

GRUPO DE ESTUDO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E TELECOMUNICAÇÃO PARA SISTEMAS ELÉTRICOS - GTL

UTILIZANDO INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E INTEGRAÇÃO CÂMERA-VEÍCULO NA GESTÃO DO COMPARTILHAMENTO DE INFRAESTRUTURA DE DISTRIBUIÇÃO E ILUMINAÇÃO PÚBLICA

**RENAN BARBOSA MARTINS DOS SANTOS(1); MARCOS VANINE PORTILHO DE NADER(1); GIOVANNI MOURA DE HOLANDA(1); DIEGO FRANCISCO DE MELO PEREIRA(2); CARLOS HENRIQUE DA SILVA VIEIRA(2); FERNANDO ANTONIO RAUTENBERG FINARDI(1); CRISTINA YURIKA KONATU OBATA ADORNI(1); ILANA FRANÇA(2)
FITEC(1); EQUATORIAL ENERGIA MARANHÃO(2)**

RESUMO

Este artigo apresenta um projeto de P&D com o objetivo de apoiar a gestão da Equatorial Energia em dois aspectos relacionados a sua rede de distribuição: o uso mútuo, ou compartilhamento de postes da rede elétrica, e o controle da iluminação pública (IP). A solução proposta utiliza câmera-veículo com um sistema de visão computacional para reconhecimento de objetos e classificação de imagens baseados em inteligência artificial, especificamente deep learning. O propósito é fornecer informações para um maior controle sobre contratos de uso mútuo e medições da IP, permitindo que as cobranças sejam executadas de forma mais justa e equânime, não prejudicando as partes envolvidas.

PALAVRAS-CHAVE

Deep Learning, Iluminação Pública, Reconhecimento de Imagens, Compartilhamento de Infraestrutura.

1.0 INTRODUÇÃO

Os procedimentos para o compartilhamento de infraestrutura de concessionárias de energia elétrica com outros agentes, inclusive de telecomunicações, são estabelecidos na Resolução Normativa N° 797 (ANEEL, 2017). E a Resolução Conjunta n° 004 (ANEEL, ANATEL, 2014) trata especificamente do compartilhamento de infraestrutura entre os setores de energia elétrica e telecomunicações. O uso conjunto de uma infraestrutura por agentes dos setores de energia elétrica e de telecomunicações é normalmente designado pela expressão “uso mútuo”, e aplica-se frequentemente no compartilhamento de postes da rede de distribuição elétrica por agentes desses dois setores.

Além de servir de base para instalação de luminárias e lâmpadas de iluminação pública, os milhões de postes instalados pelas companhias de energia contam com pontos de ocupação que são liberados, desde que devidamente contratados, para que as companhias privadas de telecomunicação instalem cabos e equipamentos essenciais para a distribuição de seus produtos e serviços. O compartilhamento dos postes, no Brasil e no mundo, tem-se mostrado um assunto complexo, principalmente em termos de precificação (Arango, 2015), e da multiplicação das redes de telecomunicações, que passou a ser um fator crítico entre os setores de energia elétrica e telecomunicações (Araujo, 2019). As concessionárias de distribuição têm estabelecido características técnicas e construtivas para resguardar aspectos de segurança (dos técnicos que trabalham na rede e da população em geral) bem como o correto funcionamento da rede – sobre esses critérios, ver, por exemplo, (ANEEL, 2017) e (Equatorial, 2016).

Todavia, o monitoramento por parte da concessionária de energia elétrica dos ativos presentes nos postes é uma tarefa custosa e de difícil execução, e mesmo com todo o avanço tecnológico alcançado nas últimas décadas, serviços como a fiscalização, contabilização e identificação destes componentes ainda são realizados de forma manual na maioria dos casos. Essa questão do compartilhamento de postes fica ainda mais crítica com a entrada do 5G (quinta geração de comunicações móveis) – ver, por exemplo, (Julião, 2019) – e quando se trata da modicidade tarifária e análise dos aspectos econômicos do compartilhamento de postes entre empresas de energia elétrica e telecomunicações (cf. Arango et al., 2016).

Além disso, a ausência de um sistema para controle mais efetivo sobre o compartilhamento da rede de distribuição leva também à perda de receita, pois há casos em que empresas instalam seus equipamentos sem a devida contratação do ponto de ocupação. Não obstante essas dificuldades de controle, as concessionárias enfrentam um outro tipo de problema relacionado aos ativos presentes nos postes e que dizem respeito especificamente à gestão da iluminação pública (IP). A Resolução Normativa ANEEL n° 414, de 9 de setembro de 2010, determina, no art. 218, que as distribuidoras de energia elétrica devem transferir o sistema de iluminação pública às prefeituras, cabendo à

distribuidora a responsabilidade pela execução e custeio dos serviços de operação e manutenção (ANEEL, 2010). E segundo a Constituição Federal, a forma de cobrança da contribuição de iluminação pública ou do custeio do serviço de iluminação pública deve ser estabelecida nas leis municipais¹.

Parte dessa dificuldade deve-se ao fato de que a cobrança do consumo de energia elétrica não é realizada atualmente de forma precisa, devido à falta de informações referentes aos tipos de lâmpada instalados, sua potência, além de casos anômalos como o de falha no sensor fotoelétrico, que faz com que algumas lâmpadas fiquem 24 horas acesas – para efeito de cálculo do consumo de energia, a ANEEL define para cada município um valor de consumo diário entre 11h22 e 11h29 (2019). E os impactos de tal imprecisão são relevantes. Para se ter uma ideia de grandeza, em 2017, o consumo de energia elétrica com a iluminação pública em todo o país foi da ordem de 15 GWh, representando 3,3% de todo o consumo nacional e um aumento de 2,7% em relação ao ano anterior (EPE, 2018).

