

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS - CAMPUS BAURU
DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO
BACHARELADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

NÍCOLAS MELLILO ALVES
RAFAELA ISSA TONON

SOFTWARE PARA DETECÇÃO E TRATAMENTO EM TEMPO REAL
DE VISUAIS POTENCIALMENTE FOTOSSENSÍVEIS PARA
USUÁRIOS COM EPILEPSIA

BAURU
2025

NÍCOLAS MELLILO ALVES
RAFAELA ISSA TONON

**SOFTWARE PARA DETECÇÃO E TRATAMENTO EM TEMPO REAL
DE VISUAIS POTENCIALMENTE FOTOSSENSÍVEIS PARA
USUÁRIOS COM EPILEPSIA**

Trabalho de Conclusão de Curso do Curso
de Bacharelado em Sistemas de Informa-
ção da Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de
Ciências, Campus Bauru.
Orientador: Prof. Dr. Kelton Augusto
Pontara da Costa

BAURU
2025

Alves, Nicolas Mellilo

Software para detecção e tratamento em tempo real de visuais potencialmente fotossensíveis para usuários com epilepsia / Nicolas Mellilo Alves, Rafaela Issa Tonon. - Bauru, 2025

43 f. : il., tabs.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Sistemas de Informação)-Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências, Bauru
Orientador: Kelton Augusto Pontara da Costa

1. Epilepsia fotossensível. 2. Padrões visuais fotossensíveis. 3. Acessibilidade digital. I. Tonon, Rafaela Issa. II. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências. III. Título.

Nícolas Mellilo Alves
Rafaela Issa Tonon

Software para detecção e tratamento em tempo real de visuais potencialmente fotossensíveis para usuários com epilepsia

Trabalho de Conclusão de Curso do Curso
de Bacharelado em Sistemas de Informa-
ção da Universidade Estadual Paulista "Jú-
lio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciên-
cias, Campus Bauru.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Kelton Augusto Pontara da Costa

Orientador

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"
Faculdade de Ciências
Departamento de Computação

Prof. Dr. José Remo Ferreira Brega

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"
Faculdade de Ciências
Departamento de Computação

Profa. Dra. Eliana Marques Zanata

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"
Faculdade de Ciências
Departamento de Educação

Bauru, 01 de Dezembro de 2025.

Aos nossos pais e amigos, dedicamos este trabalho com gratidão.

Agradecimentos

Este trabalho é fruto de uma trajetória compartilhada, repleta de desafios, aprendizados e conquistas que só se tornaram possíveis graças ao apoio e à presença de pessoas que acreditaram em nós ao longo desta jornada. Agradecemos especialmente aos nossos pais e irmãos, que sempre nos nutriram com amor, incentivo e confiança, sustentando-nos ao longo desta aventura.

Aos nossos estimados colegas de curso — Gabriel Bugue, Gabriel Cassola, Guilherme Gonçalves, Guilherme Pandolfi, Luiz Iwamoto, Pedro Smith, Rafaela Uehara e Roberto Prado —, pela troca de conhecimento, experiências, risadas e momentos de alegria que guardaremos com carinho. Estendemos nossa gratidão aos amigos pessoais — Bill, Panda, Thalía, Nicolás, Larissa, Thaís, João Marcelo, João Vitor, Kaio e Anselmo — que, com amizade, apoio e leveza, tornaram nossas vidas mais valiosas ao longo desta caminhada. E, naturalmente, ao Lélío, o gato mais popular do centro-oeste paulista, cuja companhia nos trouxe conforto e alegria nos momentos de dedicação.

Agradecemos à Universidade Estadual Paulista (UNESP) e aos professores, especialmente aos do Departamento de Computação, pelo conhecimento compartilhado e pelo empenho em nossa formação.

Por fim, agradecemos um ao outro, por cada gesto de paciência, cada palavra de incentivo e cada momento de compreensão que tornaram esta etapa não apenas possível, mas especial. Cada desafio foi mais aprazível e cada conquista mais significativa porque pudemos vivê-los juntos.

"Still me – Even after everything."
(LARIAN STUDIOS, 2023)

Resumo

A epilepsia fotossensível afeta aproximadamente 3% das pessoas com epilepsia e pode ser desencadeada por estímulos visuais, como luzes intermitentes ou padrões geométricos de alto contraste, representando um risco significativo durante o uso de computadores e dispositivos eletrônicos. Este trabalho apresenta a especificação e a implementação de um *software* denominado *PoryGuard*, capaz de detectar e mitigar em tempo real conteúdos visuais potencialmente fotossensíveis, utilizando técnicas de processamento de imagens e análise de padrões visuais para identificar estímulos perigosos, censurando a tela durante a exposição a conteúdos indesejados, com um filtro de opacidade configurável sobre a tela inteira, reduzindo a intensidade de conteúdos potencialmente perigosos de forma suave e contínua, garantindo a segurança do usuário. A solução utiliza métodos algorítmicos para uma abordagem eficiente e de baixo custo computacional. O projeto foi validado por meio de testes com vídeos e imagens conhecidamente fotossensíveis, oferecendo uma ferramenta acessível e confiável para reduzir os riscos de crises epiléticas induzidas por estímulos visuais.

Palavras-chave: Epilepsia fotossensível; Detecção em tempo real; Padrões visuais fotossensíveis; Processamento de imagens; Acessibilidade digital.

Abstract

Photosensitive epilepsy affects approximately 3% of people with epilepsy and can be triggered by visual stimuli, such as flashing lights or high-contrast geometric patterns, posing a significant risk during the use of computers and electronic devices. This project presents the specification and implementation of a *software* called *PoryGuard*, capable of detecting and mitigating potentially photosensitive visual content in real time, using image processing techniques and visual pattern analysis to identify hazardous stimuli, censoring the screen during exposure to undesirable content, with a configurable opacity filter over the entire display, reducing the intensity of potentially dangerous content smoothly and continuously, ensuring user safety. The solution uses algorithmic methods for an efficient and low computational cost approach. The project was validated through tests with known photosensitive videos and images, providing an accessible and reliable tool to reduce the risks of epileptic seizures induced by visual stimuli.

Keywords: Photosensitive epilepsy; Real-time detection; Photosensitive visual patterns; Image processing; Digital accessibility.

Lista de figuras

Figura 1 – Diagrama de Módulos do Sistema	25
Figura 2 – Diagrama de Classes	27
Figura 3 – Diagrama de Caso de Uso	28
Figura 4 – Diagrama de Atividades	29
Figura 5 – Gráfico do Monitoramento de Recursos de Sistema (CPU e Memória RAM)	39
Figura 6 – Gráfico do Consumo Total de CPU (%) ao Longo do Tempo (minutos)	39

Lista de tabelas

Tabela 1 – Métricas Estatísticas de Desempenho dos Módulos Internos do <i>Pory-Guard</i>	38
--	----

Lista de abreviaturas e siglas

PSE	<i>Photosensitive Epilepsy</i>
WCAG	<i>Web Content Accessibility Guidelines</i>
W3C	<i>World Wide Web Consortium</i>
EEG	<i>Electroencephalogram</i>
IPS	<i>Intermittent Photic Stimulation</i>
PPR	<i>Photoparoxysmal Response</i>
SDR	<i>Standard Dynamic Range</i>

Sumário

1	INTRODUÇÃO	14
2	DETALHAMENTO DO PROBLEMA	16
3	SOLUÇÕES EXISTENTES E OBJETIVOS	19
3.1	Soluções Atuais	19
3.2	Objetivos	21
4	ESPECIFICAÇÃO	23
4.1	Funcionalidades do Sistema	23
4.2	Fundamentação Clínica para Ajuste de Parâmetros	24
4.3	Estrutura Geral do Sistema	24
4.3.1	Diagrama de Classes	26
4.3.2	Diagrama de Caso de Uso	28
4.3.3	Diagrama de Atividades	28
5	IMPLEMENTAÇÃO	30
5.1	Metodologia e Funcionamento Técnico do Sistema	30
5.1.1	Aquisição de <i>frames</i> (captura de vídeo)	30
5.1.2	Extração e normalização de grandezas das capturas	30
5.1.3	Amostragem espacial	31
5.1.4	Critério de detecção de transições perigosas	32
5.1.5	Conversão de <i>thresholds</i> entre unidades de referência e porcentagem	32
5.1.6	Área de cobertura	33
5.1.7	Censura	33
5.1.8	Observações sobre parâmetros e conformidade	34
5.2	Tecnologias utilizadas	34
6	TESTES E VALIDAÇÃO	36
6.1	Ambiente de Testes	36
6.1.1	Especificações de <i>Hardware</i>	36
6.1.2	Configurações do <i>Software</i>	36
6.1.3	Conteúdo Utilizado na Validação	37
6.2	Metodologia de Coleta	37
6.3	Resultados Obtidos	38
6.4	Conclusão dos Testes e Validação	40

7	CONCLUSÃO	41
	REFERÊNCIAS	42

1 Introdução

A epilepsia fotossensível é uma condição neurológica que afeta aproximadamente uma em cada quatro mil pessoas, sendo mais prevalente entre adolescentes e jovens adultos (HARDING; HARDING, 2010). Indivíduos com essa condição podem sofrer convulsões ao serem expostos a certos estímulos visuais, como *flashes* de luz, padrões repetitivos ou cores altamente saturadas, como o vermelho intenso. Com o crescimento do consumo de conteúdo digital em plataformas de mídia social, jogos eletrônicos e realidade virtual, o risco de exposição a esses estímulos aumentou significativamente (SOUTH, 2022). Entretanto, ainda há poucas ferramentas eficientes para detectar e mitigar esses riscos em tempo real.

A exposição a conteúdos visuais perigosos pode acarretar consequências graves, desde crises convulsivas até emergências médicas, além de impactos psicológicos significativos. Usuários com epilepsia fotossensível frequentemente evitam navegar na internet ou consumir determinados tipos de conteúdo digital devido ao receio de exposição acidental a estímulos desencadeadores.

