

IDENTIFICAÇÃO DE DORMENTES EM FERROVIAS USANDO PROCESSAMENTO DE IMAGENS

ANDRÉ S. FRANCA, RAQUEL F. VASSALLO

Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo

E-mails: andre.stanzani@gmail.com, raquel@ele.ufes.br

Abstract— This paper presents a partial development for a fast and efficient alternative to detect and account sleepers in railways. It uses Haar wavelets, integral images and other image processing techniques combined with pattern recognition and topological aspects of the railway to achieve the proposed goals. Tests were performed with real images captured from railway operation, being affected by noise and light variations due to real operation. Nevertheless, the partial results appear promising. In addition, the proposed detection method allows developing a methodology, to identify the type of sleepers and evaluate their condition.

Keywords— Image Processing, Pattern Recognition, Haar wavelet, Integral Images, Railway, Sleeper

Resumo— Este trabalho apresenta um desenvolvimento parcial para uma alternativa rápida e eficiente de detectar e contabilizar dormentes em ferrovias. Utiliza Haar wavelets e imagens integrais, além de outras técnicas de processamento de imagens combinadas com reconhecimento de padrões e aspectos da própria topologia da ferrovia para alcançar os objetivos propostos. Os testes foram feitos com imagens reais do cotidiano ferroviário e estavam sujeitos aos diversos ruídos e variações de uma operação real. Mesmo assim, os resultados parciais parecem promissores. Além disso, o método proposto permitirá desenvolver uma metodologia para identificar o tipo de cada dormente e avaliar também as condições dos mesmos.

Palavras-chave— Processamento de Imagens, Reconhecimento de Padrões, Haar wavelet, Imagens Integrais, Ferrovia, Dormente

1 Introdução

Nos processos de manutenção industrial, o monitoramento de ativos é uma importante disciplina, tendo em vista a sustentação de aspectos operacionais da empresa. Nesse sentido, o monitoramento de ativos agiliza e provê mais acurácia à manutenção (Soares, 2006; Babenko, 2006).

Em ferrovias, dado a localização remota e de difícil acesso da via férrea, a sua manutenção sempre foi uma tarefa penosa e complexa para o trabalhador, que frequentemente fica exposto a intempéries do clima, a animais peçonhentos e a áreas com pouca infraestrutura. Destacam-se também a extensão do trecho ferroviário e os próprios ativos, que geralmente possuem grande dimensão e peso, dificultando o seu manuseio e manutenção. Com isso, têm sido desenvolvidas tentativas de mecanização e automatização do processo de manutenção ferroviária (Auer, 2013). Há trabalhos desenvolvidos em monitoramento das condições de locomotivas e vagões (condições de sapatas de freios, molas, alinhamento de truques, identificação de vagões, etc.) (Zou, Xu, Li and Zhou, 2014), segurança operacional e monitoramento da via permanente (Geometria, defeitos e falhas, etc.) (Auer, 2013; Shah, 2010; Rubinsztejn, 2011; Babenko, 2006; Yella, Gupta and Dougherty, 2007; Yella, Pasha, Gupta and Dougherty, 2008).

Em particular os ativos da via permanente, composta pelos elementos de lastro, sub lastro, dormentes, elementos de fixação, trilhos e aparelhos de mudança de via entre outros (Porto, 2010), conforme a Figura 1, sofrem muito com as dificuldades de manutenção citadas.

