



Aplicação de análise termográfica no estudo de variação de umidade no papel tissue

Introdução

Com o objetivo de estudar a influência dos elementos desaguadores (formação/prensagem/secagem) na definição da folha de papel na enroladeira, basicamente faremos uso de duas ferramentas: uma delas é a imagem térmica (análise termográfica através de infravermelho), que define o perfil transversal de temperatura e registra a variação longitudinal de temperatura; a outra será uma ferramenta matemática baseada na “Transformada Rápida de Fourier” ou FFT (*Fast Fourier Transform*) para estudo longitudinal da variação de temperatura.

Método

Como o incremento de temperatura da folha é inversamente proporcional à massa de água nela remanescente, então a umidade relativa a essa temperatura fica correlacionada. Portanto, regiões mais frias contêm maior massa de água e regiões mais quentes, menor massa de água. Dessa forma, correlacionamos a imagem térmica ao teor de umidade da folha, bem como às suas variações.

Com relação a variações de temperatura na superfície do Yankee, consideramos que temperaturas mais elevadas sugerem maior transferência térmica do vapor interno com a superfície externa, e temperaturas mais baixas, com a menor transferência térmica. Se admitirmos que a espessura da camisa seja uniforme, a variação de temperatura na superfície externa do Yankee é resultado de uma variação na espessura do anel de condensado na face interna.

Radiação infravermelha

A radiação infravermelha foi descoberta em 1800 por William Herschel, um astrônomo inglês de origem alemã. Herschel colocou um termômetro de mercúrio no espectro obtido por um prisma de cristal com a finalidade de medir o calor emitido por cada cor. Descobriu que o calor era mais forte ao lado do vermelho do espectro, observando que ali não havia luz. Esta foi a primeira experiência que demonstrou que o calor pode ser captado em forma de imagem, como acontece com a luz visível.

Infravermelho é uma frequência eletromagnética natural emitida por todo e qualquer material, com intensidade proporcional à sua temperatura.

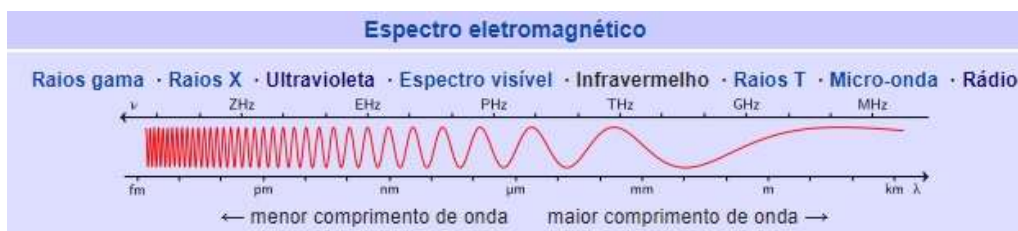


Figura 1: Espectro eletromagnético.



A radiação infravermelha é uma radiação não ionizante na porção “invisível” do espectro eletromagnético que está adjacente aos comprimentos de ondas longos, ou seja, ao final vermelho do espectro da luz visível.

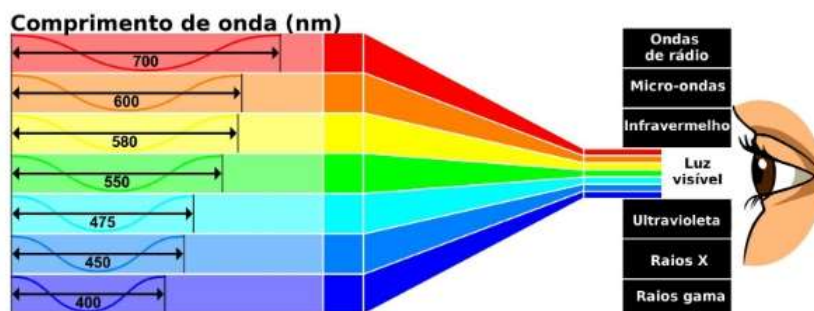


Figura 2: Espectro visível.