Este trabalho traz o desenvolvimento de um *software* para detecção em tempo real de conteúdos potencialmente fotossensíveis, utilizando processamento de imagens e análise de padrões visuais. O sistema será projetado com base em diretrizes de acessibilidade, como as *Web Content Accessibility Guidelines* (WCAG) 2.2, um conjunto de normas desenvolvidas pelo *World Wide Web Consortium* (W3C) para tornar o conteúdo digital mais acessível a pessoas com deficiência, incluindo diretrizes específicas para evitar riscos a indivíduos com epilepsia fotossensível. Tais diretrizes analisam padrões internacionais sobre exposição a estímulos fotossensíveis e sugerem atualizações para melhor proteção dos usuários.

A implementação foi otimizada para garantir baixa latência e alta eficiência, possibilitando a análise da tela do usuário em tempo real. Entre os principais desafios do projeto, destacam-se a necessidade de processamento eficiente em vídeos de alta resolução e com alta taxa de quadros, além da redução de falsos positivos, que poderiam comprometer a experiência do usuário, garantindo sua ampla aplicabilidade.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: o Capítulo 1 apresenta a contextualização do tema, os fundamentos da pesquisa e a motivação que orientou o desenvolvimento da solução. O Capítulo 2 detalha o problema, discutindo seus impactos e os requisitos que fundamentam a solução adotada. O Capítulo 3 examina as soluções existentes, suas limitações e estabelece os objetivos específicos do projeto. O Capítulo 4 descreve a especificação do sistema, abrangendo suas funcionalidades,

a fundamentação clínica utilizada, a estrutura geral da arquitetura e os módulos estruturados, incluindo os diagramas de classes, atividades e casos de uso. O Capítulo 5 apresenta a implementação, contemplando a metodologia e o funcionamento técnico do sistema, bem como as tecnologias empregadas. O Capítulo 6 reúne os procedimentos, testes e critérios de validação realizados. Por fim, o Capítulo 7 apresenta as conclusões do trabalho.

2 Detalhamento do Problema

A epilepsia fotossensível é uma afecção neurológica caracterizada pela ocorrência de crises convulsivas desencadeadas por estímulos visuais específicos, como *flashes* de luz, padrões geométricos de alto contraste e sequências de vídeo com mudanças abruptas de cor e brilho. Essa condição afeta aproximadamente uma em cada quatro mil pessoas. O risco de uma crise está associado à frequência dos *flashes*, ao tamanho da área afetada na tela e ao contraste das imagens exibidas, fatores que podem aumentar a hiperatividade neuronal no córtex visual e causar crises epiléticas (JORDAN; VANDERHEIDEN, 2024).

Episódios históricos demonstram os riscos associados a esses conteúdos: em 1993, um comercial da marca *Golden Wonder Pot Noodles* resultou em crises epiléticas em três telespectadores no Reino Unido; em 1997, o episódio 25 do anime *YAT Anshin! Uchu Ryoko* levou quatro crianças a sofrerem convulsões no Japão; no mesmo ano, o episódio 38 de *Pokémon* causou 685 crises epiléticas diretas em espectadores japoneses, tornando-se um dos casos mais emblemáticos de *Photosensitive Epilepsy* (PSE) induzida por imagens; já em 2012, um vídeo promocional das Olimpíadas de Londres foi responsabilizado por desencadear crises em pelo menos quatro pessoas (CARREIRA et al., 2015).

Esses eventos impulsionaram a formulação de diretrizes nacionais no Reino Unido e no Japão, posteriormente estendidas internacionalmente pela *International Telecommunication Union* (ITU) na recomendação ITU-R BT-1702, com o objetivo de minimizar os riscos de crises provocadas por estímulos visuais em transmissões audiovisuais. Para definir esses limites de segurança para a exposição a estímulos visuais, foram estabelecidas diretrizes com base em pesquisas clínicas. As restrições incluem a proibição de *flashes* com frequência superior a 3 Hz, de mudanças bruscas de luminância acima de 20 cd/m², de padrões geométricos ocupando mais de um quarto da tela e do uso de luz vermelha saturada piscante, que se mostrou especialmente perigosa para indivíduos fotossensíveis (WILKINS; EMMETT; HARDING, 2005).

Com o avanço das tecnologias digitais e o crescimento do consumo de conteúdo audiovisual em redes sociais, plataformas de *streaming* e *videogames*, a exposição a esses estímulos tem se tornado cada vez mais frequente. No entanto, a regulamentação para a segurança de imagens e vídeos quanto ao risco de PSE ainda é limitada. Diretrizes como as WCAG 2.2, propostas pelo W3C, estabelecem padrões para acessibilidade digital, incluindo recomendações para evitar conteúdos potencialmente prejudiciais a pessoas com epilepsia fotossensível. Essas diretrizes abordam diretamente o risco de

estímulos visuais perigosos por meio da Diretriz 2.3 "Convulsões e Reações Físicas", que visa evitar o *design* de conteúdos capazes de provocar convulsões ou reações físicas adversas.

Entre os critérios mais relevantes está o Critério de Sucesso 2.3.1 "Três *flashes* ou Abaixo do Limite", que determina que páginas da web não devem conter qualquer elemento que pisque mais de três vezes por segundo, a menos que os *flashes* estejam abaixo dos limites gerais e específicos para *flashes* vermelhos. O Critério de Sucesso 2.3.2 "Três *flashes*", que reforça essa orientação ao proibir qualquer conteúdo com mais de três *flashes* por segundo, independentemente de limiares. Adicionalmente, o Critério de Sucesso 2.3.3 "Animação de Interações", que recomenda que animações desencadeadas por interações do usuário possam ser desativadas, exceto quando forem essenciais para a funcionalidade ou a informação (WORLD WIDE WEB CONSORTIUM, 2018). Entretanto, muitos desses padrões não são amplamente aplicados, resultando em uma carência de regulamentações eficazes para a orientação de conteúdos exibidos *online*.

A norma internacional ISO 9241-391:2016 também contribui significativamente para a discussão sobre segurança visual. Ela define requisitos ergonômicos para a apresentação de imagens em monitores eletrônicos, com foco na prevenção de desconforto visual, fadiga ocular e reações adversas, como crises epiléticas induzidas por luzes e padrões visuais. Embora não trate exclusivamente da epilepsia fotossensível, a norma aborda elementos críticos como frequência de brilho, variações rápidas de luminância e características de movimento, todos reconhecidos como fatores de risco para indivíduos fotossensíveis (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2016). Assim como as WCAG 2.2, essa norma enfatiza a necessidade de considerar limites seguros na apresentação de conteúdos visuais, ainda que sua aplicação prática em ambientes digitais interativos ainda seja restrita a contextos específicos de *hardware* e *design* industrial.

No Brasil, baseada na WCAG 2.2, a regulamentação voltada para a acessibilidade digital ainda está em processo de evolução, mas já conta com iniciativas que buscam minimizar os riscos para indivíduos com epilepsia fotossensível. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da norma NBR 17225:2025 – "Acessibilidade em conteúdo e aplicações web", estabelece diretrizes específicas para garantir que conteúdos audiovisuais online sejam seguros e acessíveis para pessoas com deficiência, incluindo aquelas com epilepsia fotossensível. A norma recomenda que existam meios de operação visual, fornecendo pelo menos um modo de operação que minimize o potencial de desencadear crises de epilepsia fotossensível, como a limitação da área e do número de *flashes* por segundo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2025). Apesar dessa iniciativa, a aplicação da norma ainda

enfrenta desafios, pois não há fiscalização rigorosa nem mecanismos automáticos de validação que assegurem o cumprimento das diretrizes pelas plataformas digitais e pelos desenvolvedores de conteúdo.

A exposição involuntária a conteúdos visuais perigosos pode gerar consequências graves, tanto físicas quanto psicológicas. Crises epiléticas desencadeadas por esses estímulos podem resultar em quedas, lesões, entre outras situações de emergência médica. E também, há um impacto significativo na qualidade de vida dos indivíduos afetados, que frequentemente evitam interações online por medo de exposição acidental a conteúdos que possam desencadear crises (HARDING; HARDING, 2010). Esse problema também se reflete na esfera da cibersegurança, visto que ataques maliciosos utilizando vídeos e imagens piscantes já foram documentados. Um dos casos mais emblemáticos ocorreu em 2008, quando usuários mal-intencionados publicaram GIFs piscantes em fóruns da *Epilepsy Foundation* com o intuito de induzir crises em pessoas vulneráveis. Outros ataques semelhantes foram registrados em redes sociais, como o X (antigo Twitter), em 2019 e 2020 (SOUTH, 2022).

Além dos impactos na saúde, a PSE também possui repercussões econômicas e sociais. A falta de acessibilidade digital impede a participação plena de indivíduos fotossensíveis no ambiente digital, limitando seu acesso a redes sociais, plataformas educacionais e ambientes de trabalho online. Empresas e instituições que não adotam diretrizes de acessibilidade correm o risco de enfrentar implicações legais e danos à reputação, uma vez que normas como a WCAG 2.2 e outras regulamentações internacionais de acessibilidade estão sendo cada vez mais exigidas por governos e organizações (JORDAN; VANDERHEIDEN, 2024). Concomitantemente, o desenvolvimento de tecnologias voltadas para a detecção de padrões fotossensíveis pode reduzir custos com suporte médico emergencial, ações judiciais e afastamento do trabalho ou da escola por parte de indivíduos afetados.

Diante desse cenário, a implementação de um *software* capaz de detectar e mitigar conteúdos potencialmente fotossensíveis em tempo real apresenta-se como uma solução necessária.

3 Soluções Existentes e Objetivos

A detecção de conteúdos potencialmente perigosos para pessoas com epilepsia fotossensível tem sido objeto de estudo em diferentes abordagens, tanto acadêmicas quanto comerciais. Algumas ferramentas foram desenvolvidas para identificar e mitigar o risco de crises induzidas por *flashes*, padrões geométricos e outras condições visuais. Entretanto, cada uma dessas soluções apresenta limitações, seja na precisão da detecção, na integração com sistemas modernos ou na acessibilidade para usuários comuns.