Adicionalmente, as próprias prefeituras dos municípios têm interesse em substituir lâmpadas antigas por lâmpadas de LED para redução no consumo de energia elétrica – ver, por exemplo, experiência em São José de Ribamar MA, (Carneiro, 2018) e alguns estudos que mostram o aumento da eficiência energética com o uso da tecnologia de LED e de técnicas inteligentes de gestão (Pinho, 2019), (Araujo et al., 2018). Porém, muitas vezes não há um controle de inventário preciso que mostre em qual área as prefeituras e os gestores da iluminação devem priorizar para ser o mais efetivo possível.

Uma prática comum adotada atualmente para fazer o monitoramento dos postes pertencentes à distribuidora é a de ter funcionários terceirizados dedicados à cobertura e levantamento das informações referentes à quantidade e identificação de empresas ocupantes da área de uso mútuo, e também da inspeção da rede de iluminação pública. Entretanto, essa abordagem é deficiente em tecnologia e escalabilidade, sendo uma atividade custosa financeiramente e, principalmente, custosa em tempo.

O presente artigo apresenta um projeto de P&D que está sendo executado com o objetivo de apoiar a gestão da Equatorial Maranhão no tocante a esses dois aspectos: o uso mútuo e o controle da iluminação. Diante da necessidade de um procedimento escalável, o projeto combina uma integração câmera-veículo com um sistema de visão computacional que utiliza serviços de reconhecimento de objetos e classificação de imagens baseado em inteligência artificial, especificamente na técnica de *deep learning* (aprendizado profundo). O propósito de tal integração é fornecer informações que permitam à distribuidora exercer um maior controle sobre i) seus contratos de uso mútuo e ii) medições da IP para que as cobranças sejam executadas de forma mais justa e equânime, não prejudicando nenhuma das partes envolvidas.

O artigo está estruturado da seguinte forma. Na Seção 2.0, apresenta-se uma fundamentação teórica sobre a abordagem de visão computacional adotada, destacando-se a arquitetura funcional que faz o reconhecimento e a classificação automáticos dos objetos de interesse. Nas Seções 3.0 e 4.0 são abordados dois estudos de caso relacionados com os dois problemas previamente citados. O primeiro contribui com a automatização de uma parte do sistema de inspeção de componentes e contratos de uso mútuo. O segundo contribui com a implementação de um sistema que utiliza técnicas de *machine learning* para fazer a inspeção automática de elementos de iluminação pública, fornecendo informações importantes sobre os tipos de lâmpadas do trecho analisado, bem como anomalias que reflitam na modificação das normas de cobrança por parte da distribuidora de energia à prefeitura. Por fim, as conclusões obtidas até o momento são apresentadas na Seção 5.0, assim como uma indicação dos próximos passos para esse tema.

2.0 FUNDAMENTAÇÃO E ARQUITETURA FUNCIONAL

A automatização da identificação de postes e seus componentes de interesse através de visão computacional e técnicas de machine learning como *deep learning* tem sido objeto de estudo de diversos pesquisadores. Zhang et al. (2018) apresentaram um método para mapear postes a partir de imagens do Google Street View. A solução é baseada num algoritmo de detecção de objetos chamado *RetinaNet Object Detector* para detectar os postes a partir das imagens, contando também com métodos para estimar sua geolocalização. Outro método é apresentado por Hebbalaguppe et al. (2017), que também utilizam técnicas de *deep learning* para reconhecer ativos de telecomunicações a partir de *street view images*. A técnica de detecção é baseada em descritores HOG (Histograms of Oriented Gradients) com SVM (Support Vector Machine), modelos de partes deformáveis (DPM), e *deep learning*, utilizando redes *faster RCNNs*. Esse trabalho tem como objetivo automatizar parte do inventário de ativos como caixa de junções, poços de visita e postes.

Barranco-Gutiérrez (2013) também trata de métodos para reconhecimento de postes em condições reais. Esse reconhecimento é baseado em atributos como cor, forma e técnicas de visão estéreo fotométricas, utilizando câmeras convencionais de baixo custo. O sistema auxilia na elaboração de um planejamento automático para um robô de manutenção, que repara as conexões dos cabos postes elétricos. Entretanto, é importante notar que apesar de utilizarem técnicas de processamento de imagens semelhantes, as pesquisas citadas diferem do estudo realizado neste artigo, que lida especificamente com a identificação e extração automática da área de ocupação de uso mútuo

¹ No caso de São Luís – MA, a contribuição para o custeio do serviço de iluminação pública fica cargo de pessoas físicas e jurídicas que detém ligações de energia elétrica em suas residências ou estabelecimentos comerciais (São Luís, 2017).

em postes e luminárias de iluminação pública e, a partir dessas imagens, gera informações que podem contribuir para um maior controle de contratos (no caso do uso mútuo) e do consumo de energia (no caso de IP).

No desenvolvimento da solução proposta para este projeto, utilizou-se o modelo o CRISP (Cross Industry Standard Process for Data Mining), o qual é descrito detalhadamente no artigo “Uso de Machine Learning para inspeção de linhas de transmissão e redes de distribuição” (Santos et al., a ser publicado).