Termografia é uma técnica para estender à visão humana imagens do espectro infravermelho. Portanto, a captação de emissões da frequência eletromagnética na faixa do infravermelho reproduzidas em uma tela são os termogramas ou imagens térmicas, que permitem a visualização da distribuição de calor na imagem focalizada.

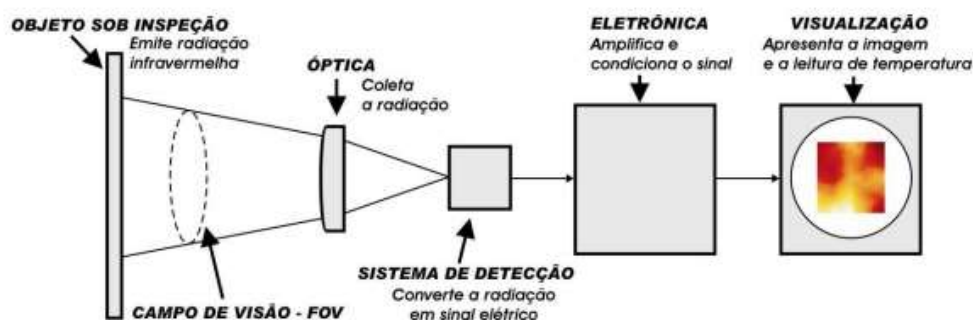


Figura 3: Esquema de câmera infravermelha.

Por meio de um termovisor fica extremamente fácil a localização de regiões quentes ou frias, através da interpretação dos termogramas que fornecem imagens, em faixas de temperaturas que podem cobrir de -40°C a 1500°C .

Transformada Rápida de Fourier

Em matemática, engenharia e em áudio profissional, a Transformada Rápida de Fourier (do inglês “Fast Fourier Transform”, abreviado FFT) é um algoritmo que calcula a Transformada Discreta de Fourier (DFT) e o seu inverso (Teorema Inverso de Fourier), criado pelo estatístico estadunidense John Tukey.

A Transformada Discreta de Fourier é obtida pela decomposição de uma sequência de valores em componentes de diferentes frequências. Esta operação é útil em muitos campos, entretanto calculá-la diretamente da definição é frequentemente lenta demais para ser prática. Uma Transformada Rápida de Fourier é uma maneira de calcular o mesmo resultado mais rapidamente.



Algoritmo representativo:

$$F(u) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) W_N^{ux}$$

Abaixo temos uma representação esquemática de como o algoritmo FFT se aplica a uma sequência de valores no domínio do tempo, separando em grupos de diferentes comprimentos de onda e suas amplitudes, e os plota num espectro de frequências com suas respectivas amplitudes.

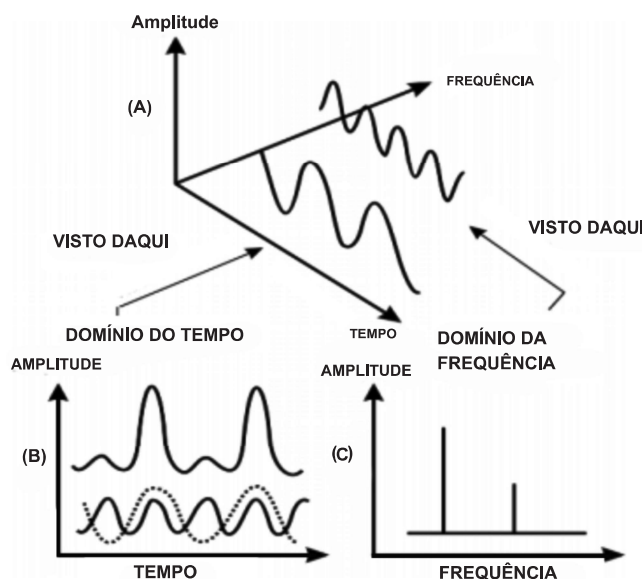


Figura 4: Esquema FFT.

Aplicação prática

Com uma câmera de imagem térmica, podemos filmar o papel na enroladeira da máquina, estudar as variações transversais e longitudinais de temperatura e correlacioná-las com os elementos de máquina.

