL JUNIOR, E. Metodologia de Otimização Dos Recursos de Ações de Cobranças No Combate a Inadimplência. In: **Anais do XXI Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica**; Santos, SP, 2014.
- QUINI, G. J., MARINUCCI, G. **Avaliação da resistência ao cisalhamento de colagem de substratos de compósitos, de termoplástico e metálico utilizando adesivo uretânico**. 2008. Disponível em: <https://www.ipen.br/biblioteca/2008/cbecimat/13298.pdf>. Acesso em 13/04/2024.
- SILVA, Patrícia K. A. P. Gerenciamento, Controle e Combate à Inadimplência – Desenvolvimento CCS. In: **Anais do XXI Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica**, Santos, SP, 2014.
- SPC BRAZIL. **Inadimplência abre o ano com alta em todas as regiões pesquisadas, mostra indicador do SPC Brasil**. Disponível em: <https://www.spcbrasil.org.br/pesquisas/indice/1182>>. Acesso em: 25 jun. 2024.