3.1 Soluções Atuais

Dentre as soluções existentes, destacam-se algumas ferramentas, dispositivos e propostas acadêmicas mais recentes voltadas à automação e eficiência no processo de detecção, projetados para reduzir os riscos de exposição a conteúdos visuais perigosos:

- *The Harding Flash and Pattern Analyzer* (HardingFPA): Este *software* foi um dos primeiros a oferecer uma metodologia automática para identificar padrões visuais que podem causar crises epiléticas. É considerado o padrão ouro para certificação de segurança visual em mídias televisivas, adotado por emissoras britânicas desde a década de 1990, portanto se trata de uma ferramenta comercializada para análises de transmissões televisivas e *video-games*. Ele se baseia em diretrizes internacionais, como as da ITU-R BT-1702, emitida pela União Internacional de Telecomunicações. Essa diretriz estabelece critérios objetivos para a identificação de riscos visuais capazes de provocar crises epiléticas em indivíduos fotossensíveis. Entre os parâmetros definidos estão a limitação de *flashes* a no máximo 3 Hz, a restrição de alterações bruscas de luminância acima de 20 cd/m², o controle de áreas que ocupam mais de 25% da tela durante variações rápidas e a proibição do uso de luz vermelha saturada intermitente. Esses critérios foram incorporados em diversos sistemas de análise, sendo considerados padrão internacional de segurança em transmissões televisivas e produções audiovisuais (INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION, 2018). E é amplamente utilizado por emissoras de televisão e produtores de conteúdo para verificar a segurança de materiais audiovisuais antes da transmissão. No entanto, o HardingFPA é limitado a análises offline, não sendo aplicável a fluxos de vídeo ao vivo ou interações em tempo real;
- *Photosensitive Epilepsy Analysis Tool* (PEAT): Desenvolvido pelo *Trace Research*

& *Development Center*, representa uma alternativa gratuita e de código aberto, este *software* é projetado para auxiliar no teste de conteúdo digital de acordo com diretrizes de acessibilidade, como as WCAG 2.2. Ele analisa vídeos e animações para detectar padrões perigosos. No entanto, assim como o HardingFPA, o PEAT não opera em tempo real, o que define a inoperabilidade para aplicações dinâmicas como jogos eletrônicos, transmissões ao vivo e conteúdos da *internet*;

- *FLICKER - Chrome Extension*: Esta extensão foi desenvolvida para navegadores e tem como objetivo filtrar conteúdos perigosos ao identificar *flashes* e padrões que podem desencadear crises, desenvolvida como uma solução prática e acessível para bloquear conteúdos potencialmente perigosos em plataformas como YouTube e redes sociais. A ferramenta monitora dinamicamente os elementos de mídia presentes nas páginas acessadas e utiliza uma abordagem preditiva para interromper a execução de vídeos que contenham padrões visuais perigosos. Embora represente um avanço na acessibilidade digital, sua atuação se restringe a conteúdo *web* e depende da plataforma Chrome, limitando sua aplicação em outras mídias e dispositivos (KOTHARI; SRIVASTAVA, 2021);
- *EpilepSee Glasses*: Dispositivo vestível que emprega sensores para detectar padrões visuais potencialmente perigosos e alertar os usuários. Embora promissores em ambientes controlados, esses dispositivos ainda enfrentam desafios quanto à eficácia em situações de exposição imprevisível, ao alto custo de implementação e aplicabilidade em larga escala (CROOKS et al., 2024);
- *Automatic Detection of Flashing Video Content*: Uma abordagem acadêmica de uma solução algorítmica que propõe detectar automaticamente conteúdos visuais prejudiciais, em conformidade com a recomendação ITU-R BT. 1702, aplicável tanto a transmissões televisivas quanto à *internet*. Os métodos utilizam métricas baseadas na variação de luminância, frequência de quadros e, inclusive, a detecção de transições de vermelho saturado para detectar possíveis gatilhos visuais. Os resultados foram promissores quanto à precisão, destacando a eficiência computacional, e permitindo a implementação em tempo real, porém técnicas de mitigação ou bloqueio não foram consideradas (CARREIRA et al., 2015);
- *Photosensitive Epilepsy Flash Pattern Detection Algorithm*: Proposta acadêmica que também implementa um algoritmo de detecção de *flashes* com base no cálculo de luminância relativa e brilho percebido para aproximação de luminância das cores no formato RGB em quadros sucessivos. A solução destaca a importância de aproximar luminância com correção gama e modelos perceptuais, garantindo maior fidelidade ao comportamento visual humano. Os experimentos realizados demonstraram boa capacidade de identificar transições perigosas,

ainda que o método opere em regime *offline* e dependa do pré-processamento de vídeos quadro a quadro, havendo necessidade de *hardware* com alto poder computacional para vídeos longos e de alta resolução, o que limita seu uso em contextos de interação imediata ou transmissão contínua (NYLUND, 2020); e

- *Parallel Scheme for Real-Time Detection of Photosensitive Seizures*: Modelo que apresenta uma arquitetura paralela/em *pipeline* para detecção em tempo real de padrões visuais capazes de induzir crises. Ou seja, a solução consiste em um esquema computacional projetado para ser implementado em *hardware* dedicado, como sistemas *multicore* e plataformas embarcadas. O sistema emprega janelas deslizantes de quadros e análise local por regiões equivalentes a 10 graus do campo visual, verificando tanto *flashes* de luminância quanto *flashes* de vermelho saturado, em conformidade com diretrizes internacionais. A implementação, baseada em processamento *multicore*, demonstrou eficiência superior a ferramentas *offline* como o PEAT, permitindo identificar e mascarar trechos perigosos durante a execução do vídeo, mostrando potencial para aplicações embarcadas e cenários de transmissão contínua (ALZUBAIDI; OTOOM; AL-TAMIMI, 2016).

A análise crítica dessas soluções evidencia avanços relevantes, mas também importantes lacunas. Muitas das ferramentas de detecção e tratamento existentes, como o FPA e o PEAT, foram projetadas para análise de conteúdo pré-produzido, sem capacidade de atuação em tempo real, o que limita sua aplicação em contextos dinâmicos. Por outro lado, soluções baseadas em navegador ou dispositivos vestíveis ainda apresentam dificuldades relacionadas à generalização e à acessibilidade financeira. Bem como, soluções algorítmicas carecem de implementação da mitigação dos estímulos e oferecem apenas a detecção dos mesmos.

3.2 Objetivos

O sistema descrito neste trabalho visa superar as limitações das soluções existentes ao oferecer uma abordagem inovadora e acessível. Sendo assim, o projeto buscou superar essas limitações por meio do desenvolvimento de um *software* de detecção e tratamento em tempo real de padrões visuais perigosos diretamente na tela do usuário, identificando estímulos potencialmente fotossensíveis, como *flashes* rápidos, mudanças bruscas de luminosidade, incidência de vermelho saturado intermitente e padrões geométricos de alto contraste. Diferente de ferramentas que realizam análises prévias e não dinâmicas sobre vídeos, esta solução é capaz de monitorar continuamente o conteúdo exibido no dispositivo, identificando e bloqueando potenciais gatilhos visuais. Para isso, foram empregadas técnicas de processamento de imagem e vídeo com baixa latência, aliadas a um modelo baseado nos critérios das diretrizes internacionais,

como as da ITU-R BT.1702 e da WCAG 2.2, além da recente norma brasileira ABNT NBR 17225:2025.

Assim, o diferencial do sistema está na combinação entre acessibilidade, atuação em tempo real e dinamismo de uso, permitindo que a detecção e a neutralização ocorram diretamente durante a navegação ou execução de qualquer aplicação. Dessa forma, busca-se preencher uma lacuna ainda presente nas soluções existentes, promovendo maior segurança e inclusão digital para pessoas com epilepsia fotossensível.

4 Especificação

Como mencionado anteriormente, o projeto compreende o desenvolvimento de um *software* voltado à proteção de usuários com epilepsia fotossensível, por meio da identificação e proteção, em tempo real, de estímulos visuais perigosos exibidos em telas de computadores, atualmente naqueles que operam com o sistema operacional *Windows*.

O sistema, nomeado *PoryGuard*, funciona como uma aplicação residente que monitora continuamente a atividade gráfica, analisando a ocorrência de *flashes*, padrões de alta intensidade luminosa, áreas amplas com estímulos sincronizados e variações rápidas de cor, especialmente vermelho saturado, que enquadram elementos reconhecidamente associados à indução de crises convulsivas nesses indivíduos.

4.1 Funcionalidades do Sistema

De maneira objetiva, as funcionalidades do sistema *PoryGuard* incluem:

- **Configuração e ativação:** O sistema conta com uma interface gráfica simplificada e intuitiva, na qual todas as interações são centralizadas em uma única tela. Nela, o usuário pode ajustar as variáveis de risco conforme suas preferências ou laudo médico, contando com o salvamento automático das configurações para garantir sua persistência entre sessões. Também é possível restaurar os valores para o padrão recomendado pelas diretrizes internacionais, ativar o sistema manualmente ou configurar sua inicialização automática junto ao sistema operacional *Windows*. O *PoryGuard* pode permanecer em execução em segundo plano, acessível pela bandeja do sistema, sem a necessidade de manter a janela principal aberta. Além disso, todos os controles e opções da interface apresentam informações claras e descritivas, facilitando o uso da ferramenta, mesmo por usuários com pouca familiaridade técnica;
- **Variáveis configuráveis:** Abrangem os parâmetros diretamente relacionados à identificação dos estímulos visuais potencialmente nocivos. Esses ajustes permitem personalizar o comportamento do sistema conforme o perfil e a sensibilidade de cada usuário. Sendo essas variáveis descritas a seguir:
 - intervalo mínimo e máximo de *flashes* por segundo;
 - variação da intensidade do vermelho crítico em um *pixel* para considerar um *flash*;

- variação da intensidade luminosa para considerar um *flash*, analisando:
 - * média da tela; e
 - * de um *pixel*.
 - definição do número de subdivisões de quadrantes de monitoramento de tela; e
 - opacidade do filtro de censura.
- **Monitoramento em tempo real:** O sistema captura os estados de um *pixel* por quadrante de monitoramento da tela no intervalo de trinta vezes por segundo; e
 - **Análise e intervenção:** Quando padrões visuais perigosos são detectados, o sistema aplica imediatamente um filtro de opacidade sobre toda a tela, conforme o nível definido pelo usuário, reduzindo a intensidade do estímulo de forma suave e quase instantânea, com tempo de reação inferior a um segundo.