A princípio, uma imagem estática da enroladeira já nos permite observar a variação transversal de temperatura, que, como já colocamos anteriormente, se correlaciona com a umidade do papel. Entretanto, isso apenas nos mostraria onde se localizam as faixas de umidade e sua intensidade, o que possibilitaria apenas uma correlação da localização das faixas úmidas com outras imagens térmicas dos demais elementos de máquina. Ocorre que nem sempre é possível realizar imagens da superfície dos elementos de máquina por falta de espaço físico, excesso de névoa ou pó no ar circundante. Qualquer material em suspensão no ar entre a câmera e a superfície em avaliação prejudica a resolução de imagem, por consequência, os valores de temperatura.

Abaixo, temos o exemplo de uma imagem do papel na enroladeira, onde podemos observar as variações de cores. Na parte inferior da imagem, temos uma escala de temperaturas correlacionadas aos tons de cores: tons mais escuros correspondem a temperaturas mais baixas, tons mais claros a temperaturas maiores.

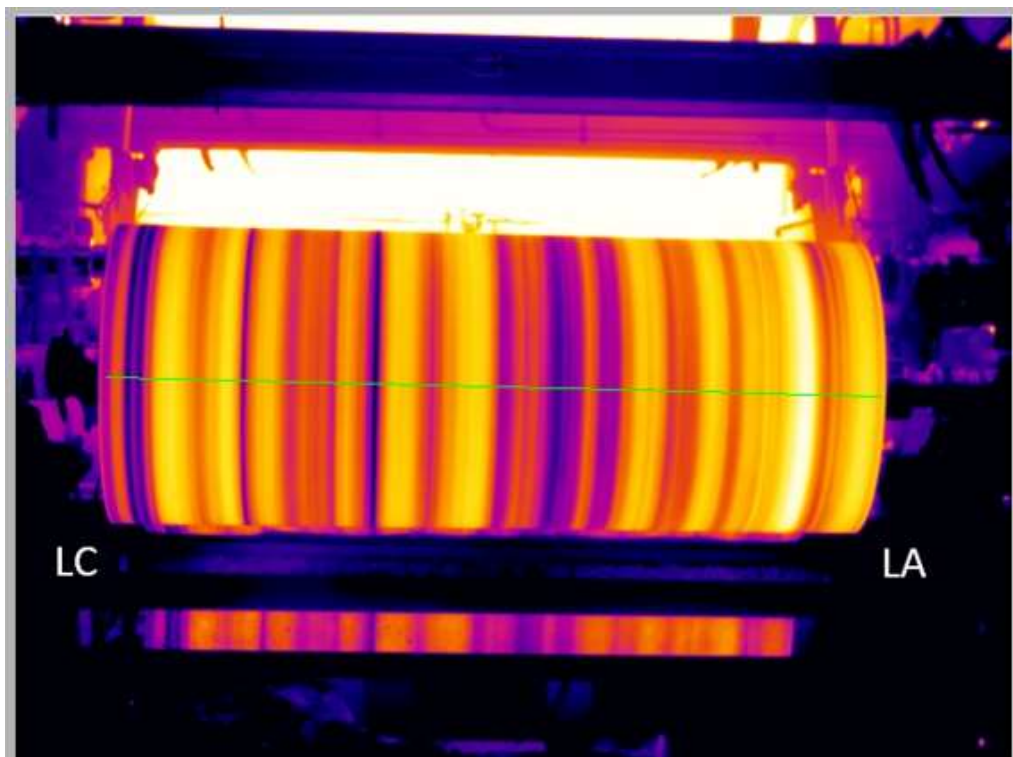


Figura 5: *Papel na enroladeira.*

A primeira análise que se pode fazer nesta imagem é a de quão significativa é a variação transversal de temperatura, uma vez que a escala de cores é ajustável a qualquer range de temperatura. Portanto, a análise qualitativa que seria visual, não é suficiente para definir se as variações são aceitáveis ou não; para isso, precisamos avaliar a variação quantitativa da temperatura.