A Figura 1 apresenta uma síntese da arquitetura funcional do sistema. O fluxo de tarefas inicia-se com a aquisição das imagens de inspeção dos elementos de interesse do poste, utilizando uma câmera integrada a um veículo. As imagens são armazenadas nas bases de dados e organizadas para os processamentos de treinamento e operação. Em ambos os casos, os dados são pré-processados para a adequação aos algoritmos de machine learning. O processamento do treinamento consiste na otimização do algoritmo de acordo com as métricas estabelecidas. Uma vez que o modelo está homologado, este é implantado e passa a ser usado na operação. Durante a operação, o sistema carrega os dados de campo, executa o pré-processamento e, no módulo de processamento em operação, efetua a inferência dos dados processados no modelo implantado e submete o resultado para *feedback* do usuário.

O módulo de integração permite incluir as atividades executadas na análise das imagens e os resultados obtidos por este sistema nos processos existentes. Os fluxos de atividades são controlados pelo componente de Gerenciamento de Ambiente e Aplicações que mantém os dados gerenciais para apresentação em um *dashboard*.

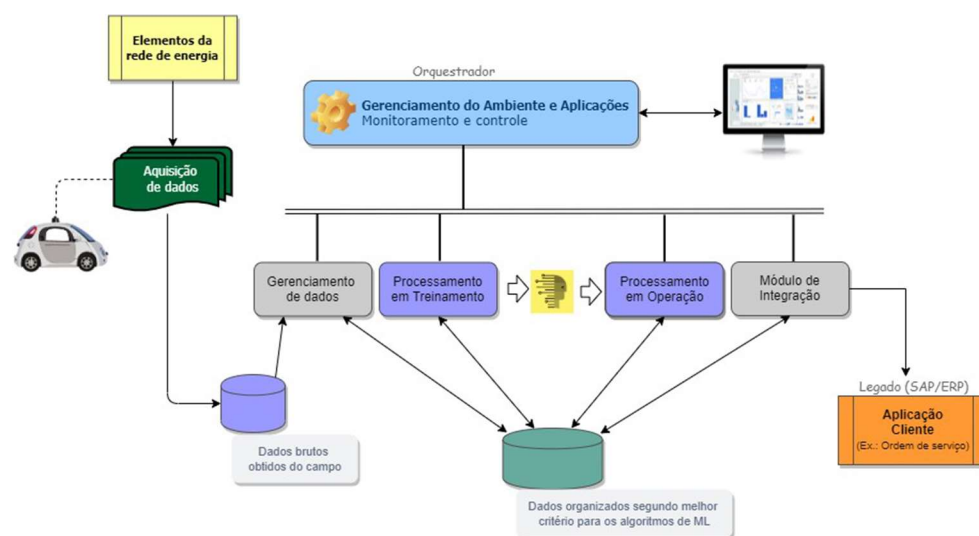


FIGURA 1: Arquitetura funcional do sistema desenvolvido (Fonte: *Elaboração própria*)

3.0 ESTUDO DE CASO I: USO MÚTUO

O primeiro estudo de caso escolhido foi a extração automática da área de ocupação de uso mútuo, para que sua análise seja feita em escritório, seguida da contagem de seus ocupantes. Segundo as normas regulamentadoras de uso mútuo, somente uma empresa (ou grupo econômico) ocupante pode estar alocada a um ponto de fixação por poste e, por padrão, um ocupante de uso mútuo em um poste é fixado por uma braçadeira ajustável a poste (BAP).

A partir de um conjunto de imagens de treinamento, a rede neural é treinada para reconhecer e extrair a área de ocupação de uso mútuo para acelerar o processo de inspeção e levantamento de ocupantes nos postes. Essas imagens são também utilizadas para fazer um link automático da imagem capturada em campo com o respectivo poste presente no sistema de controle e gestão de uso mútuo e IP, que também faz parte da solução adotada para este projeto, por meio do sistema de georreferenciamento construído e integrado como parte da solução.

Além disso, o sistema contará com uma etapa adicional que fará a contagem de pontos de ocupação utilizados na área de ocupação, usando como referência o número de BAPs para inferir cada unidade ocupada no poste. Essa contagem possibilitará realizar uma referência cruzada com os contratos vigentes para o poste em questão e apontará irregularidades como a ocupação de mais de um ponto de ocupação por grupo econômico ou uma ocupação indevida. Para a contagem da ocupação, são necessários alguns passos intermediários, que permitirão alcançar o objetivo de forma mais acurada e performática. Os passos seguidos para contabilizar o número de ocupantes são:

1. Identificação da área de ocupação de uso mútuo de um poste, num contexto mais abrangente;
2. Identificação da área de ocupação de uso mútuo de um poste com foco no poste, como preparação para enfatizar as características das BAPs;
3. Identificação e contagem das BAPs.

Todos os passos descritos acima foram desenvolvidos utilizando-se o serviço de treinamento de detecção de objetos disponibilizado pela plataforma SAP Leonardo Machine Learning Foundation. São etapas sequenciais, ou seja, no pipeline definido como arquitetura dos modelos, os resultados obtidos em uma etapa são usados como parâmetros de entrada da próxima etapa. A inferência realizada na terceira etapa é utilizada para a contabilização do número de ocupações que é igual ao número de BAPs. As atividades de *machine learning* desenvolvidas, conforme os cinco passos da metodologia adotada para o projeto, são descritas a seguir.