4.2 Fundamentação Clínica para Ajuste de Parâmetros

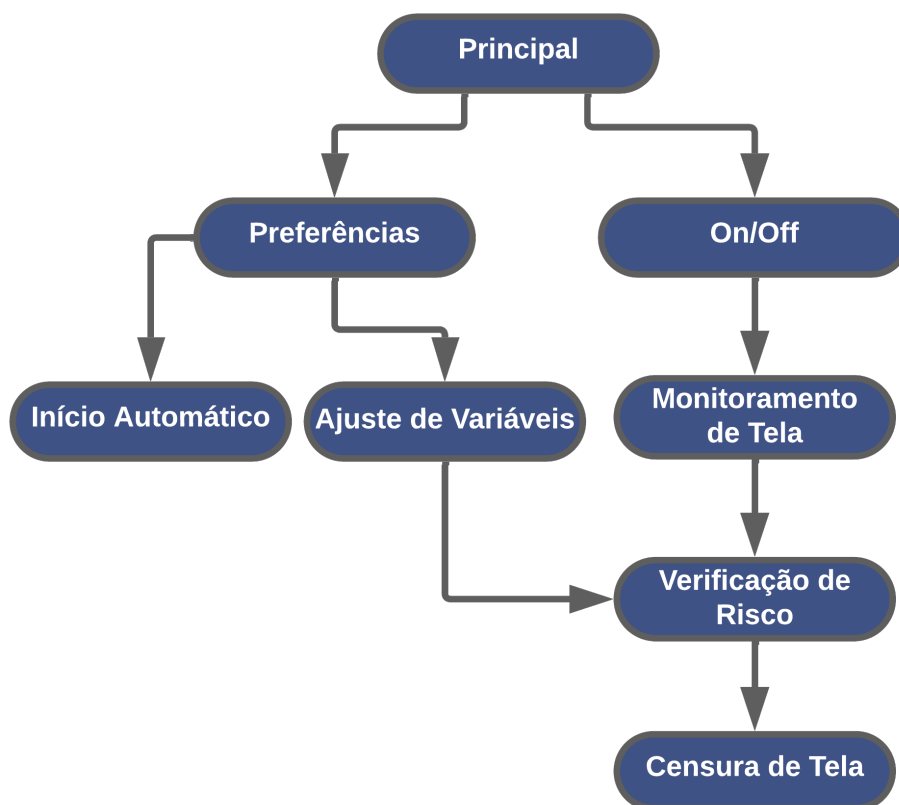
A determinação de métricas de risco visuais possui base clínica consolidada, descrita de forma consistente na literatura que fundamentou o desenvolvimento deste projeto. A sensibilidade individual a estímulos fotossensíveis é avaliada por meio de eletroencefalograma (EEG) associado à estimulação fótica intermitente (IPS), na qual o paciente é exposto a *flashes* em diferentes frequências, intensidades e cores. A presença de uma resposta fotoparoxística (PPR) caracteriza a fotossensibilidade e permite identificar faixas específicas de estímulos capazes de provocar alterações neurológicas.

Embora o laudo não forneça diretamente valores numéricos utilizáveis pelo *software*, ele indica padrões críticos, como suscetibilidade a determinadas frequências, contrastes ou cores, que podem justificar a personalização das variáveis configuráveis do *PoryGuard*. De tal modo que, o sistema permite ajustar parâmetros de forma mais restritiva ou mais permissiva em relação aos limites recomendados internacionalmente e refletindo o perfil clínico de cada usuário.

4.3 Estrutura Geral do Sistema

O projeto foi organizado em módulos funcionais interdependentes, cada um responsável por um aspecto específico. O diagrama de módulos ou blocos, que representa a organização lógica do sistema proposto, é demonstrado pela Figura 1.

Figura 1 – Diagrama de Módulos do Sistema



Fonte: Elaborado pelos autores.

A interface principal do *software* é composta por uma única tela funcional, que integra todas as operações essenciais, formando o módulo Principal. A organização lógica do sistema se estrutura a partir do mesmo, no qual o usuário pode ativar ou desativar o sistema manualmente (módulo *On/Off*), acessar as configurações de variáveis (módulo Ajuste de Variáveis) e optar pela configuração de início automático (Início Automático), ambas configurações armazenadas com a funcionalidade de configuração persistente (módulo de Preferências).

O módulo de Preferências é responsável por permitir que o usuário ajuste parâmetros de risco de acordo com seu laudo clínico ou preferências individuais, os quais são armazenados no módulo de Ajuste de Variáveis. Essas informações são salvas automaticamente em um arquivo de configuração persistente, acessado durante a execução do *software*.

O uso contínuo do sistema é essencial para garantir a proteção do usuário, motivo pelo qual foi implementada a funcionalidade de início automático junto ao carregamento do sistema operacional. Essa configuração, definida pelo próprio usuário, é armazenada localmente em um arquivo específico de preferências.

O controle geral do sistema é gerenciado pelo módulo *On/Off*, que permite ativar ou desativar o funcionamento do *software* a qualquer momento. Esse módulo também comunica ao monitoramento de tela o estado atual do sistema, evitando o consumo desnecessário de recursos computacionais quando estiver inativo.

No núcleo funcional, o módulo de Monitoramento de Tela atua como sensor primário, capturando em tempo real o estado dos *pixels* exibidos no monitor, com frequência de até 30 quadros por segundo, garantindo cobertura para estímulos visuais de alta velocidade. Os dados capturados são armazenados temporariamente em variáveis dinâmicas com janela de um segundo, permitindo análise contínua do conteúdo exibido.

Em sequência, o módulo de Verificação de Risco processa essas informações em tempo real, utilizando os parâmetros definidos pelo usuário, esse módulo aplica algoritmos de detecção e análise. Quando um padrão visual potencialmente prejudicial é identificado, o sistema aciona o módulo de Censura de Tela, que aplica um filtro preto de opacidade ajustável sobre toda a tela, reduzindo a intensidade do estímulo de forma suave e imediata, com transição entre o uso normal e a ação do sistema fluida, preservando o conforto e a continuidade da experiência do usuário.

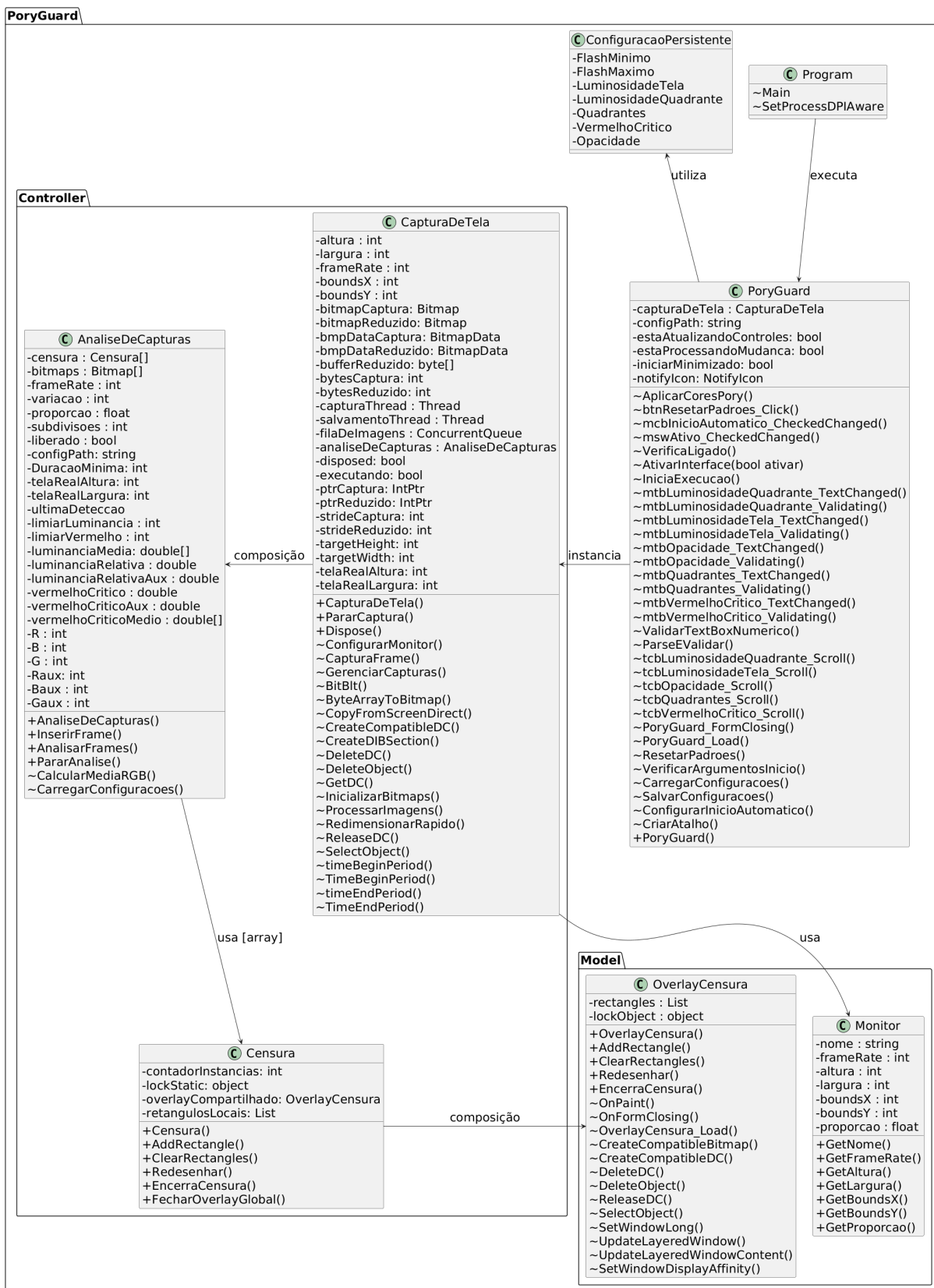
4.3.1 Diagrama de Classes

O diagrama de classes a seguir, pela Figura 2, representa a estrutura lógica e modular do sistema *PoryGuard*, refletindo a organização do projeto segundo o padrão arquitetural MVC (*Model–View–Controller*). A separação clara entre os componentes facilitou o desenvolvimento, manutenção e testes unitários. A representação permite visualizar de forma clara e objetiva como as responsabilidades foram distribuídas entre os componentes, destacando a lógica de funcionamento do *software*.