Para tanto, traçamos a linha verde sobre o perfil (Figura 5), que se estende do lado de comando (LC) ao lado de acionamento (LA) da enroladeira, e a variação de temperatura será plotada em um gráfico, conforme a Figura 6 abaixo.

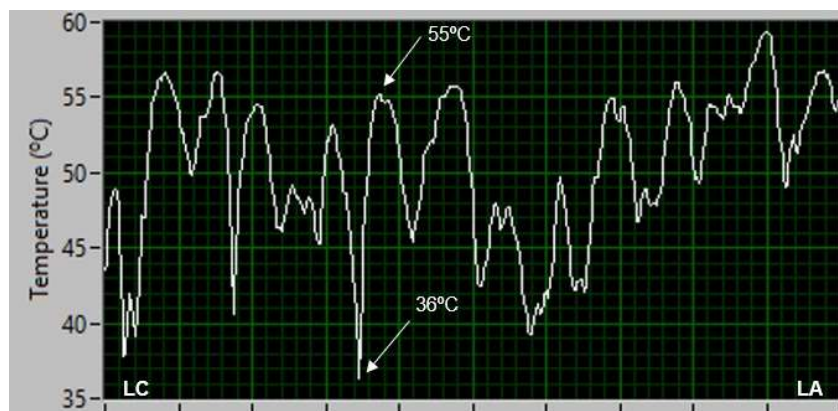


Figura 6: *Perfil transversal de temperatura na enroladeira.*



Com essa informação, podemos precisar se as variações são significativas ou não. Na prática, temos observado que variações adjacentes de temperatura abaixo de 10 °C não representam uma variação de umidade da folha significativa o suficiente para causar problemas operacionais. No exemplo acima, notamos que esta diferença entre picos e vales adjacentes atingem valores bem acima, chegando a 19 °C entre pico e vale. Cabe ressaltar que este valor “aceitável” de 10 °C é apenas orientativo, uma vez que cada equipamento opera em condições de maior ou menor exigência, o que muda um pouco a possibilidade de conviver com tais variações.

Como dissemos anteriormente, em algumas máquinas existe o espaço físico para realizar imagens de alguns dos elementos que participam da secagem da folha, e não existe nada em suspensão no ar entre a câmera e a superfície em questão. Como no exemplo abaixo, temos a superfície do Yankee, onde podemos verificar o perfil transversal de temperatura.

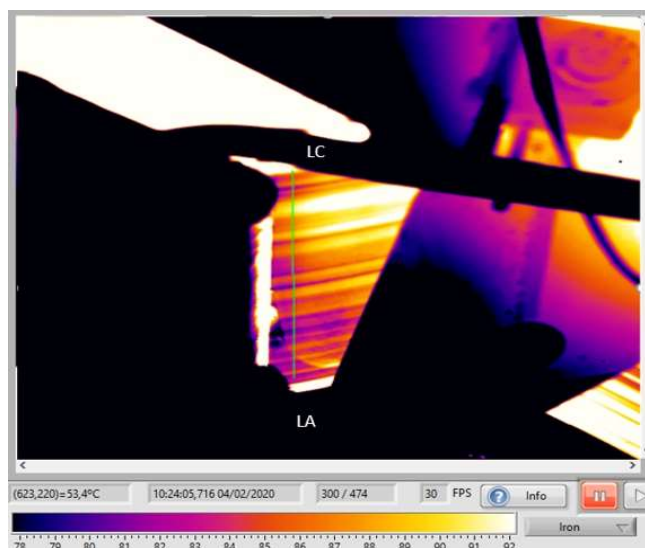


Figura 7: Superfície do Yankee.

Da mesma forma que executamos na enroladeira, ao traçar a reta de LC para LA, podemos gerar um gráfico de temperaturas, conforme plotado abaixo.