Passo 1: Definição do problema e dos dados

O problema definido foi a extração automática da área de ocupação de postes e a contagem das ocupações de empresas de telecomunicações presentes na infraestrutura, utilizando imagens obtidas tanto através de câmeras de mão convencionais, quanto através de câmera profissional acoplada em um veículo. O objetivo desta etapa também inclui o entendimento do padrão visual apresentado na consolidação dessa necessidade e a obtenção do máximo de imagens nas diversas configurações reais, para o posterior treinamento dos modelos de *machine learning*.

Passo 2: Obtenção dos dados e definição da plataforma

Foi definido um mínimo de 150 imagens para cada classe de detecção/classificação para um treinamento adequado de cada modelo de *machine learning*. O treinamento e a inferência foram feitos com o uso da plataforma de desenvolvimento e implantação SAP Leonardo Machine Learning Foundation, em uma infraestrutura em nuvem.

O dispositivo de captura utilizado, no momento de escrita deste artigo, foi a câmera Panasonic AW-HE40. Essa câmera é acoplada acima de um veículo por meio de um suporte de fabricação personalizada para melhorar o posicionamento da câmera em relação ao ângulo e à altura para melhor captura da área de ocupação do poste.

Foi usada a câmera Panasonic AW-HE40, que possui HDR e tem gravação/streaming de vídeo de 30 frames por segundo. A resolução máxima de 1920x1080 (72 DPI) é configurável. O foco, ISO e zoom são mecânicos, além de possuir compatibilidade com o uso de um *joystick* para controle da posição da câmera, configuração do zoom, foco, ISO e armazenamento/acionamento de predefinições. Esses atributos são importantes para facilitar a agilização no processo de inspeção e captura de imagens para registro no sistema.

Passo 3: Pré-processamento dos dados

Os principais aspectos do pré-processamento das imagens foram a correção do brilho e saturação, e redução no tamanho de seu arquivo para 1100x820. Essa mudança no tamanho da imagem é necessária pois há uma limitação de tamanho das imagens de treino do serviço SAP. A limitação não ocorre na etapa de inferência.

Passo 4: Treinamento e avaliação do modelo

Para treinamento dos modelos, utilizou-se o serviço de detecção de objetos (*Object Detection*) do SAP Leonardo Machine Learning Foundation. Esse serviço consiste no retorno das coordenadas das *bounding boxes* que envolvem o objeto de interesse a partir da avaliação da imagem inserida. É importante ressaltar que a construção dos modelos é baseada na técnica *Transfer Learning* para retreinamento de um modelo treinado e otimizado baseado na arquitetura YOLO. Para treinar o modelo são adotados os seguintes critérios:

- A métrica utilizada para avaliação dos modelos é a precisão média (mAP– mean average precision).
- Tratamento de *Overfitting & Underfitting*: as técnicas usadas são *Model Checkpoint*, salvando o melhor modelo e *Early Stopping* com paciência de 15 épocas por se tratar de uma rede com uma arquitetura extremamente robusta.
- Hiperparâmetros: número de iterações máximo de 15.000.

O fluxo de modelos para extração da área de ocupação e postes, e a possível contagem de seus ocupantes, compreende as seguintes etapas de treinamento: identificação do poste abrangente, identificação do poste fechado com imagens do poste abrangente, identificação das BAPs com imagens do poste fechado.

No processo de treinamento, as principais dificuldades encontradas foram:

- Obter alta resolução na etapa de identificação das BAPs e contabilização dos componentes;
- Padronizar a captura de imagens dos postes frente às dificuldades (variações de velocidade do veículo, variações de luminosidade entre capturas e variações de ângulo de captura);
- Contornar realidade dos problemas em Uso Mútuo e a dificuldade na procura de padrões que representam melhor o objetivo. Entre os problemas identificados, destacam-se o emaranhado de cabos, distância irregular na instalação dos pontos de ocupação e número irregular de ocupantes, onde a faixa de ocupação (500mm) é ultrapassada e o número máximo de pontos de ocupação (cinco) é excedido.

Passo 5: Inferência do modelo

Realizados o aprendizado e a otimização mencionados no item anterior, pode-se então efetuar a inferência a partir do fluxo de modelos e utilizar seus resultados para extrair a informação do número de ocupantes presentes em um poste e carregá-los no sistema para uma validação com os contratos oficiais em vigor para este determinado poste. Caso haja alguma divergência, um alerta será ativado para alertar o usuário e deixá-lo ciente dessa divergência.

Eventualmente o sistema apresentará erros nas inferências. Por isso, o sistema desenvolvido leva em consideração esses casos e tem uma tela de aprovação da predição do *machine learning*.

Os resultados obtidos, tendo como base as métricas mencionadas previamente, encontram-se nas Tabelas 1, 2 e 3.