No pacote *PoryGuard.Model* encontram-se as classes responsáveis pela aquisição das informações do monitor e pela aplicação do filtro de censura, representando os elementos estruturais da implementação. Já o pacote *PoryGuard.Controller*, reúne os componentes de controle responsáveis por capturar *frames*, interpretar os quadros capturados, aplicar os parâmetros configurados pelo usuário e acionar a intervenção quando padrões visuais perigosos são detectados. Por fim, o pacote *PoryGuard* concentra a camada de interface, responsável pela interação direta com o usuário e pelo gerenciamento das operações do sistema, incluindo o carregamento de configuração persistente.

As relações de associação, uso e composição presentes no diagrama refletem as interdependências reais entre as classes, conforme implementadas no código-fonte.

Figura 2 – Diagrama de Classes

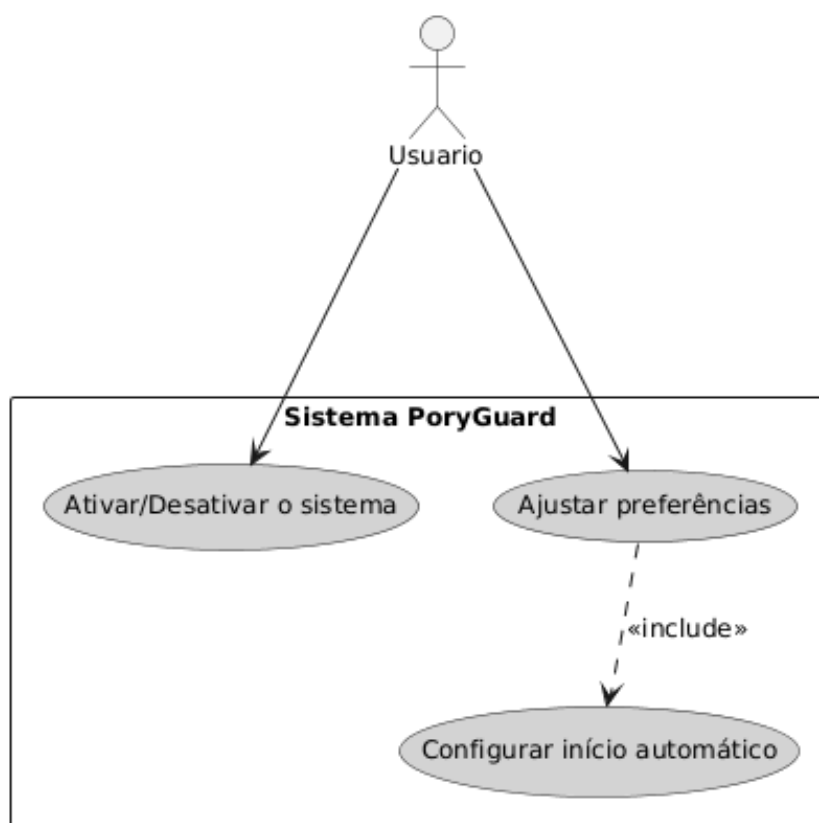


Fonte: Elaborado pelos autores.

4.3.2 Diagrama de Caso de Uso

O diagrama de casos de uso, representado pela Figura 3, evidencia as funcionalidades acessíveis diretamente pelo usuário do *PoryGuard*. Ilustrando as ações principais, como ativar/desativar o sistema e ajustar preferências de funcionamento. A funcionalidade de configuração de início automático é apresentada como um caso de uso complementar, incluído no ajuste de preferências. Esse diagrama delimita a fronteira do sistema e identifica suas principais interações com o usuário final.

Figura 3 – Diagrama de Caso de Uso



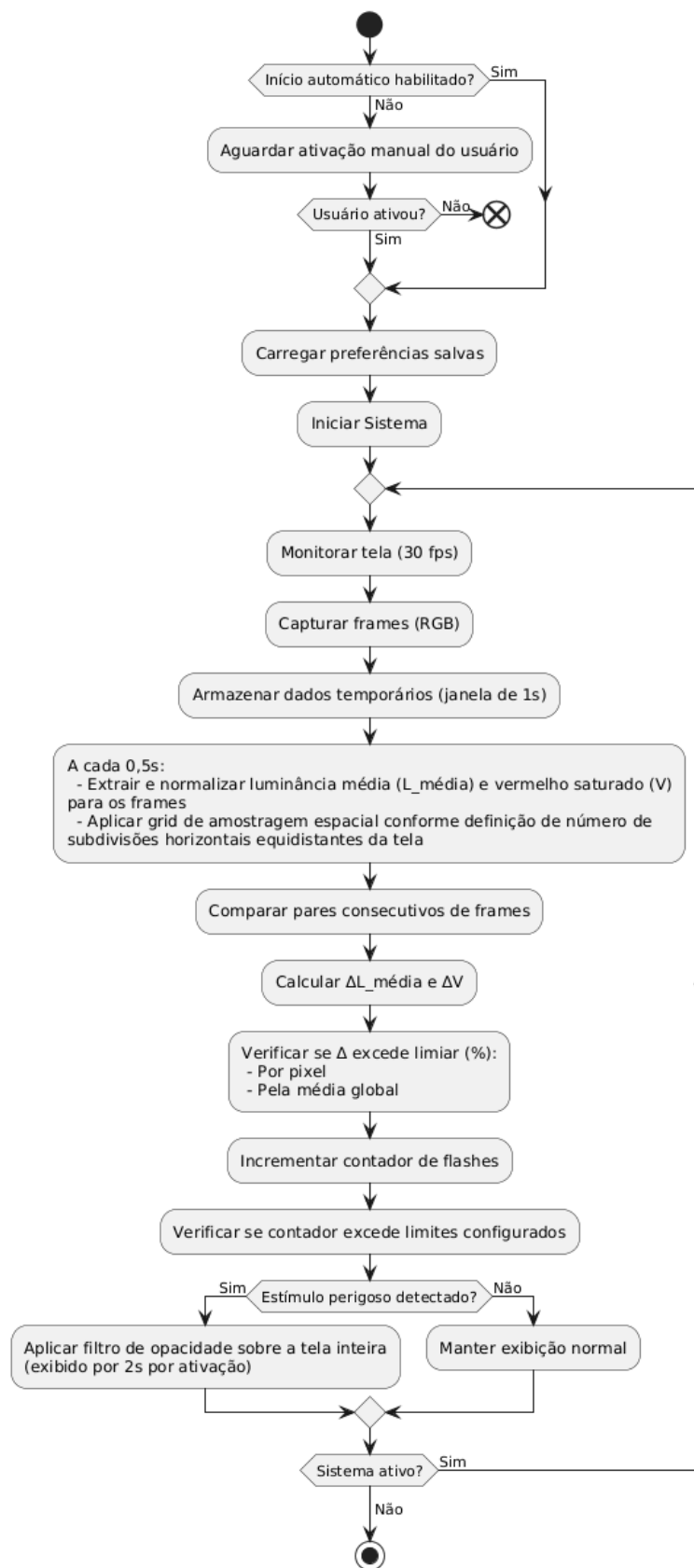
Fonte: Elaborado pelos autores.

4.3.3 Diagrama de Atividades

O diagrama de atividades a seguir, como mostra a Figura 4, descreve o fluxo funcional do sistema *PoryGuard*, desde sua ativação até a verificação contínua de riscos visuais.

Ele demonstra como o sistema toma decisões com base na configuração de início automático e como percorre, em tempo real, os passos de captura de tela, análise de riscos e aplicação de censura. O processo é cíclico e persistente enquanto o sistema estiver ativado, garantindo vigilância contínua da tela. O fluxo também considera a finalização segura da operação caso o sistema seja desativado pelo usuário.

Figura 4 – Diagrama de Atividades



Fonte: Elaborado pelos autores.

5 Implementação

O presente capítulo apresenta a metodologia adotada no desenvolvimento do *PoryGuard*, e descreve o funcionamento técnico dos mecanismos responsáveis pela detecção e tratamento de estímulos visuais potencialmente fotossensíveis. São detalhados os processos de captura de *frames*, extração e normalização das grandezas luminotécnicas, amostragem espacial da tela e critérios empregados para identificar transições perigosas, todos alinhados às diretrizes internacionais para epilepsia fotosensível. Bem como, é contextualizado como as tecnologias implementadas – *C#*, *.NET Framework* e *Windows Forms* – estruturaram e viabilizaram a execução da solução, possibilitando que a mesma opere em tempo real para mitigação de conteúdo visual epileptogênico e potencialmente nocivo, garantindo integração direta com o ambiente de usuário e acesso eficiente aos recursos gráficos essenciais para o funcionamento do sistema.

5.1 Metodologia e Funcionamento Técnico do Sistema

5.1.1 Aquisição de *frames* (captura de vídeo)

O sistema inicializa lendo e armazenando os parâmetros do monitor primário (resolução em *pixels* e posição relativa perante demais monitores). O *frame rate* de operação é fixo em 30 fps (*frames* por segundo), com o objetivo de limitar o custo computacional do monitoramento em tempo real, conforme as restrições de desempenho adotadas no projeto.

A rotina de captura realiza capturas *full-screen* com as dimensões e posição previamente determinadas, a uma taxa de 30 quadros por segundo, as armazenando em um *array* de 30 elementos, que é sobrescrito ciclicamente.