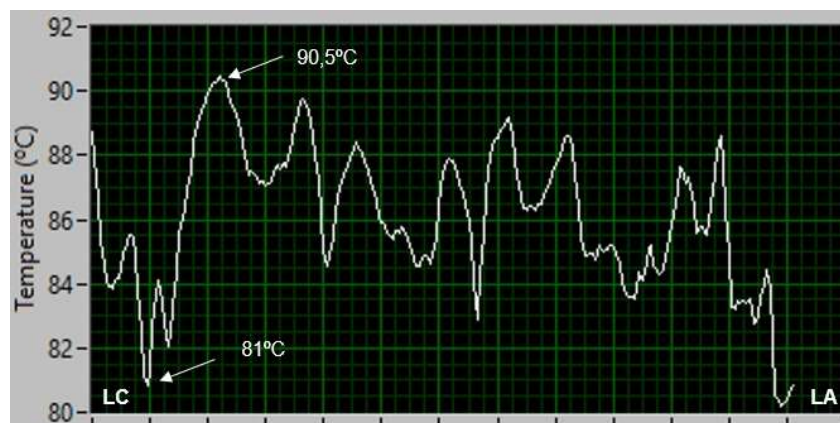


Figura 8: Perfil transversal de temperatura do Yankee.



Neste exemplo podemos observar que existe uma variação de quase 10 °C que seria tolerável para o papel na enroladeira, mas não é para a superfície do Yankee. Normalmente, variações adjacentes acima de 5 °C na superfície do Yankee já podem trazer problemas operacionais para a máquina de papel e/ou conversão.

Ainda como exemplo de possibilidade de avaliação de imagem e perfil transversal de temperatura, é possível verificar a contribuição das vestimentas. Abaixo, uma imagem do feltro entre a formação e as prensas.

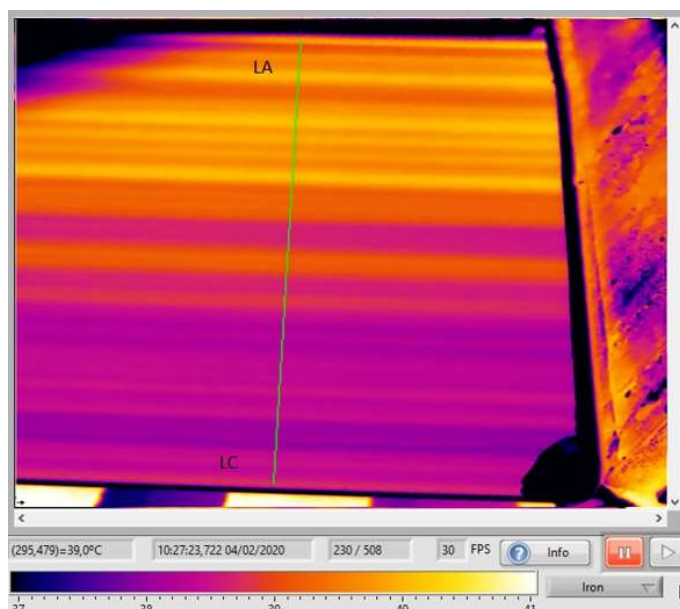


Figura 9: *Feltro*.

Da mesma forma que nas situações anteriores, é possível traçar o gráfico do perfil transversal de temperatura relativo à imagem acima. Aqui teremos variações menores de temperatura devido à baixa troca térmica, mas serve para verificarmos se o comportamento do perfil pode ter correlação com o perfil da enroladeira.

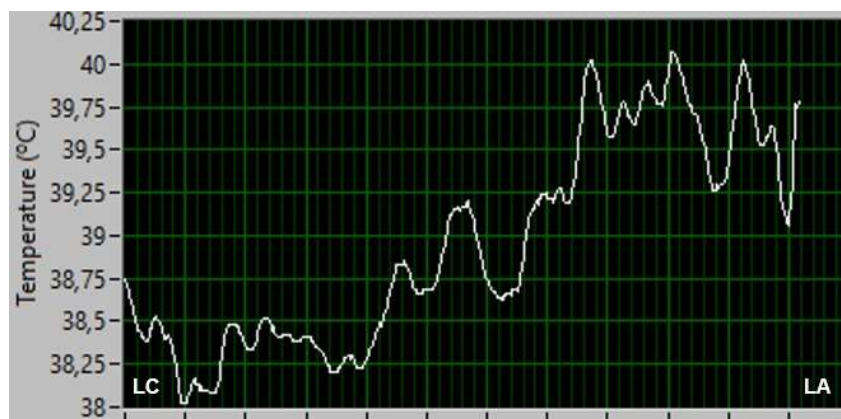


Figura 10: *Perfil transversal de temperatura do feltro*.