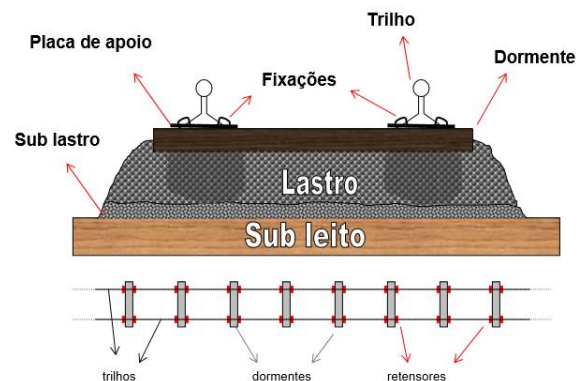


Figura 1 – Elementos da via permanente. Fonte: Porto, 2010

A condição dos elementos da via permanente pode causar restrições ou mesmo impedir uso de um trecho da ferrovia. Os motivos para tal podem ser inúmeros, como trilhos fraturados e tensionados, condições do lastro (limpeza e altura), condições dos dormentes (principalmente as condições físicas e o espaçamento) e o estado dos elementos de fixação (Soares, 2006). Portanto, a identificação da condição dos dormentes da via para manutenção da sua qualidade é um dos fatores fundamentais para a segurança e a produtividade do transporte ferroviário. Tal identificação consiste em:

- 1) Inventariar o tipo de dormentes do local e suas quantidades. Os materiais mais comuns para uso em dormentes são: madeira, aço e concreto.
- 2) Identificar a qualidade de cada tipo de dormente. Alguns desses aspectos são perceptíveis visualmente, como eventuais rachaduras, quebras e sinais deterioração.

- 3) Outras condições, como ausência de fixação, também influenciam nas funções de elasticidade e rigidez desejáveis à via férrea.

1.1 Objetivos deste projeto

Apesar da segurança operacional da via permanente já ser contemplada por alguns recursos em monitoramento de imagens (Auer, 2013), o objetivo deste trabalho é propor e desenvolver um processo diferencial para o monitoramento da via através de imagens capturadas durante viagens ferroviárias, servindo como um recurso complementar aos disponíveis no mercado.

Para o desenvolvimento de tal projeto, serão utilizadas as imagens capturadas pelo Carro Controle, um veículo ferroviário próprio para monitoramento da via permanente. Este veículo possui sistemas embarcados com sensores inerciais (IMU), lasers, GPS, e câmeras para avaliar itens que compõem a via permanente. Um exemplo de imagens que este equipamento captura encontra-se na Figura 2. Trata-se da vista superior parcial dos trilhos, dormentes e elementos de fixação obtida com 2 câmeras apontadas verticalmente e um sistema de iluminação estroboscópica.

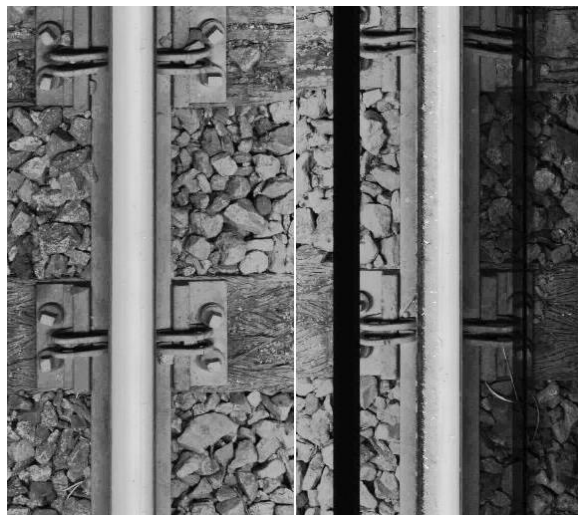


Figura 2 – Exemplo de imagem capturada pelo carro controle.

Com isso, desenvolveu-se um projeto com os seguintes objetivos:

- 1) Contabilizar e inventariar os dormentes presentes em cada trecho ferroviário;
- 2) Identificar a condição dos dormentes nos trechos analisados (apodrecimento em dormentes de madeira, rachaduras e quebra em dormentes de todos os tipos, além de deslocamento e ausência de dormentes);
- 3) Identificar a ausência de fixação de dormentes e outros possíveis problemas.

Neste artigo, foi dado foco às análises iniciais do projeto, relativas à contabilização e à inventariação de dormentes por meio de técnicas de processamento de imagens e reconhecimento de padrões.