5.1.2 Extração e normalização de grandezas das capturas

A cada meio segundo (a cada 15 *frames*, considerando 30 fps) o sistema computa medidas agregadas sobre os *frames* armazenados. Para cada *frame*, considera-se:

- **Luminância média da tela ($L_{\text{média}}$):** calculada a partir das componentes RGB por *pixel* segundo a fórmula linear de luminância:

$$L_{\text{média}} = 0.2126 R + 0.7152 G + 0.0722 B \quad (5.1)$$

Onde R, G, B são as médias dos valores decimais dos *pixels* vermelhos, verdes e azuis da tela inteira.

Os valores de cada componente de cor são representados pelo sistema no intervalo de 0 a 255, de modo que a luminância média calculada a partir desses valores também varia numericamente dentro desse intervalo, correspondendo aproximadamente a uma escala que vai de zero (tela completamente preta) até 255 (tela totalmente branca). Contudo, a grandeza física luminância é expressa em candela por metro quadrado (cd/m^2) e, diferentemente da escala digital usada pelo computador, não possui um limite superior intrínseco, podendo assumir valores significativamente maiores dependendo das características do monitor e de suas configurações de brilho.

Para compatibilizar com valores de luminância usados nas diretrizes, adota-se a referência prática de 200 cd/m^2 para uma tela “branca” em SDR (*Standard Dynamic Range*), termo utilizado para descrever o conteúdo e as exibições que operam dentro de uma faixa de luminância padrão (JORDAN; VANDERHEIDEN, 2024). A conversão pontual para cd/m^2 é:

$$L_{(\text{real})} = \frac{L_{\text{média}} \cdot 200}{255}. \quad (5.2)$$

No entanto, o programa opera com $L_{\text{média}}$ (0–255) por maior precisão de processamento, e conversões para cd/m^2 são realizadas internamente, estando de acordo com *thresholds* reportados nas diretrizes internacionais.

- **Vermelho saturado (V):** definido segundo a formulação amplamente utilizada em ferramentas de análise de PSE, também determinado pelas diretrizes ISO 9241-391 e WCAG 2.2, onde o critério exige que os dois estados de cor de um *flash* de vermelho saturado difiram em mais de 0,2 unidades no diagrama de cromaticidade CIE 1976 UCS (JORDAN; VANDERHEIDEN, 2024):

$$V = \begin{cases} 0, & \text{se } R - G - B < 0 \\ \frac{(R - G - B) \cdot 320}{255}, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (5.3)$$

Esta métrica resulta em $V \in [0, 320]$, ou seja, o valor máximo resultante de 320, é atingido quando o *flash* é de vermelho puro/saturado, essa escala foi utilizada desde versões anteriores da WCAG.

5.1.3 Amostragem espacial

Quando uma sequência consecutiva de *frames* apresenta variação significativa, segundo o critério a seguir, o sistema realiza uma análise pontual em amostras

homogêneas da tela:

- O usuário define, na interface principal, um parâmetro $N_h \in [10, 50]$ que representa o número de subdivisões horizontais equidistantes da tela. Para cada subdivisão horizontal, é coletado um *pixel* amostrado, o mesmo procedimento é repetido ao longo da dimensão vertical, gerando um *grid* de amostras com espaçamento uniforme proporcional à resolução e à razão altura/largura do monitor; e
- O posicionamento e a contagem final de amostras dependem da resolução e da proporção do monitor, conforme a parametrização do usuário.

5.1.4 Critério de detecção de transições perigosas

Para cada par de frames consecutivos mapeados, o sistema compara as diferenças pontuais entre as duas amostras correspondentes:

- Computa-se a diferença absoluta $|\Delta L_{\text{média}}|$ e $|\Delta V|$ entre os mesmos *pixels* em *frames* consecutivos;
- Se $|\Delta L_{\text{média}}|$ ou $|\Delta V|$ exceder o limiar definido pelo usuário (tolerância expressa na interface em porcentagem, cálculo de conversão na subseção seguinte), então aquele par de *frames* é marcado como perigoso, para o *pixel* avaliado. Ou seja, se pelo menos um *pixel* amostrado dentro do par de capturas exceder o limiar, os dois *frames* consecutivos são considerados como nocivos; e
- O sistema incrementa um contador de *flashes* detectados (inicialmente zero) para a janela de análise corrente (janela de 30 pares/30 *frames*).

Após varrer os 30 pares de *frames* do *array*, o sistema avalia se o número de *flashes* identificados estão dentro do intervalo de falha configurado pelo usuário; se sim, irá acionar a censura de tela, um filtro de opacidade customizável que cobre toda a tela.

5.1.5 Conversão de *thresholds* entre unidades de referência e porcentagem

Como apresentado anteriormente, as diretrizes internacionais indicam que uma variação de luminância entre estados superior a 20 cd/m² é potencialmente perigosa quando o estado mais escuro tem luminância inferior a 160 cd/m². De forma análoga, uma variação de vermelho saturado maior que 20 unidades, métrica usada pelo WCAG e pela ISO citada previamente, é considerada relevante (JORDAN; VANDERHEIDEN, 2024).

Considerando a referência prática de 200 cd/m² como branco de referência, os limiares padrões das diretrizes traduzidos para porcentagem são:

$$L(\%) = \frac{20 \cdot 100}{200} = 10\% \quad V(\%) = \frac{20 \cdot 100}{320} \approx 6,25\% (\approx 6\%) \quad (5.4)$$

Sob essa perspectiva, a interface exibe tolerâncias em porcentagem para esses campos que variam de 5 a 80%, e os valores recomendados de partida para conformidade com as diretrizes são aproximadamente 10% para luminância e 6% para o índice de vermelho saturado. Estas conversões assumem as métricas adotadas pelas normas citadas.

5.1.6 Área de cobertura

Quanto maior a área de *flashes*, maior a porção do córtex visual do cérebro envolvida e maior a probabilidade de ser nocivo ao indivíduo portador de epilepsia fotossensível (WILKINS; EMMETT; HARDING, 2005). As diretrizes recomendam um critério de área mínima de 0,006 esterradiano (equivalente a $\geq 25\%$ da área central de 10º do campo visual) para que um *flash* seja considerado significativo em termos de risco (JORDAN; VANDERHEIDEN, 2024). Em função da grande variabilidade do ângulo de visão do usuário (distância de visualização e tamanho do dispositivo), e por se tratar de uma ferramenta com limitações de informação do contexto de visualização, optou-se por não utilizar um critério estrito de área em *pixels* para a execução do objetivo do *software*.

Em consequência dessas condições, o algoritmo se limita a marcar uma transição como *flash* sempre que: (1) a diferença média de luminância ou de vermelho crítico entre dois *frames* consecutivos exceder o limiar definido; e (2) exista ao menos um pixel mapeado cuja variação pontual exceda o mesmo limiar. Esta decisão é justificada pela variabilidade de distâncias de visualização e pelo objetivo de priorizar a sensibilidade da ferramenta em cenários reais de uso.

5.1.7 Censura

Acionado o módulo de censura, é aplicado um filtro preto, personalizável pelo usuário num intervalo de 10 % a 100 % de opacidade, sobre toda a superfície do monitor afetado, ou seja, é adicionado um retângulo de cor preta com opacidade customizável cobrindo a tela inteira. O retângulo é renderizado de forma a reduzir suavemente a intensidade perceptiva do conteúdo potencialmente prejudicial, proporcionando uma transição menos abrupta do que as abordagens inicialmente consideradas, como a aplicação de blocos pretos localizados sobre regiões identificadas como de risco.

De modo objetivo, a operação do filtro segue a lógica: (1) Definidas dimensões e posição relativas do monitor e o valor de opacidade configurado; e (2) O retângulo é exibido por 2 s por ativação. Chamadas subsequentes ao módulo de censura enquanto o filtro estiver ativo redefinem o temporizador para 2 s.

5.1.8 Observações sobre parâmetros e conformidade

Em vista do exposto, foi adotado como política de detecção a utilização do limite conservador “no máximo três *flashes* em um segundo”, regra mais restritiva adotada pela maioria das normas para avaliação de taxa de *flashing* ao longo das janelas de tempo analisadas.

Para transições envolvendo vermelho saturado, foi utilizada a definição de “*saturated red*” e a métrica de diferença cromática empregada tanto pela ISO quanto pelo WCAG como referência para a classificação da variável.

A escolha de operar internamente com $L_{\text{média}}$ (0–255) e V (0–320) visa estabilidade numérica e eficiência de execução, as comparações normativas são feitas as convertendo para as unidades de referência quando necessário.

5.2 Tecnologias utilizadas

A escolha das tecnologias utilizadas no desenvolvimento do projeto levou em consideração critérios como desempenho, compatibilidade com o sistema operacional *Windows* 10 e 11, facilidade de acesso aos recursos gráficos do ambiente de usuário e viabilidade de implementação em tempo real. Optou-se pela utilização da linguagem *C#* em conjunto com o *.NET Framework* e a biblioteca gráfica *Windows Forms*, formando um conjunto robusto e bem consolidado no desenvolvimento de aplicações *desktop* com interface rica e integração direta com recursos do sistema. Além de que, todas as versões, histórico de desenvolvimento e atualizações do *PoryGuard* estão disponibilizados publicamente no repositório oficial do projeto no *GitHub*, garantindo transparência, controle de versão e facilidade de acesso ao código-fonte por parte de pesquisadores, colaboradores ou interessados. O repositório público, bem como todas as documentações das tecnologias mencionadas, encontram-se devidamente citadas nas Referências deste trabalho.

A utilização do *Windows Forms* permitiu o desenvolvimento de uma aplicação gráfica que opera diretamente na camada do usuário. Isso viabiliza o acesso contínuo e dinâmico às informações da tela e aos dispositivos de entrada, além de possibilitar uma melhor experiência de configuração para o usuário final. Ademais, o uso de *C#* com *.NET Framework* garante integração nativa com o ambiente *Windows*, permitindo

maior estabilidade e menor tempo de desenvolvimento, fatores cruciais para o sucesso do projeto.