TABELA 1: Resultado do modelo de detecção de faixa de ocupação - Abrangente

Modelo	Melhor Iteração	mAP Treino	mAP Teste
Detecção de faixa de ocupação - Abrangente	3962	1.0	1.0

TABELA 2: Resultado do modelo de detecção de faixa de ocupação - Enquadrado

Modelo	Melhor Iteração	mAP Treino	mAP Teste
Detecção de faixa de ocupação - Enquadrado	659	1	0,997218

TABELA 3: Resultado do modelo de detecção de BAPs

Modelo	Melhor Iteração	mAP Treino	mAP Teste
Detecção de BAPs	12085	0,8076	0,802739

A partir dessas tabelas, observa-se que os resultados foram bastante satisfatórios nas duas primeiras etapas: a de identificação da área de ocupação de forma mais abrangente e a de identificação da área de ocupação enquadrando apenas o poste. Porém, na terceira etapa, a de identificação de BAPs, o modelo apresenta um comportamento menos afetivo que os modelos anteriores. Essa perda na efetividade está relacionada com os fatores abaixo:

- Dificuldade na obtenção de imagens com boa resolução na 3ª etapa, devido aos sucessivos recortes executados em função da limitação da câmera utilizada (referente ao seu zoom digital);
- Presença de cabos e outros objetos obstruindo uma visualização satisfatória da BAP;
- Presença de pontos de ocupação que não respeitam as normas em vigor, pois há casos em que há a presença de BAPs e cabos sobrepostos, dificultando o isolamento de uma única BAP na inferência do modelo de *machine learning*.

As Figuras 2 a 4 mostram o funcionamento dos modelos em três situações práticas de inferência ao modelo de detecção da área de ocupação.

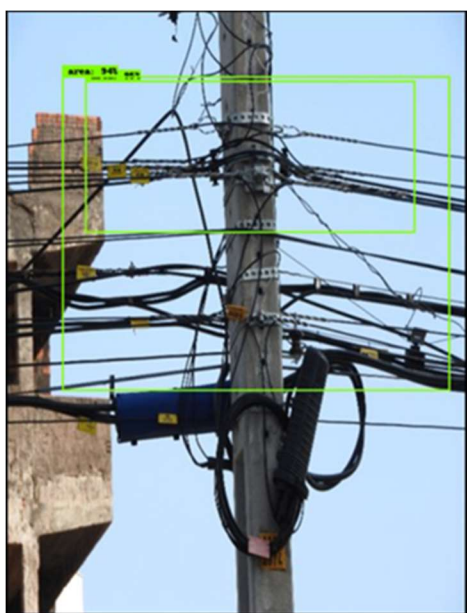


FIGURA 2: Ocupação abrangente.
Foto: Equatorial

FIGURA 3: Ocupação com foco no poste.
Foto: Equatorial

FIGURA 4: Detecção
e contagem de BAPs
Foto: Equatorial

A Figura 2 apresenta a detecção da área de ocupação na forma abrangente. O sistema identifica dois objetos com alta probabilidade (94% e 95%). De forma complementar, para esses casos de múltiplas detecções, o sistema desenvolvido faz a união das caixas para englobar a totalidade da área de ocupação, com o objetivo de não deixar nenhum ponto de ocupação para fora da área de recorte.

A Figura 3 ilustra a detecção da área de ocupação na forma enquadrada. Nesse caso, o sistema apresentou um único *bounding box* com 94% de probabilidade. Pode-se verificar que visualmente, a detecção está correta. Por fim, a Figura 4 mostra a inferência ao modelo de detecção de BAPs. São detectadas 5 BAPs da figura com 99% de probabilidade. Isso mostra que o modelo está bem parametrizado para os casos em que as imagens não têm muita poluição.

4.0 ESTUDO DE CASO II: ILUMINAÇÃO PÚBLICA

O estudo de caso escolhido para iluminação pública (IP) consiste em obter imagens contendo luminárias, identificar e extrair essas luminárias e detectar anomalias ou classificar os tipos de lâmpadas contidas. Essas anomalias podem ser: lâmpada quebrada, lâmpada ausente e lâmpada acesa indevidamente (pela manhã, por exemplo).

Como nesse caso o cliente da distribuidora é um município, a distribuidora deve reunir informações referentes à cobrança com o que de fato está sendo consumido, substituindo o sistema atual baseado em estimativas. A utilização desse novo método de cálculo possibilitará a cobrança justa do consumo de energia que alimenta a iluminação pública, tanto no quesito de não fornecimento de energia por conta de lâmpadas quebradas ou ausentes, quanto pelo excesso de consumo de energia, como o caso de lâmpadas acesas indevidamente.

Desse modo, são utilizados dois modelos de *machine learning* para a solução do problema.

1. Modelo de detecção de objetos para extrair as luminárias nas imagens capturadas nas inspeções.
2. Modelo de classificação de imagens para, após a extração da luminária identificada no passo anterior, classificar o tipo da luminária/lâmpada analisada ou se existe alguma anomalia que caracterize uma mudança nas regras de medição em vigor.

Para esse problema, utilizou-se basicamente os mesmos serviços do estudo de caso anterior, com a adição do modelo de classificação de imagens, onde iremos classificar a imagem extraída do modelo de identificação de luminárias em 10 classes. São elas: Lâmpada de vapor de sódio, Lâmpada de vapor metálico, Lâmpada de vapor de mercúrio, Lâmpada mista, Lâmpada fluorescente, Lâmpada halógena, Lâmpada LED, Lâmpada quebrada, Lâmpada ausente e Lâmpada acesa indevidamente.

O objetivo do sistema em construção é a automatização de parte da inspeção de iluminação pública, de onde serão extraídas informações sobre o tipo da lâmpada e o que pode inferir a obtenção de potência que a lâmpada consome. Com esse processo também é possível verificar se os relatórios de instalação, retirada e substituição, fornecidos pelos municípios, conferem de fato com a realidade.

