

## INVESTIGAÇÃO DE TÉCNICAS TOLERANTES A FALHAS EM IOT: ESTUDO DE CASO COM MONITORAMENTO DE CO<sub>2</sub> NA UFPEL

WAGNER LOCH<sup>1</sup>; JULIO CARLOS BALZANO DE MATTOS<sup>2</sup>; RAFAEL IAN-KOWSKI SOARES<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – [wloch@inf.ufpel.edu.br](mailto:wloch@inf.ufpel.edu.br)

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – [julius@inf.ufpel.edu.br](mailto:julius@inf.ufpel.edu.br)

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas – [rafael.soares@inf.ufpel.edu.br](mailto:rafael.soares@inf.ufpel.edu.br)

### 1. INTRODUÇÃO

A evolução das tecnologias e a Ciência da Computação tem permitido a interação entre dispositivos inteligentes e humanos cada vez mais fácil. Dispositivos e aplicações IoT (*Internet of Things*) são cada vez mais comuns em nosso dia a dia (CARDOSO, 2020). Aliado com essa popularização, temos as redes sem fio que proporcionam uma maior mobilidade e praticidade para os usuários (SOUZA; SILVA; GUIMARÃES, 2009). Essa propagação de dispositivos tornou os mesmos mais acessíveis e é normal vermos o emprego de microcontroladores, sensores e atuadores nos mais diversos tipos de projetos.

Com a disseminação do uso destes dispositivos, manifestam-se novos desafios na área da computação. Manter estes equipamentos operando sem interrupções mesmo em casos de falhas é um desafio para o desenvolvedor de sistemas já que todo sistema está suscetível a falhas. Estas falhas podem levar a um colapso, interrompendo serviços e consequentemente levando a perda ou a interpretações errôneas de dados. Segundo WEBER (2003), os sistemas devem ser construídos já usando algumas técnicas de tolerância a falhas. Estas técnicas podem exigir componentes adicionais ou algoritmos especiais.

Segundo TANENBAUM; STEEN (2007) os requisitos para que um sistema seja considerado tolerante a falhas são prover quatro pontos: disponibilidade (estar sempre pronto para uso imediato), confiabilidade (funcionamento sem falhas ou interrupções), segurança (em caso de falha, nada de catastrófico deverá acontecer) e manutenção (fácil de aplicar manutenções).

TANENBAUM; STEEN (2007) também definem as falhas em três subtipos. Falhas transientes são aquelas que acontecem uma vez e ao acaso, ou seja, se a operação for novamente executada a falha não acontecerá. Falhas intermitentes são as mais difíceis de diagnosticar pois aparecem e desaparecem sem motivos aparentes. Já as falhas permanentes são aquelas que continuam a acontecer mesmo quando o componente é substituído.

Este trabalho propõe realizar a investigação de soluções tolerantes a falhas para aplicações IoT e identificar as principais técnicas aplicadas e possibilidades de contribuições. Como estudo de caso para este trabalho em desenvolvimento, foi instalado um microcontrolador com três sensores acoplados que monitoraram uma sala administrativa na Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) quanto a identificação de presença humana. Outra hipótese levantada na aplicação foi a possibilidade de estimar a qualidade do ar neste ambiente levando em consideração parâmetros estabelecidos pela ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) quanto a níveis de concentração de CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono) para que possamos estimar a quantidade de pessoas presentes no ambiente e determinar se o mesmo é salubre

quanto as normas estabelecidas para o controle da COVID-19 em um momento futuro.

## 2. METODOLOGIA

Há na literatura diferentes estratégias propostas para aplicações de tolerância a falhas. Com esta consciência, foi realizada uma revisão bibliográfica para buscar trabalhos relacionados, aprofundar as técnicas empregadas e encontrar lacunas onde há possibilidade de novas contribuições utilizando o método de Revisão por Mapeamento Sistemático que vem sendo cada vez mais utilizado em trabalhos de Engenharia de Software (WOHLIN, 2013). Então, para facilitar o procedimento de análise foram criadas algumas RQs (*Research Questions*).