Além das tecnologias já mencionadas, o projeto incorporou o uso do *Inno Setup*, uma ferramenta gratuita e consolidada para criação de instaladores no sistema *Windows*. A ferramenta permite compilar o projeto em um único executável (*setup.exe*), garantindo uma instalação simplificada para usuários finais, incluindo suporte a instalações silenciosas, gerenciamento de registro, criação de atalhos e desinstalação completa. Essa solução atende aos requisitos de profissionalização da distribuição do *software*, mantendo-se leve, compatível com as últimas versões do *Windows* e continuamente atualizada pela ampla comunidade de desenvolvedores.

Portanto, as tecnologias utilizadas refletem não apenas a compatibilidade técnica com os requisitos do sistema, mas também a busca por uma solução eficaz, acessível e com menor complexidade de implementação, favorecendo a manutenção e a escalabilidade futura da solução.

6 Testes e Validação

Este capítulo apresenta os procedimentos de validação adotados para avaliar o desempenho, a eficiência e a confiabilidade do *PoryGuard*. Os testes foram conduzidos em ambiente controlado, com conteúdo reconhecido internacionalmente por apresentar risco fotossensível e com coleta sistemática de dados de performance, consumo de recursos e tempo de resposta do sistema. O objetivo foi verificar a precisão da detecção, a estabilidade durante a execução contínua e a eficiência do mecanismo de censura pelo filtro de opacidade. Durante a reprodução desse conteúdo, o *PoryGuard* operou em segundo plano com as configurações padrão de sensibilidade e opacidade, permitindo avaliar sua resposta prática.

6.1 Ambiente de Testes

6.1.1 Especificações de *Hardware*

Os experimentos foram realizados em um *notebook* com as seguintes especificações:

- Processador: 13th Gen Intel(R) Core(TM) i7-13620H @ 2,40 GHz;
- Memória RAM: 16 GB DDR5;
- Armazenamento: SanDisk SSD Plus 1TB;
- GPU 0: Intel(R) UHD Graphics;
- GPU 1: NVIDIA GeForce RTX 4050 Laptop GPU; e
- Sistema Operacional: Windows 11 (64-bit).

6.1.2 Configurações do *Software*

O programa foi executado com a configuração padrão de variáveis de risco recomendada pelas diretrizes internacionais:

- Intervalo de *Flash*: 3 a 30 Hz;
- Vermelho Crítico: 6%;
- Limiar de Luminância: 10%;

- Limiar no Quadrante de Monitoramento: 10%; e
- Opacidade do filtro: 90%.

6.1.3 Conteúdo Utilizado na Validação

Para validar a capacidade do *PoryGuard* de identificar estímulos visualmente perigosos, foi utilizado o trecho final do episódio “*Dennō Senshi Porygon*”, amplamente conhecido por desencadear centenas de crises convulsivas em 1997. Trata-se do 38º episódio da primeira temporada do anime *Pokémon*, frequentemente referido como *Electric Soldier Porygon*.

O segmento selecionado contém, de forma explícita e contínua: *flashes* acima de 12 Hz; alternância rápida entre vermelho e azul saturado; grandes áreas de luminância variável; e transições bruscas de brilho em tela cheia. Este conteúdo foi escolhido por representar um caso extremo na literatura, servindo como referência para validar a capacidade do sistema em cenários de risco elevado e realistas.

6.2 Metodologia de Coleta

A validação do *PoryGuard* utilizou três conjuntos distintos de registros, cada um obtido por ferramentas diferentes e complementares, de modo a garantir uma análise precisa do comportamento do sistema. As origens e características de cada *log* são descritas a seguir:

1. **Log de performance:** Este *log* foi gerado internamente pelo próprio *software*, utilizando recursos nativos do *.NET Framework*, sem dependências externas. O módulo de monitoramento registrou automaticamente:
 - tempo entre capturas sucessivas de tela (Captura);
 - tempo necessário para processar uma janela de 30 *frames* (Análise);
 - tempo entre a classificação de uma sequência como nociva e o acionamento do filtro (*Overlay*); e
 - tempo total entre o primeiro *frame* perigoso e a censura visível (Censura).
2. **Log de uso de recursos do sistema operacional:** O segundo conjunto de dados foi obtido por meio do utilitário nativo do *Windows Performance Monitor* (PerfMon). Foram monitoradas duas métricas principais: o consumo de memória RAM pelo processo; e o percentual de tempo de uso de CPU ao longo do tempo. Os períodos com 0% de uso da CPU presentes no início e no final do gráfico correspondem aos intervalos em que o *PoryGuard* estava carregado em memória, porém com análise desativada; e

3. **Uso total de CPU:** A fim de avaliar o impacto global sobre o processador, foi utilizado um *script* em *Bash*, executado em ambiente compatível, que coletou periodicamente o consumo total de CPU em todos os núcleos. O *script* gerou um arquivo CSV, posteriormente processado em *Python*, que foi utilizado para gerar o gráfico final de uso total da CPU. Essa análise permitiu observar o comportamento do sistema em nível agregado, complementando o monitoramento por tempo de CPU registrado no PerfMon.

6.3 Resultados Obtidos

A análise integrada dos *logs* coletados permitiu avaliar o desempenho do *PoryGuard* em condições reais de exposição a estímulos perigosos. Os resultados demonstraram comportamento estável e consistente em todas as etapas monitoradas.

O *log* interno, com resultados representados na Tabela 1, permitiu avaliar com precisão o desempenho dos módulos principais do sistema. As medições mostraram que o módulo de captura operou de forma altamente estável, com média de 33,19 ms e desvio padrão de 0,75 ms, garantindo uma taxa de aproximadamente 30 quadros por segundo, requisito essencial para acompanhar estímulos visuais rápidos. A etapa de análise apresentou média de 11,95 ms, com maior variabilidade (7,48 ms), reflexo da complexidade variável entre os *frames* processados. Já a aplicação do filtro (*overlay*) registrou média de 17,58 ms, contribuindo para o tempo total de censura, que ficou em 542,04 ms, valor inferior a um segundo e plenamente compatível com o objetivo de suprimir estímulos perigosos em tempo hábil.

Tabela 1 – Métricas Estatísticas de Desempenho dos Módulos Internos do *PoryGuard*.

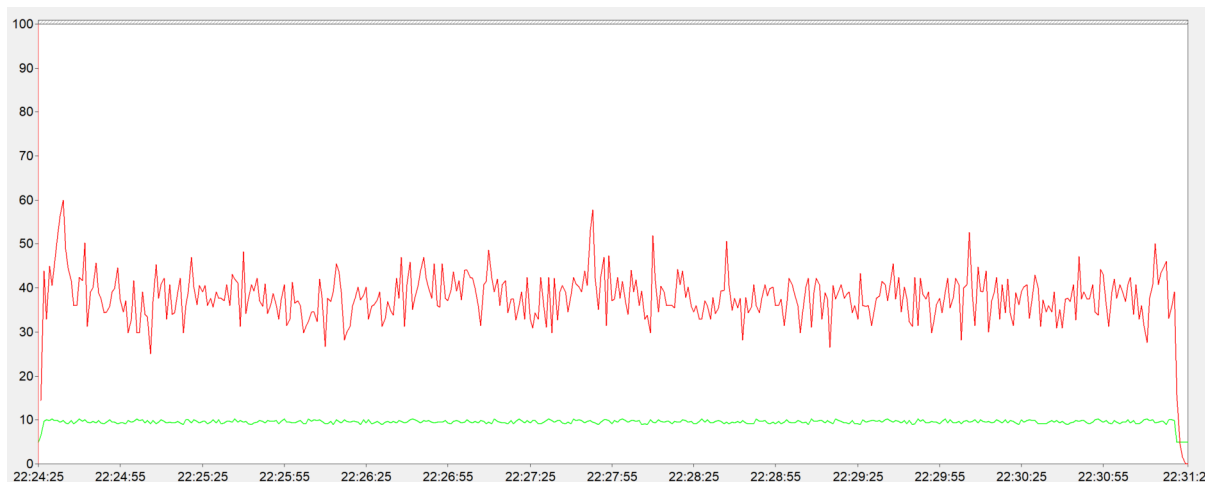
Módulo	Nº de amostras	Média (ms)	Desvio padrão (ms)
CAPTURA	12193	33,19	0,75
ANÁLISE	811	11,95	7,48
OVERLAY	128	17,58	2,86
CENSURA	74	542,04	7,65

Fonte: Elaborado pelos autores.

O *log* obtido pelo *Performance Monitor* (PerfMon), na Figura 5, complementou a análise ao registrar o consumo de memória e o uso de CPU durante os testes. O consumo de RAM (linha verde) permaneceu estável ao redor de 10%, sem qualquer indício de crescimento progressivo que sugerisse vazamento de memória. O uso de CPU (linha vermelha) variou entre 30% e 50%, comportamento compatível com o processamento periódico das janelas de *frames*, sem picos abruptos ou instabilidades. As regiões próximas de 0% observadas no início e no final do gráfico correspondem ao

período em que o sistema estava carregado, porém sem análise ativa, o comportamento esperado para o estado ocioso.