Abaixo (Figura 11), um exemplo de como a imagem térmica da tela formadora nos permite encontrar um ponto de interferência no perfil transversal de umidade na borda da folha. Nesta imagem, o chuvaire pichasso já havia sido ajustado para uma posição onde era possível evitar as quebras no LA. Note que, para fugir da região que causava quebras na lateral LA, o formato fora reduzido deixando o ponto mais crítico dentro do refilo. A olho nu é praticamente impossível observar esta ocorrência. Na Figura 12 temos o perfil de temperatura correspondente à imagem térmica.

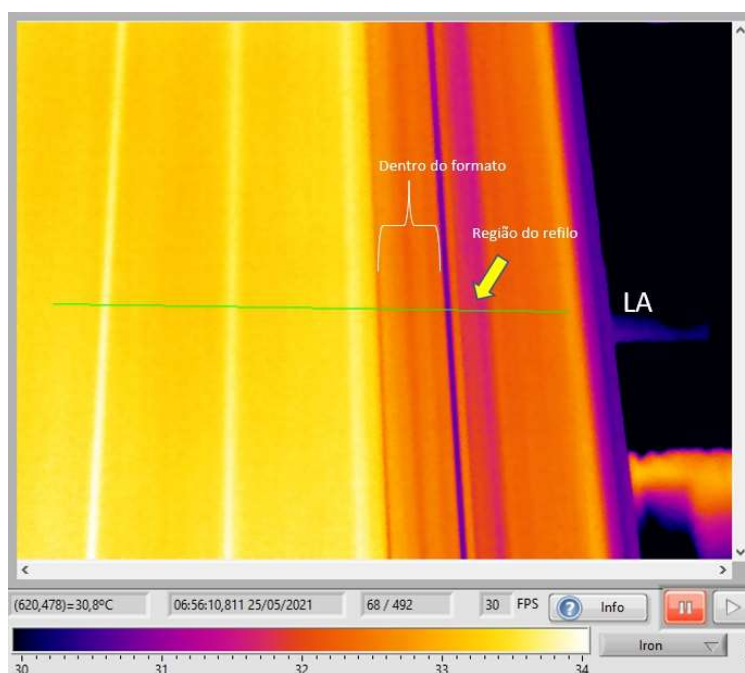


Figura 11: Imagem térmica da tela (LA).



Figura 12: Perfil transversal de temperatura da tela (LA).



Portanto, os perfis transversais estáticos, como apresentamos acima, nos servem como ferramenta comparativa no intuito de definir a contribuição de cada elemento para o perfil da folha na enroladeira. Mas como já foi mencionado, nem sempre será possível obter os perfis de temperatura dos elementos que gostaríamos de avaliar, tais como, rolo de sucção prensa, rolo formador, Yankee e vestimentas.

Numa situação em que tenhamos apenas a imagem térmica da enroladeira é possível realizar um estudo da variação longitudinal de temperaturas nas regiões de interesse definidos no perfil transversal, para verificar a possível correlação entre os elementos rotativos da máquina com a variação longitudinal de temperatura na região escolhida. Para tanto, é preciso calcular as “frequências rotacionais” dos elementos rotativos, o que se consegue facilmente ao dispor de suas dimensões (perímetros) e respectivas velocidades.

Como o trabalho se dá sobre a imagem dinâmica, para facilitar a compreensão utilizaremos o recurso de plotar as varreduras realizadas pela câmera numa imagem estática, como se estivéssemos desenrolando o papel da bobina (Figura 13).