2 Metodologia

Para identificar e contabilizar os tipos de dormentes ao longo da via férrea e, posteriormente, identificar possíveis dormentes com problemas, é preciso identificar as regiões prováveis a conterem dormentes visíveis. Diz-se dormentes visíveis, pois podem ocorrer imagens cujos dormentes estão ausentes ou totalmente cobertos pela estrutura do lastro (composta por brita). Neste caso, a informação de um dormente não visível também é uma informação válida.

De forma geral, a metodologia pode ser descrita da seguinte forma:

- 1) Determinar, na imagem capturada, onde se encontram os dois trilhos. Essa informação é bem caracterizada e sempre presente na imagem.
- 2) A partir dessa informação, determinam-se quatro regiões de interesse (ROIs) distintas que podem conter os dormentes e as fixações: à esquerda e à direita do trilho esquerdo e à esquerda e à direita do trilho direito.
- 3) Nessas ROIs procura-se a posição das fixações próximas aos trilhos. Estas fixações são um forte indício da posição dos dormentes.
- 4) Nas mesmas ROIs usam-se outros métodos para a procura dos dormentes visíveis.
- 5) Combinando as informações dos itens 3 e 4, decide-se quais são as mais prováveis posições dos dormentes na imagem.
- 6) Determina-se, nas posições escolhidas, se há dormentes visíveis ou cobertos pelo lastro (brita).
- 7) Classificam-se os dormentes visíveis em dormentes de vários tipos: Madeira, Aço, Concreto.

Neste artigo, será apresentado o desenvolvimento do método até o passo 6. O restante encontra-se ainda em desenvolvimento.

Na Figura 3 é apresentado o diagrama de blocos com os passos apresentados da metodologia, a serem explorados nas seções seguintes com maior detalhe.

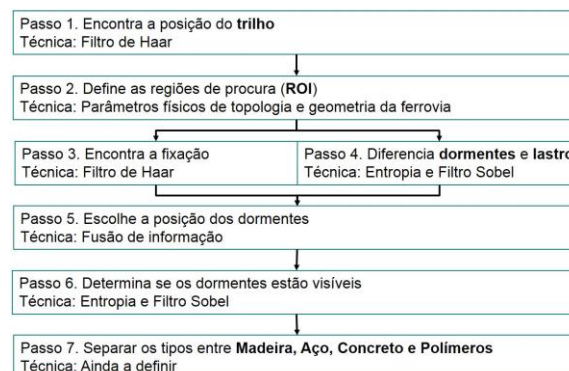


Figura 3. Diagrama simplificado dos passos necessários a alcançar os objetivos

2.1 Identificando a posição dos trilhos (Passo 1 e 2)

A superfície superior dos trilhos está sempre presente na imagem capturada e sua geometria é bem caracterizada porque se apresenta na imagem de cima a baixo como um retângulo mais claro que a vizinhança. Entretanto, sua posição varia lateralmente na imagem de acordo com as curvas e retas da via férrea no momento da aquisição da imagem.

Diversas técnicas foram testadas para encontrar a posição dos trilhos na imagem. Entre elas, estão testes com filtros Canny, filtros Gaussianos, filtro bilateral e até uma combinação entre o valor dos pixels acumulados horizontalmente e suas variâncias. Este último destaca-se por tentar resolver, de forma rápida e com pouco custo computacional, problemas de variação de iluminação e a grande quantidade de candidatos que as implementações com os filtros lineares gera.

No entanto, a técnica que se mostrou bastante valorosa pela assertividade e rapidez na resposta foi a combinação de Imagens Integrais (chamadas de Tabelas de Áreas Somadas em Crow, 1984) e filtro de Haar (Haar wavelets em Papageorgiou, 1998). Entretanto, nesta implementação não foi utilizada a arquitetura de classificadores em cascata e nem foi preciso treinar o classificador de forma recorrente, como acontece no algoritmo de reconhecimento de face Viola-Jones (Viola and Jones, 2004). Apenas se utiliza a rapidez e robustez da combinação das Imagens Integrais e do filtro de Haar para calcular derivadas para todos os pixels da imagem em praticamente um único passo.