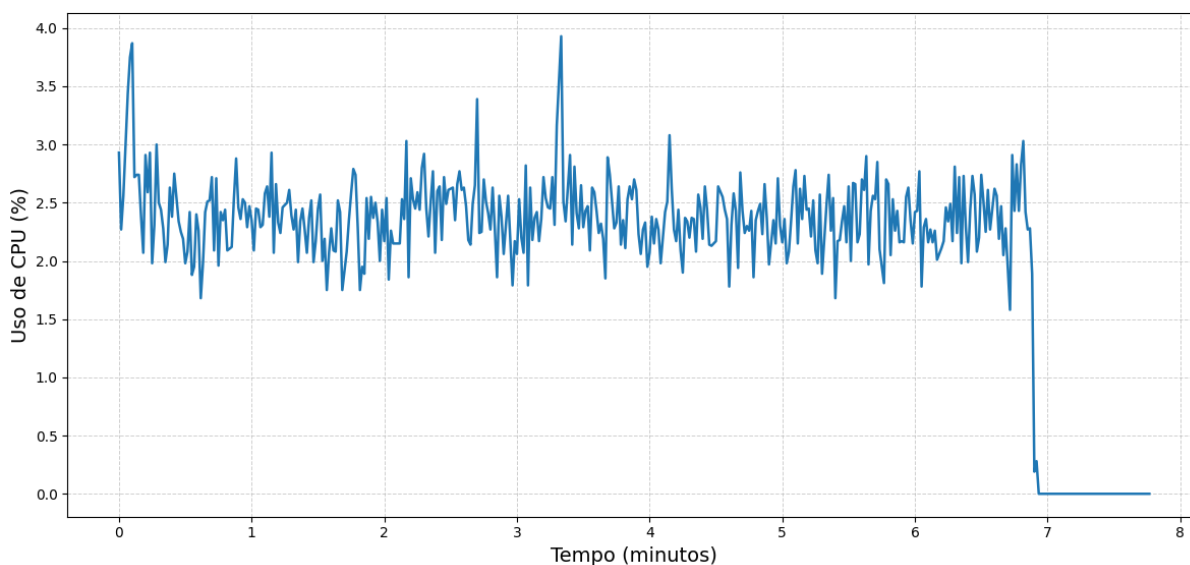
Figura 5 – Gráfico do Monitoramento de Recursos de Sistema (CPU e Memória RAM)



Fonte: Elaborado pelos autores.

Finalmente, o *log* de uso total da CPU, conforme disposto na Figura 6, confirmou que o impacto global do *PoryGuard* no sistema é mínimo. O uso agregado dos núcleos manteve-se majoritariamente entre 2% e 3%, com picos máximos inferiores a 4%, mesmo durante a análise contínua dos minutos finais do episódio em questão, que contém estímulos intensos e de alta frequência. Esses valores indicam que o sistema operacional distribuiu a carga de processamento de forma eficiente e que o *PoryGuard* pode operar em segundo plano sem comprometer a responsividade do computador, mesmo em situações com conteúdo visual extremamente dinâmico.

Figura 6 – Gráfico do Consumo Total de CPU (%) ao Longo do Tempo (minutos)



Fonte: Elaborado pelos autores.

6.4 Conclusão dos Testes e Validação

Os resultados obtidos demonstram que o *PoryGuard* atende plenamente aos requisitos de desempenho definidos no projeto. O sistema apresentou tempos de resposta inferiores a um segundo, consumo estável de memória e baixo impacto no uso da CPU, mesmo durante a análise de trechos altamente críticos. A combinação entre captura estável, análise rápida e acionamento eficiente do filtro assegurou a detecção e supressão imediata de estímulos perigosos, validando a eficácia prática do sistema. A operação contínua em segundo plano mostrou-se viável e não comprometeu a responsividade do computador, reforçando sua aplicabilidade como ferramenta de proteção para usuários fotossensíveis. Esses resultados confirmam a adequação da arquitetura proposta e fornecem base para aprimoramentos futuros, como a ampliação do suporte a diferentes modos de exibição e a avaliação em configurações de *hardware* variadas.

7 Conclusão

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um *software* voltado à detecção e tratamento em tempo real de estímulos visuais potencialmente perigosos para pessoas com epilepsia fotossensível. Com base nas diretrizes internacionais e nacionais de segurança visual, o sistema foca na identificação de *flashes* frequentes, variações abruptas de brilho e cores fortemente saturadas, especialmente o vermelho.

A solução foi projetada e estruturada de forma modular, permitindo organização clara, manutenção eficiente e integração consistente entre os componentes de monitoramento, verificação de risco, censura, interface e configuração. Essa abordagem contribuiu para a estabilidade do sistema e para a execução dos procedimentos de validação na implementação da solução. Os testes realizados demonstraram que o *PoryGuard* é capaz de identificar padrões visuais perigosos e aplicar o filtro de opacidade de maneira imediata e suave, confirmando sua eficácia como ferramenta preventiva.

Os resultados obtidos alinham-se às expectativas iniciais, incluindo o principal objetivo: o aumento da segurança para usuários fotossensíveis, além do potencial de expansão da solução para outros ambientes e plataformas. Ainda assim, desafios técnicos permanecem, como a análise em aplicações que funcionam em tela cheia, como jogos e aplicações gráficas intensivas. Concomitantemente, foi observado que a escolha das tecnologias adotadas favoreceu a execução do projeto dentro do cronograma previsto. Contudo, uma margem maior de tempo teria permitido a realização de testes de desempenho em diferentes configurações de *hardware*, possibilitando definir com maior precisão os requisitos mínimos ideais para o funcionamento adequado do *software*.

A análise geral ao concluir este trabalho indica a satisfação com o resultado alcançado, com a criação de uma ferramenta socialmente relevante e alinhada a princípios de acessibilidade. A solução, *PoryGuard*, se destaca por integrar tecnologia e saúde em um contexto de prevenção e inclusão, com potencial de impacto positivo para um público muitas vezes negligenciado no desenvolvimento de *softwares* e no contexto digital geral.

Referências

- ALVES, N.; TONON, R. *PoryGuard*. 2025. Repositório do código-fonte. Disponível em: <https://github.com/LiderAstral/PoryGuard>. Acesso em: 14 nov. 2025.
- ALZUBAIDI, M. A.; OTOOM, M.; AL-TAMIMI, A.-K. Parallel scheme for real-time detection of photosensitive seizures. *Computers in Biology and Medicine*, Elsevier, v. 70, p. 139–147, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 17225:2025 - Acessibilidade em conteúdo e aplicações web (Utilização por pessoas com epilepsia fotossensível)*. Rio de Janeiro, Brasil, 2025.
- CARREIRA, L.; RODRIGUES, N.; ROQUE, B.; QUELUZ, M. P. Automatic detection of flashing video content. In: IEEE. *2015 Seventh International Workshop on Quality of Multimedia Experience (QoMEX)*. [S.l.], 2015. p. 1–6.
- CROOKS, G.; PERKS, J.; GAWNE, F.; ALI, H.; STEEL, H.; DENISON, T.; VALENTIN, A. “EpilepSee” Glasses: A Wearable Seizure Prevention Device for Photosensitive Epilepsy. In: *Anais do Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. [S.l.: s.n.], 2024. p. 1–4. PMID: 40039150 Disponível em: <https://doi.org/10.1109/EMBC53108.2024.10781586>. Acesso em: 20 mar. 2025.
- GITHUB INC. *GitHub*. 2025. Plataforma de hospedagem de código. Disponível em: <https://github.com>. Acesso em: 2 jul. 2025.
- HARDING, G. F. A.; HARDING, P. F. Photosensitive epilepsy and image safety. *Applied Ergonomics*, Elsevier, v. 41, n. 4, p. 504–508, 2010.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Ergonomics of human-system interaction. Part 391: Requirements, analysis and compliance test methods for the visualization of information*. 2016. *ISO 9241-391:2016*. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/69373.html>. Acesso em: 24 mar. 2025.
- INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION. *Guidance for the reduction of photosensitive epileptic seizures associated with television*. [S.l.], 2018.
- JORDAN, J. B.; VANDERHEIDEN, G. C. International guidelines for photosensitive epilepsy: Gap analysis and recommendations. *ACM Transactions on Accessible Computing*, ACM, v. 17, n. 3, p. 1–35, October 2024.
- JR SOFTWARE. *Inno Setup*. 2023. Ferramenta de empacotamento de software. Disponível em: <https://jrsoftware.org/isinfo.php>. Acesso em: 18 jun. 2025.
- KOTHARI, J.; SRIVASTAVA, A. Flikcer – A Chrome Extension to Resolve Online Epileptogenic Visual Content with Real-Time Luminance Frequency Analysis. *arXiv preprint*, arXiv:2108.09491, 2021. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2108.09491>. Acesso em: 20 mar. 2025.
- LARIAN STUDIOS. *Baldur's Gate 3*. 2023. [S.l.]. Jogo eletrônico.

MICROSOFT. *.NET Framework 4.8*. 2019. Plataforma de Desenvolvimento. Disponível em: <https://dotnet.microsoft.com/en-us/download/dotnet-framework/net48>. Acesso em: 18 jun. 2025.

MICROSOFT. *Microsoft Windows*. 2021. Família de Sistemas Operacionais. Inclui Windows 10 e 11. Disponível em: <https://www.microsoft.com/pt-br/windows>. Acesso em: 18 jun. 2025.

MICROSOFT. *Documentação do C#*. 2023. Linguagem de Programação. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/pt-br/dotnet/csharp/>. Acesso em: 18 jun. 2025.

MICROSOFT. *Windows Forms para .NET*. 2023. Biblioteca de Interface Gráfica. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/pt-br/dotnet/desktop/winforms/>. Acesso em: 18 jun. 2025.

NYLUND, N. *A Photosensitive Epilepsy Flash Pattern Detection Algorithm*. Dissertação (Mestrado) — Umeå University, 2020.

PYTHON SOFTWARE FOUNDATION. *Documentação do Python*. 2025. Linguagem de Programação. Disponível em: <https://docs.python.org/pt-br/3/>. Acesso em: 13 nov. 2025.

SOUTH, L. Improving online accessibility for individuals with photosensitive epilepsy. In: ACM. *CHI Conference on Human Factors in Computing Systems Extended Abstracts (CHI '22 Extended Abstracts)*. [S.l.], 2022. p. 1–4.

WILKINS, A. J.; EMMETT, J.; HARDING, G. F. A. Characterizing the patterned images that precipitate seizures and optimizing guidelines to prevent them. *Epilepsia*, Wiley Online Library, v. 46, n. 8, p. 1212–1218, 2005.

WORLD WIDE WEB CONSORTIUM. *Web Content Accessibility Guidelines 2.2*. 2018. Diretrizes de Acessibilidade. Disponível em: <https://www.w3.org/TR/WCAG22/>. Acesso em: 20 mar. 2025.