A primeira RQ procura entender em qual nível do sistema se encontra o processo de tolerância a falha, seja ela nos sensores, *Edge* ou *Cloud*. A segunda RQ procura entender como é feita a identificação e a ocorrência de uma falha. A terceira RQ procura entender como é realizada a correção de uma falha, ou como o sistema age quando ocorre. Já a quarta RQ procura identificar o método de validação da proposta, seja ela análise ou prototipação. A Figura 1 apresenta o Diagrama da *String* de busca que foi aplicada nas bases *IEEE Xplore*, *ACM Digital Library* e *Springer Link*. Junto com a *String* de busca, foram definidos alguns critérios de exclusão e inclusão para refinamento da busca. Os critérios de exclusão foram os artigos não disponíveis para *download*, não relacionados a alguma aplicação com tolerância a falhas e artigos duplicados. Já os critérios de inclusão contam com os artigos publicados a partir de 2015 e que tenham relação com aplicação a tolerância a falhas e a ciências da computação. A Figura 2 apresenta um Gráfico evidenciando a relevância e o crescimento na quantidade de trabalhos com o tema.

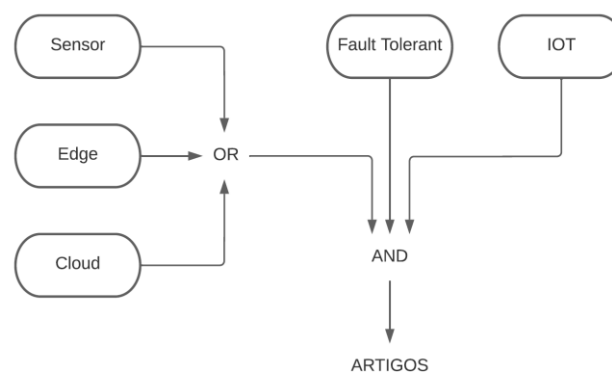


Figura 1 – Diagrama da *String* de busca.

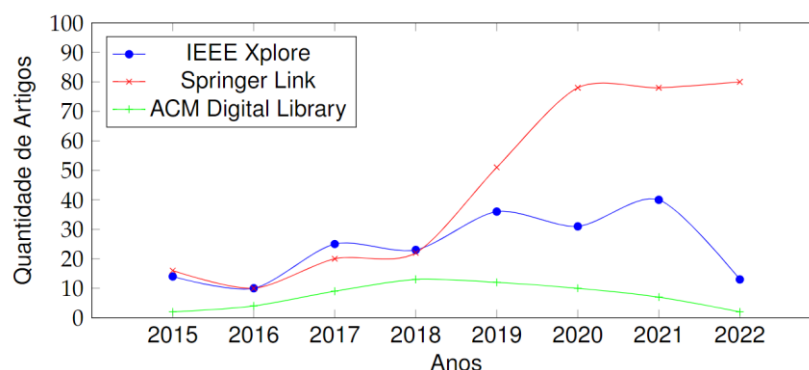


Figura 2 – Quantidade de artigos publicados por ano de 2015 a 2022.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos na revisão bibliográfica demonstram que a grande maioria dos estudos focam a tolerar falhas em nível de sensores e *Edge*. Já os métodos de identificação de falha demonstraram que há poucos estudos utilizando IA nesse procedimento. A correção de falhas normalmente é realizada fazendo uso da redundância de dados e sensores. Quanto a validação, o principal método utilizado é a simulação.

O estágio atual do desenvolvimento deste trabalho está no aprimoramento de um algoritmo de tolerância a falhas composto por duas etapas. A primeira etapa consiste na detecção de uma falha através de um algoritmo proposto para identificar falhas nos nós sensores. Uma vez que uma falha é identificada o valor correspondente ao momento falho será substituído por um valor gerado por um sensor virtual. Este sensor virtual é responsável por analisar e gerar valores compatíveis com o atual momento da análise. Para gerar estes dados simulados é utilizado um algoritmo de Aprendizado de Máquina não supervisionado, onde o algoritmo encontra e aprende sua própria estrutura de processamento e arbitra um valor verossímil.

Como estudo de caso foi proposto a instalação de um microcontrolador com sensores de CO<sub>2</sub>, temperatura e umidade em uma sala administrativa no Campus Anglo da Universidade Federal de Pelotas. As datas analisadas e seus respectivos resultados são apresentados no Gráfico da Figura 3. Através destas análises conseguimos perceber a sensibilidade do sensor quanto a presença humana. Nas primeiras horas do dia há pouca concentração de CO<sub>2</sub>, porém por volta das 08:00 da manhã de todos os dias da semana há um pico de subida indicando a chegada de pessoas ao ambiente monitorado. Ainda não podemos afirmar se o pico extremo de subida está relacionado com o momento em que aparelhos de aquecimento são acionados ou se está associado a alguma outra razão como a calibração do sensor, porém, as baixas temperaturas evidenciadas durante este período na cidade de Pelotas sugerem a primeira hipótese. No Gráfico, cada conjunto de picos está relacionado a um dia da semana, sendo o primeiro na segunda-feira e o último na sexta-feira.