Tomando como base a dimensão do boleto (que é a parte superior do trilho) e sua disposição na imagem, o elemento do filtro de Haar foi estabelecido conforme mostrado na Figura 4. A *feature* $w1$ é a média da dimensão do boleto do trilho, em pixels.

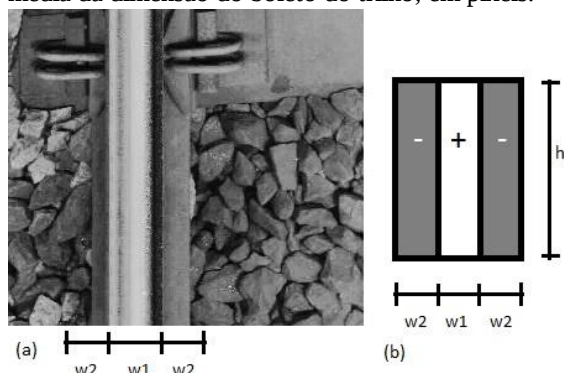


Figura 4. (a) Exemplo de extração de *feature* do trilho. (b) Filtro de Haar para encontrar a posição do trilho.

O resultado do filtro de Haar é a posição mais provável horizontalmente onde o trilho se encontra na imagem. Erros e falsos positivos são descartados considerando informações de distância entre trilhos (comumente conhecida como bitola) e dimensão da imagem.

Portanto, de posse da posição do trilho (Passo 1), é possível determinar as possíveis quatro regiões

de interesse (ROI's) onde os dormentes poderão ser vislumbrados (Passo 2).

2.2 Procurando a fixação do trilho (Passo3)

Os elementos de fixação são os pontos de apoio entre os dormentes e os trilhos e, portanto, sua presença indica a posição dos dormentes. Por vezes, mesmo com o dormente encoberto é possível visualizar a fixação na imagem.

Para a localização da fixação usou-se a mesma ideia da procura do trilho: Imagens Integrais e filtro de Haar. No entanto, o filtro utilizado foi diferente. No caso do trilho, que possui uma dimensão significativa, cortando toda a imagem verticalmente, foi adotado um filtro simples. Sua maior vantagem consiste em evitar falsos positivos, visto que sua dimensão vertical é maior que qualquer outro elemento presente na imagem (mesmo assim menor que a dimensão da imagem). No caso da fixação, o filtro deve ser simples, mas representar bem o elemento procurado; e não complexo o bastante para se perder em variações de tamanho e posição, além de não sofrer interferência de outros elementos da imagem. Em testes preliminares para esta pesquisa, o uso de filtros complexos (constituídos de mais de 5 regiões diferenciadas no filtro) resultou em falhas consideráveis. As melhores respostas vieram de filtros mais simples, conforme mostrado na Figura 5. O filtro foi implementado considerando que a fixação normalmente se apresenta com o grampo aparente (Figura 5) e, portanto, com uma região de sombra característica que o grampo gera.

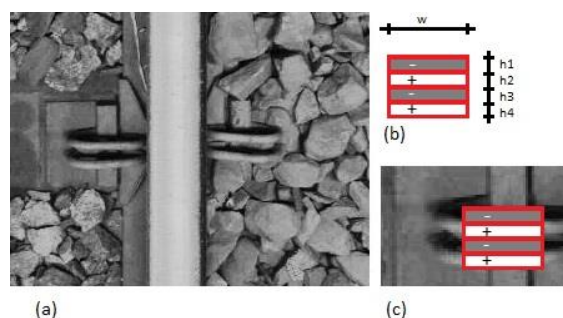


Figura 5. (a) Exemplo de imagem com a fixação aparente e o dormente aparente e não aparente. (b) Filtro de Haar para encontrar a fixação. (c) Aplicação do filtro sobre a região da fixação e a correspondência (*matching*) com as regiões de sombra.