O sistema de gestão que também faz parte do projeto, mostrará todos os postes e suas informações pertinentes ao uso mútuo e à iluminação pública. Essa funcionalidade é construída a partir de métodos que capturam, junto com a imagem, a localização de cada poste, tendo como base sua latitude e longitude.

Para o estudo de caso de iluminação pública, utilizou-se a mesma configuração do estudo anterior, apresentada na Seção 3.0, modificando-se apenas a parte do fluxo. O fluxo para iluminação pública é constituído por duas etapas: Detecção de Luminária e Classificação da Luminária/Lâmpada. Os resultados obtidos, tendo como base as métricas mencionadas previamente, encontram-se nas Tabelas 4 e 5.

TABELA 4: Resultado do modelo de detecção de luminárias

Modelo	Melhor Iteração	mAP Treino	mAP Teste
Detecção de Luminárias	1436	1,0	1,0

TABELA 5: Resultado do modelo de classificação de isoladores

Modelo	Melhor Iteração	Função de Perda - Validação	Acurácia de Validação	Acurácia de Teste
Classificação de Luminária/Lâmpada	3	1,022635	75,4098%	67,7419%

A Tabela 4 ilustra que o uso do serviço de detecção de objetos para a identificação de luminárias nas imagens está adequadamente treinado para esse fim, pois apresenta o indicador mAP de treinamento e teste iguais a 1.0. Isso também está constatado por testes manuais de uso do serviço através da API provida pela plataforma.

O resultado apresentado na Tabela 5 corresponde a uma fase preliminar, no estágio inicial de desenvolvimento do modelo de classificação de imagem, com número de imagens menor que 150 (valor estipulado). Esse resultado será consideravelmente melhorado com a inserção de novas imagens de treino.

Alguns exemplos de inferências dos modelos já treinados são apresentados nas Figuras 5 e 6. A Figura 5 mostra o uso do modelo de detecção de objetos treinado para as luminárias. Por meio desse modelo, o sistema detecta na imagem uma luminária com 96% de confiança. A Figura 6 apresenta o resultado da classificação de lâmpadas com a indicação das probabilidades para cada classe configurada. A maior probabilidade é para a classe “vapor sódio” com 49%. Portanto essa é a classe assumida pelo sistema para a luminária da figura. No caso da imagem apresentada, a resposta da inferência ao modelo está correta.

Essas figuras fornecem uma visão inicial de como será realizado o processo de inspeção automática de lâmpadas de iluminação pública. A ideia é que esse processo seja adotado como padrão nas inspeções de campo, para concentrar no sistema de integração em desenvolvimento todas as informações referentes aos postes, na gestão de ativos e contratos geradores de renda e na fiscalização do normal funcionamento e cumprimento de todo o sistema de uso mútuo e iluminação pública.

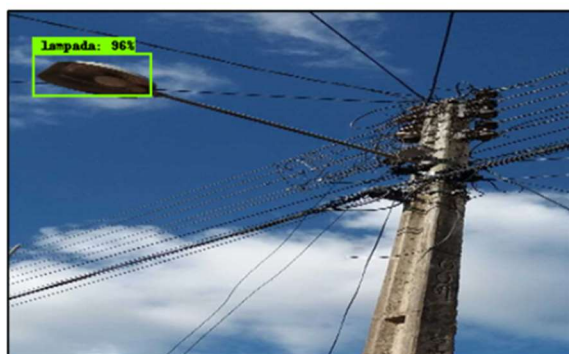


FIGURA 5: Exemplo de Inferência ao modelo de detecção de luminárias. Foto: Equatorial



FIGURA 6: Exemplo de Inferência ao modelo de classificação de lâmpadas. Foto: Equatorial

4.0 CONCLUSÃO

O artigo apresentou a abordagem de um projeto de P&D focado na construção de uma solução para automatização de parte do processo existente de duas situações em que componentes de postes são inspecionados por processos geralmente realizados de forma manual e, na maioria dos casos, com frequência semestral ou anual.

A principal contribuição da solução apresentada é, no primeiro estudo de caso, a automatização de parte do processo de inspeção de contratos e da regularização do uso dos pontos de ocupação das empresas de telecomunicações. A implementação de um sistema para gestão dos contratos e componentes auxiliará no seu controle e fiscalização, de modo que a concessionária tenha, da forma mais aproximada possível, conhecimento do que há de fato em seus postes para efetuar a devida cobrança. Esse sistema também será utilizado para agilizar o processo de inspeção, visto que poderá ser operado em escritório com as imagens capturadas. Essas imagens são obtidas por uma câmera de alta definição acoplada em um veículo, e são processadas utilizando-se técnicas de visão computacional e *machine learning*. O processamento consiste em extrair, de uma imagem bruta com inúmeros objetos não interessantes, o recorte da área a ser analisada, além de oferecer uma estimativa de quantos ocupantes estão fixados no poste e um alerta, caso haja indícios de que o poste não esteja de acordo com a regulamentação em vigor.