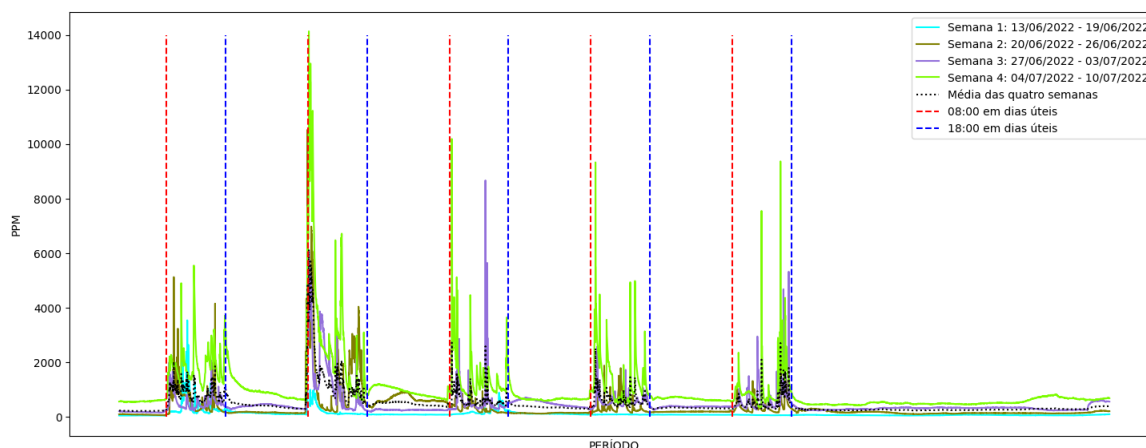


Figura 3 – Análise da concentração de CO<sub>2</sub> em uma sala administrativa localizada no Campus Anglo da UFPel durante quatro semanas.

Outra preocupação evidenciada no Gráfico da Figura 3 está relacionada com os altos níveis de concentração de CO<sub>2</sub> na sala objeto deste estudo. Segundo a

ANVISA a concentração máxima de CO<sub>2</sub> em ambientes fechados é de 1000 PPM, ou seja, 0,1% da composição do ar. Neste sentido, níveis maiores de concentração sugerem que o ambiente está densamente populado ou que não há uma correta circulação do ar. Altos níveis de dióxido de carbono podem causar desconforto, sonolência, falta de concentração e consequentemente redução de desempenho (SILVA; et al. 2014).

#### **4. CONCLUSÕES**

Com o desenvolvimento atual do trabalho podemos concluir que estudos relacionados com tolerância a falhas em sistemas IoT vem crescendo ao longo dos últimos anos. O desenvolvimento de um novo algoritmo que contribua com as pesquisas atuais é o foco do trabalho de Mestrado. Aliado a este desenvolvimento, está sendo conduzida uma aplicação para estudo de caso que possibilita a análise de um ambiente quanto aos níveis de concentração de CO<sub>2</sub>. Através de uma análise de quatro semanas podemos concluir que não há uma correta circulação de ar no ambiente analisado. A hipótese levantada está relacionada com uma onda de frio compreendida no momento das análises.

#### **5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. (2003). Resolução nº 9: Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior em Ambientes Climatizados Artificialmente de Uso Público e Coletivo.

CARDOSO, João Vitor et al. Novos aperfeiçoamentos na autenticação mútua para cloud computing (Fog e Edge) e Internet of Things. 2020.

SILVA, B. L. da. Odisi, F.; Noriler, D.; Reinehr, E. L. Estudo da distribuição e evolução da concentração de dióxido de carbono em uma sala de aula. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química. São Paulo, 2014. Anais...São Paulo, 2014.

SOUZA, F. R. A.; SILVA, C. M. da; GUIMARÃES, C. Segurança em Rede Wireless. e-xacta, [S.l.], v.2, n.2, 2009.

TANENBAUM A.S; STEEN, M. Sistemas distribuídos: princípios e paradigmas. [S.l.]: Pearson Prentice Hall, 2007.

WEBER, T. S. Tolerância a falhas: conceitos e exemplos. Apostila do Programa de Pós-Graduação–Instituto de Informática-UFRGS. Porto Alegre, [S.l.], p.24, 2003.

WOHLIN, Claes et al. On the reliability of mapping studies in software engineering. Journal of Systems and Software, v. 86, n. 10, p. 2594-2610, 2013.