Seguindo o mesmo procedimento de procura do trilho, o resultado da filtragem retorna as prováveis posições das fixações. Com base na posição do trilho, topologia das fixações nas quatro ROI's e geometria da linha, alguns casos de falso positivo que ainda possam ocorrer são facilmente descartados.

2.3 Procurando dormentes (Passo 4)

Nas regiões de interesse, as fixações são os elementos que aparecem mais próximos aos trilhos. Os dormentes, quando visíveis, aparecem após as fixações. Por-

tanto a região mais propícia para a procura dos dormentes é esta região de interesse, excluindo a região destinada a fixação.

De posse das regiões de procura dos dormentes, buscou-se informações na imagem que poderiam diferenciar uma imagem com dormentes de uma imagem com brita. Uma imagem com brita possui informação aleatória de intensidade e as dimensões dos elementos são inferiores à largura dos dormentes padrões. Deste modo, duas técnicas foram empregadas para usar essas informações e determinar se há dormente visível na região.

A primeira foi avaliar a entropia da região. Se a região apresenta uma alta entropia (entenda-se entropia como grande variabilidade das intensidades dos pixels em relação aos vizinhos (Madasu and Yarlagadda, 2007), então é bem provável que o elemento visível seja apenas brita (proveniente do lastro). Por outro lado, baixa entropia em uma grande área pode significar um grande elemento com uma superfície de baixa variância, ou seja, uma textura homogênea.

A característica de entropia para cada pixel de uma imagem é definida conforme a Equação (1):

$$E(i, j) = - \sum_{i=1}^w \sum_{j=1}^w I(i, j) \log I(i, j) \quad (1)$$

Onde:

E: Entropia de cada pixel da imagem

I: Matriz de intensidades da imagem

w: Janela de avaliação de vizinhos (usou-se 9x9)

Para o limiar de entropia estabelecido (80% do valor máximo da região), fica claro o destaque das regiões de baixa entropia. Por fim, são agrupadas e consideradas como candidatas a dormentes as regiões que apresentam regiões de baixa entropia e que possuem dimensão esperada de dormente. A Figura 6 exemplifica essas características.

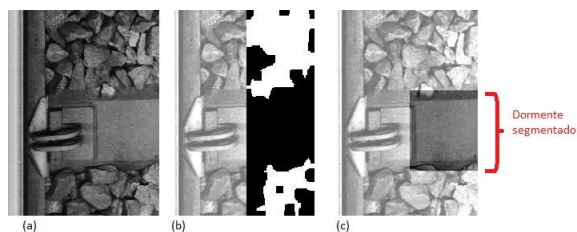


Figura 6. (a) Exemplo de imagem com dormentes a serem procurados. (b) Aplicação de Filtro de Entropia na região de interesse. (c) Região com baixa resposta ao filtro Entropia destacada e identificando o dormente segmentado.

A outra técnica empregada foi avaliar regiões que possuem muitas bordas verticais. Nos dormentes não são esperadas muitas bordas verticais. Com exceção dos elementos de fixação e de eventuais objetos sobrepostos, a rigor, na região dos dormentes não haverá bordas verticais. Em particular nos dormentes de madeira esperam-se apenas algumas bordas horizontais, decorrente dos nós naturais da madeira.

Ademais, nas regiões de brita, dada a sua natureza aleatória, esperam-se muitas bordas verticais e horizontais. Dada esta constatação e utilizou-se um filtro de borda Sobel vertical para diferenciar os dormentes da brita.

Da mesma forma que a avaliação anterior, regiões que possuíam pouca presença de bordas verticais e que possuíam a dimensão da largura dos dormentes são as mais prováveis de o serem de fato (Figura 7).