No segundo caso de uso, a contribuição é consolidada com a automatização de parte do controle da arrecadação sobre o consumo de energia da iluminação pública, baseada nos tipos de lâmpadas e anomalias. O processo elaborado, como o primeiro caso, contará com uma inspeção mais ágil em função do conjunto carro-câmera realizando as capturas de imagens, de onde serão extraídas, através de inferências aos modelos de *machine learning*, as informações sobre as quantidades de lâmpadas presentes nos postes, seus tipos e a existência de anomalias. Essas informações serão úteis tanto para a concessionária de energia elétrica como para a consumidora, que, salvo algumas exceções, será a prefeitura, de modo que, ambas possam ter um melhor controle de seus ativos e que a cobrança da energia consumida pela iluminação pública esteja a mais próxima possível da realidade.

Em ambos os estudos de caso, foram obtidos resultados promissores. É importante ressaltar que, sendo a abordagem de aprendizado de máquina um método orientado a dados, a cada adição de novas imagens de inspeção

ao banco de dados de treinamento, retreinamentos dos modelos podem ser efetuados para melhorar ainda mais a identificação e classificação automática de objetos de interesse.

Trabalhos futuros seguirão a linha de desenvolvimento de um modelo de *machine learning* embarcado com o conjunto carro-câmera para detecção e rastreamento automático dos postes pertencentes à concessionária de energia. Essa implementação fornecerá imagens confiáveis e não duplicadas de elementos de interesse, levando em consideração a geolocalização do poste em análise. Essa abordagem é inovadora e agregará ao sistema o nível mais elevado de automatização no processo de inspeção de postes e seus principais componentes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) cujo programa de Pesquisa & Desenvolvimento viabilizou a realização deste trabalho, bem como ao time de pesquisadores e técnicos envolvidos no projeto, especialmente Lucas P. A. Pinheiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa Nº 797, de 12 de dezembro de 2017. Estabelece os procedimentos para o compartilhamento de infraestrutura de Concessionárias e Permissionárias de Energia Elétrica com agentes do mesmo setor, bem como com agentes dos setores de Telecomunicações...

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Homologatória Nº 2.590, de 13 de agosto de 2019. Homologa os tempos a serem considerados para o consumo diário para fins de faturamento da energia elétrica destinada à iluminação pública e à iluminação de vias internas de condomínios.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA; ANATEL – AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. Resolução Conjunta nº 004, de 16 de dezembro de 2014. Aprova o Preço de Referência para o compartilhamento de postes.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa Nº 414, de 9 de setembro de 2010. Estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica de forma atualizada e consolidada

ARANGO, L.G. *Análise econômica e regulatória do compartilhamento da infraestrutura entre empresa de distribuição e operadoras de telecomunicações através de um modelo de mercado*. Dissertação de Mestrado, UNIFEI, 2015.

ARANGO, L., ARANGO, H., BONATTO, B.D. et al. Analysis of Pole Sharing Based on an Economic Market Model Proposal. *Journal of Control, Automation and Electrical System*, 27, 2016, pp. 228–235. doi:10.1007/s40313-015-0226-y.

ARAUJO, A.C. Uma proposta de Análise de Resultado Regulatório – ARR da Resolução Conjunta ANEEL/ANATEL nº 004/2014. *ENAP*, maio de 2019. Disponível em: repositorio.enap.gov.br/bitstream/1/4444/1/Antonio%20Carlos%20Marques%20de%20Araujo.pdf. Acesso em: 2/1/20.

ARAUJO, L.M.; SILVA, P.H.C.; LOMBA, L.F.D.; KANASHIRO, W.E.S. POSTe-IP: Aplicativo web para otimização do sistema e das tecnologias de iluminação pública. *V Encontro Nacional de Computação dos Institutos Federais*, 2018.

BARRANCO-GUTIÉRREZ A.I., MARTÍNEZ-DÍAZ S., GÓMEZ-TORRES J.L. (2014) An Approach for Utility Pole Recognition in Real Conditions. In: Huang F., Sugimoto A. (eds) *Image and Video Technology – PSIVT 2013 Workshops. PSIVT 2013. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 8334. Springer, Berlin, Heidelberg

CARNEIRO, A.L.C. *Gestão da qualidade aplicada a implantação de tecnologia LED na iluminação pública*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Maranhão, 2018.

EQUATORIAL ENERGIA. *Compartilhamento de infraestrutura de rede de distribuição aérea. Norma Técnica NT.31.016*, 02/08/2016. Disponível em: <http://www.cemar116.com.br/conheca-acemar/informacoes/compartilhamento-de-infraestrutura>. Acesso em: 30 dez. 2019.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. *Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2018 – ano base 2017*. 2018.

HEBBALAGUPPE, R.; GARG, G.; HASSAN, E.; GHOSH, H.; VERMA, A. Telecom Inventory Management via Object Recognition and Localisation on Google Street View Images. *2017 IEEE Winter Conf. on App. of Comp. Vision*.

JULIÃO, H. Anatel e Aneel discutem revisão de regras para compartilhamento de postes. *Teletime*, 03/04/2019.

PINHO, C.A.B. Os desafios da experiência brasileira com projetos de Parceria Público-Privada (PPP) de iluminação pública e cidades inteligentes (*smart cities*). *Revista de Dir. Público da Economia – RDPE*, 17 (66), 2019, p. 9-31.

SÃO LUÍS. Prefeitura Municipal. Lei Nº 6.289, de 28 de dezembro de 2017. Institui novo código tributário do Município de São Luís. Disponível em: <https://www.semfaz.saoluis.ma.gov.br/arquivos/1560868523.pdf>. Acesso em 2/1/20.