Essa avaliação é apreciada como necessária, pois, no caso de dormentes de madeira, se a superfície do dormente possuir muitos nós na madeira, eventualmente na avaliação de entropia pode-se presumir que não se trata de um dormente. No entanto, na avaliação de bordas verticais, isso será desmentido.

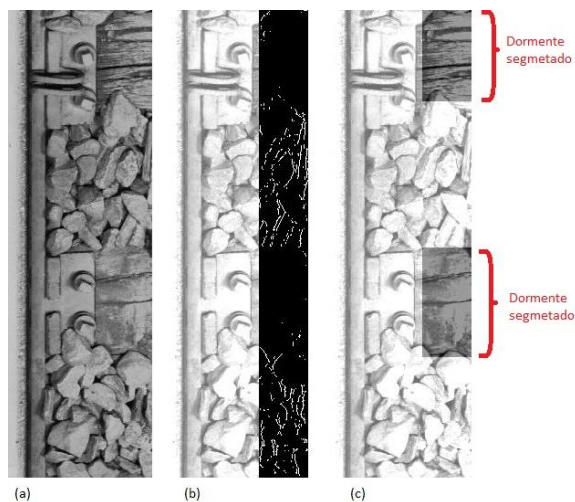


Figura 7. (a) Exemplo de imagem com dormentes a serem procurados. (b) Aplicação de Filtro de borda Sobel Vertical na região de interesse. (c) Região com baixa resposta ao filtro de borda destacada e identificando o dormente segmentado

2.4 Estimando a posição dos dormentes (Passo 5)

Sintetizando o que foi apresentado anteriormente, tem-se as informações das possíveis posições dos dormentes obtidas de diferentes formas:

- Posição da fixação (descrita no Passo 3)
- Entropia (descrita no Passo 4)
- Filtro de borda (descrita no Passo 4)

Todas essas avaliações são independentes entre si. Isto é, por não utilizarem informações comuns, uma avaliação não influencia a outra. Com isso, uma avaliação errada não induz erro em outra avaliação e assim o erro não se propagará até a avaliação final.

Além disso, as implementações foram construídas de forma a não serem sensíveis à variação de iluminação e dependerem minimamente de constantes e *thresholds* fixos. Quando presentes, estes são adaptativos. São métodos de classificação não supervisionados e, portanto, não necessitam de treinamento prévio. No entanto, se apoiam muito nos parâmetros de topologia e dimensões dos elementos comuns da via férrea.

Para a estimativa cabal da posição foram consideradas as informações citadas anteriormente e também a informação da quantidade de dormentes espe-

rados (de acordo com a dimensão da imagem) e distância mínima e máxima entre dormentes. Tudo isso foi compilado em um sistema de votação (com pesos balanceados de acordo com as informações mais fidedignas). Como o dormente que apoia os dois trilhos está bem alinhado dos dois lados da imagem (veja por exemplo Figura 2), há, no melhor caso, 12 oportunidades para confirmar verdadeiramente a posição de um dormente (4 regiões independentes X 3 métodos diferentes). Essas oportunidades diminuem, por exemplo, quando um dormente está encoberto nas ROI's (veja Figura 5) ou a fixação está ausente ou quando uma das 4 regiões é tão estreita que possui a dimensão dos elementos da brita. Isto ocorre principalmente quando a via férrea está em uma curva.

2.5 Determinando se o dormente é visível (Passo 6)

Considerando que as posições foram bem determinadas com os passos anteriores, a próxima etapa consistiu em avaliar se o dormente estava visível ou coberto pelo lastro. Basta utilizar as informações do Passo 4, provenientes da avaliação de Entropia e de Filtro Sobel, para saber se a região possui tanta informação aleatória quanto é comum as regiões que caracterizam o lastro.

Ao saber se a região possui dormente visível, é possível passar ao próximo passo: Determinar qual o tipo de dormente presente. Este passo está atualmente em desenvolvimento

3 Desempenho e resultados

Foi utilizado para essa implementação um computador com processador Intel Core i7 2,2 Ghz, com 8 Gb de memória RAM e plataforma Windows 8 Enterprise. O algoritmo está implementado até o desenvolvimento atual em Matlab R2013a com acesso a bibliotecas comuns de processamento de imagens.

Entende-se que o desempenho em termos de velocidade de processamento pode melhorar quando o algoritmo migrar da linguagem interpretada para uma linguagem compilada, por exemplo C++ com acesso à biblioteca de processamento de imagens. No entanto, considerando as condições atuais e o desenvolvimento até o Passo 6, para se processar e visualizar os resultados foram gastos em média 0,7s para processar uma imagem de 512x256pixels (imagem padrão para dois dormentes por imagem). A base de dados é composta de 2.881 imagens de uma viagem real de equipamento ferroviário. A Tabela 1 em seguida apresenta o desempenho do conjunto algoritmo e sistema utilizado.

Tabela 1. Tempo de processamento e base de dados.

Tamanho da imagem [pixels]	Tempo de processamento médio [s]	Quantidade imagens na base de dados	Quantidade máxima de dormentes
256x256	0,4 s	1947	1
512x256	0,7 s	852	2
1024x256	1,3 s	82	4

A preocupação com o tempo de processamento é pertinente, pois, como a quantidade de imagens é grande (obtem-se quase 340 imagens por minuto de viagem ferroviária), um alto tempo de processamento inviabilizaria a aplicação real. Além disso, o intuito é que a solução seja implementada em tempo real, para atuação imediata das equipes de manutenção.

As imagens do banco de dados possuíam uma imperfeição recorrente. Conforme a Figura 2, a porção direita da imagem possuía uma faixa negra e larga percorrendo a imagem de cima a baixo, do lado esquerdo do trilho direito e uma faixa negra e estreita do lado direito. Isso se deve a avarias no sistema de iluminação e de aquisição das imagens, que tornam as imagens do lado direito sempre mais escuras devido à baixa iluminação e com essas faixas negras presentes, diminuindo a quantidade de informação útil. Mesmo assim o sistema respondeu adequadamente.

Em termos de desempenho do algoritmo em encontrar a posição mais provável do dormente (até o Passo 3), o algoritmo encontrou em 100% dos testes a posição do trilho e em 95% encontrou os elementos de fixação corretamente. A lacuna restante refere-se a casos em que os grampos de fixação estão ausentes (ver Figura 7) ou outros elementos que se confundem com a fixação, como talas e aparelhos de mudança de via. Apesar disso, como a posição do dormente é determinada redundantemente pela informação de cada um dos trilhos, a taxa de acerto da posição do dormente sobe para 98% de acerto.

Dado que a posição mais provável do dormente é conhecida (Passo 3), resta avaliar se a região contém dormente aparente ou não. As duas metodologias para tal, Entropia e Filtro de Sobel apresentaram as seguintes métricas para classes não balanceadas (Tabela 2):

Tabela 2. Desempenho do método de Entropia, Filtro Sobel e a combinação desses dois métodos.

Metodologia	Sensitividade (recall)	Precisão	F1 (média harmônica)
Entropia	52%	72%	61%
Filtro Sobel	75%	81%	78%
Entropia+Sobel	80%	87%	83%

Nota-se que a combinação das duas metodologias teve o melhor resultado (Passo 6), pois levou em

consideração uma votação entre os métodos e outras informações de topologia da via férrea.

4 Conclusão

O método de identificação de dormentes proposto neste trabalho tem respondido de forma satisfatória na identificação das regiões que contém dormentes. Há ainda espaço para melhorias no algoritmo, a fim de melhorar a precisão e a sensibilidade. Em breve, serão implementados e testados novos ajustes em busca de tais melhorias.