SANTOS, R. B.M., NADER, M. V., HOLANDA, G. M., ADORNI, C. Y. K. O., SILVA, R.P., FINARDI, F. A., CAPARROZ JR., M.D., MOUTINHO, E.A., FRANÇA, I. *Uso de Machine Learning para inspeção de linhas de transmissão e redes de distribuição*. Submetido a publicação. XXVI SNPTEE - a ser publicado.

ZHANG, W.; WITHARANA, C.; LI, W.; ZHANG, C.; LI, X.; PARENT, J. Using Deep Learning to Identify Utility Poles with Crossarms and Estimate Their Locations from Google Street View Images. *Sensors*, 18 (8), 2018.

DADOS BIOGRÁFICOS



Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Pará (2017). Mestre na UNICAMP em Engenharia Mecânica, ênfase em mecânica computacional. Tem experiência na área de inteligência artificial e aprendizado de máquinas e monitoramento de saúde estrutural, mais especificamente em monitoramento da saúde estrutural utilizando técnicas de visão computacional e aprendizado profundo. Atualmente é Cientista de Dados na Kumulus Cloud & Data. À época da realização deste trabalho, ele estava na FITec - Fundação para Inovações Tecnológicas.

(2) MARCOS VANINE PORTILHO DE NADER

Possui mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (2006). Tem experiência na área de Ciência da Computação, atuando principalmente nos seguintes temas: desenvolvimento de sistemas, concepção de projetos, elaboração de propostas técnicas e gerenciamento de equipes de desenvolvimento de software. Atualmente é Consultor de Negócios e Cientista de Dados na FITec – Fundação para Inovações Tecnológicas, atuando no desenvolvimento de novos negócios, com base em projetos de pesquisa e desenvolvimento que envolvem soluções de inteligência artificial (aprendizado de máquina), Internet das coisas, big data e analytics. Atualmente é também pesquisador associado do BIOS– Brazilian Institute of Data Science.

(3) GIOVANNI MOURA DE HOLANDA

Mestre em Engenharia Elétrica (eletrônica e comunicações) pela UNICAMP e graduado em Engenharia Elétrica pela UFPB. Há mais de 30 anos vem atuando em pesquisas e consultorias na área de tecnologias digitais e projetos de inovação. Atualmente é Pesquisador Sênior e Cientista de Dados na FITec - Fundação para Inovações Tecnológicas, em Campinas - SP, engajado em atividades sistêmicas e multidisciplinares, incluindo inteligência artificial, gestão de ativos, visão computacional, transformação digital, manutenção preditiva, controle de processos, metodologias de análises e apoio a decisão. É membro do Conselho Técnico-Científico da FITec. Atualmente é também pesquisador associado do BIOS– Brazilian Institute of Data Science.

(4) DIEGO FRANSCISCO DE MELO PEREIRA

aduanado em Engenharia Elétrica pela Faculdade ISL Wyden (8º Período) e eletrotécnico pelo Instituto Federal do Maranhão em 2010. Atualmente trabalha na Equatorial Energia na gestão de cadastro comercial de Iluminação Pública dentro da Gerência Corporativa de Serviços Técnicos Comerciais.

(5) CARLOS HENRIQUE DA SILVA VIEIRA

Engenheiro Eletricista, graduado e Mestre em sistemas de energia, com linha de pesquisa em Confiabilidade de Sistemas pela Universidade Federal do Maranhão com ênfase em sistemas elétricos de potência. Pós-Graduado com MBA em Gestão Empresarial pela Fundação Getúlio Vargas. Atualmente trabalha na Equatorial como responsável pela gestão dos processos de padronização de materiais e equipamentos, condução das diretrizes normativas de acesso ao sistema elétrico de distribuição, bem como padrões e critérios técnicos e construtivos de redes de distribuição, linhas de distribuição e subestações da Equatorial Energia.

6) FERNANDO ANTONIO RAUTENBERG FINARDI

Possui graduação em Engenharia de Computação pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas (2017). Tem experiência na área de Ciência da Computação, com ênfase em Sistemas de Computação, atuando no desenvolvimento de software full-stack (Front-end e Back-end), ciência de dados e desenvolvimento de soluções de Machine Learning. Atualmente é Especialista em Desenvolvimento de Software na FITec – Fundação para Inovações Tecnológicas. Tem como linhas de desenvolvimento: Arquitetura de Sistemas, Desenvolvimento de Software e Inteligência Artificial.

(7) CRISTINA YURIKA KONATU OBATA ADORNI

Possui graduação em Análise de Sistemas pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas (1987). Atualmente é pesquisadora da FITec – Fundação para Inovações Tecnológicas, na área de Engenharia de Sistemas com ênfase em Inteligência Artificial e gerenciamento de projetos P&D ANEEL. Tem experiência na área de Ciência da Computação, Análise de Sistemas, Validação de Sistemas e Análise de Dados. Também tem experiência em pesquisa e desenvolvimento e na coordenação de atividades de gestão e planejamento. É membra do Conselho Técnico-Científico da FITec.

(8) ILANA FRANÇA

Graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Maranhão (2020) e Pós-Graduanda em Gestão de Projetos pelo INEX – Instituto Nacional de Educação e Extensão. Atualmente é Analista de Projetos do NEPEN - Núcleo de Estudos e Pesquisas do Norte e Nordeste / Grupo Equatorial Energia (MA), tendo como função o

gerenciamento técnico de projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) / ANEEL, coordenando cronogramas e entregas dos produtos neles desenvolvidos).