No entanto, julgou-se necessário citar estratégias preliminares que não foram bem-sucedidas. Por exemplo, visto que a imagem possui iluminação deficiente em algumas regiões (principalmente o lado direito da imagem, veja Figura 2), pensou-se em equalizar cada uma das regiões. Contudo, isso acabou gerando muitos artefatos na imagem, prejudicando as estratégias de procura de dormentes baseadas em uniformidade ou pouca energia. Outro problema enfrentado foi o fato de que algumas vezes a região de interesse era muito estreita (no sentido horizontal) e, portanto, a dimensão visível do dormente era equivalente à dimensão dos elementos do lastro. Para tentar resolver isso, tentou-se avaliar também a região sobre a fixação, procurando ali também pouca Entropia ou bordas verticais. Os novos resultados não acrescentaram muita precisão ao algoritmo, por isso essa estratégia foi abandonada.

Para resolver essas questões, poderiam ser feitos ajustes no sistema de captura de imagens, afim de obter imagens com maior área útil e melhorando-se o sistema de iluminação que se encontra avariado.

Por fim, entre os trabalhos futuros relativos ao presente projeto, estão a efetiva classificação do tipo de dormente e a identificação dos defeitos e problemas existentes. Outro passo relevante para ressaltar o aspecto de pesquisa acadêmica deste projeto é a sua comparação com outras metodologias já publicadas, como por exemplo Babenko (2016), Mohammad (2008) e Yella, Pasha, Gupta and Dougherty, (2008). Alguns desses trabalhos apresentaram resultados satisfatórios em ambientes controlados e outros em situações reais de operação.

Referências Bibliográficas

Auer, F. (2013). Multi-function track recording cars. *Rail Technology Review*. Vol: 53, Issue Number: 3/4, pp 32-36, Nov 2013.

Babenko, P. (2016). *Visual inspection of railroad tracks*. Tese de Doutorado. School of Electrical Engineering and Computer Science in the College of Engineering and Computer Science at the University of Central Florida Orlando, Florida.

Crow, F. (1984). Summed-area tables for texture mapping. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, 18(3), pp.207-212.

Madasu, V. K., Yarlagaadda, P. (2007). An in depth comparison of four texture segmentation methods. *DICTA 2007*: 366-372.

Mohammad, S. P. (2008). Machine vision for automating visual inspection of wooden railway sleepers. Dissertação de Mestrado. Department of Computer Science, Dalarna University College.

Papageorgiou, C., Oren, M., e Poggio, T. (1998). A general frame-work for object detection. *International Conference on Computer Vision*.

Porto, T. (2004). PTR 2501 – Transporte Ferroviário E Transporte Aéreo, Universidade de São Paulo, USP.

Rubinsztejn, Y. (2011). Automatic Detection of Objects of Interest from Rail Track Images. Dissertação de mestrado. Faculty of Engineering and Physical Sciences, University of Manchester.

Shah, M. (2010). Automated visual inspection/detection of railroad track. Relatório Final de Pesquisa. University of Central Florida. Computer Vision Laboratory.

Soares, L. S. (2006). Procedimento para determinação da velocidade máxima autorizada. Monografia. Curso de Especialização em Transporte Ferroviário de Carga, Instituto Militar de Engenharia, IME.

Viola, P. and Jones, M. (2004). Robust Real-Time Face Detection. *International Journal of Computer Vision*, 57(2), pp.137-154.

Yella, S., Gupta, N. and Dougherty, M. (2007). Automating condition monitoring of wooden railway sleepers. *Engineer IT*, 32-35, Out 2007.

Yella, S., Pasha, S.M., Gupta, N. and Dougherty, M. (2008). Classifier fusion for condition monitoring of wooden railway sleepers. *Engineer IT*, 68-71, May 2008.

Zou, R., Xu, Z., Li, J., Zhou, F. (2014). Real-time monitoring of brake shoe keys in freight cars. *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*. Vol 16 No.3 P.191-204, 2015.