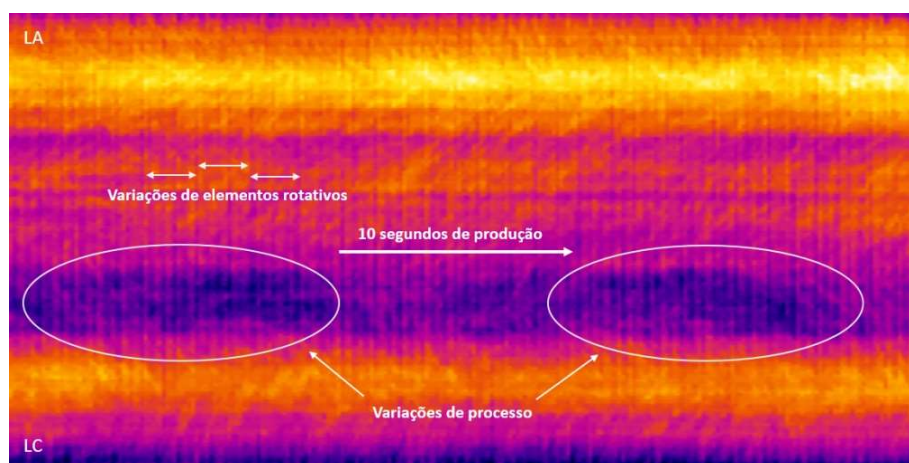


Figura 13: Imagem do papel produzido.

Na imagem acima é possível observar variações aleatórias de temperatura (umidade) no perfil longitudinal, decorrentes de processo, cuja distância é maior e, por consequência, a frequência é bem baixa. Também é possível observar variações relacionadas a elementos rotativos, cuja distância entre eventos é menor e a frequência é mais elevada. Mas, mesmo sendo possível estabelecer esse tipo de correlação, determinar a qual elemento rotativo se deve a variação longitudinal de temperatura apenas com essa imagem teria uma margem de erro muito elevada.

Na imagem abaixo (Figura 14), podemos observar a pulsação da caixa de entrada, que ocorre em baixíssimas frequências, quando comparada a elementos rotativos da máquina. Muitas vezes, se apenas observarmos o espectro de frequências, estes valores se confundem com variações aleatórias do processo, mas utilizando o recurso de plotar a varredura de leitura fica mais fácil observar as pulsações.

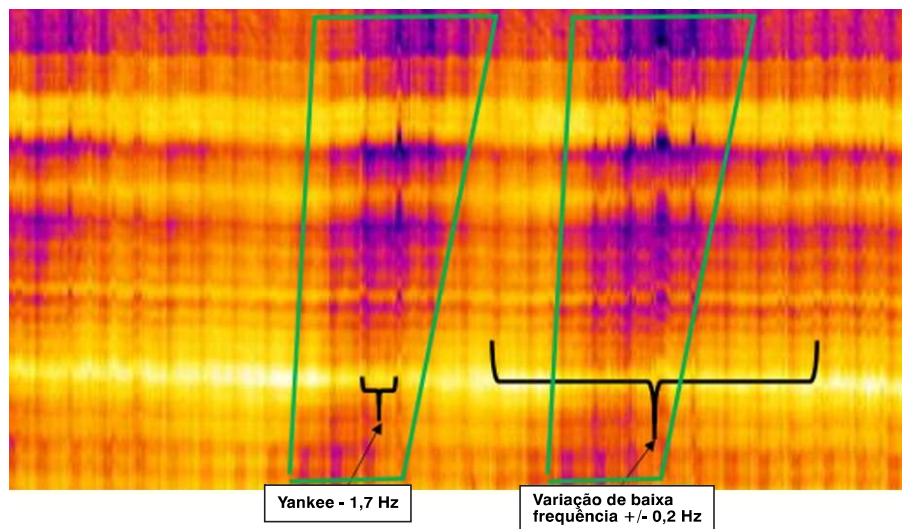


Figura 14: Imagem do papel produzido.

Com o objetivo de aumentar a precisão da análise da variação longitudinal de temperatura, lançamos mão do algoritmo FFT, já descrito anteriormente. Na imagem abaixo, filmada na enroladeira (Figura 15), estabelecemos uma região de interesse (ROI) e rodamos o filme para que o software consiga registrar a variação de temperatura e, a essa variação, um espectro de frequências correspondente.

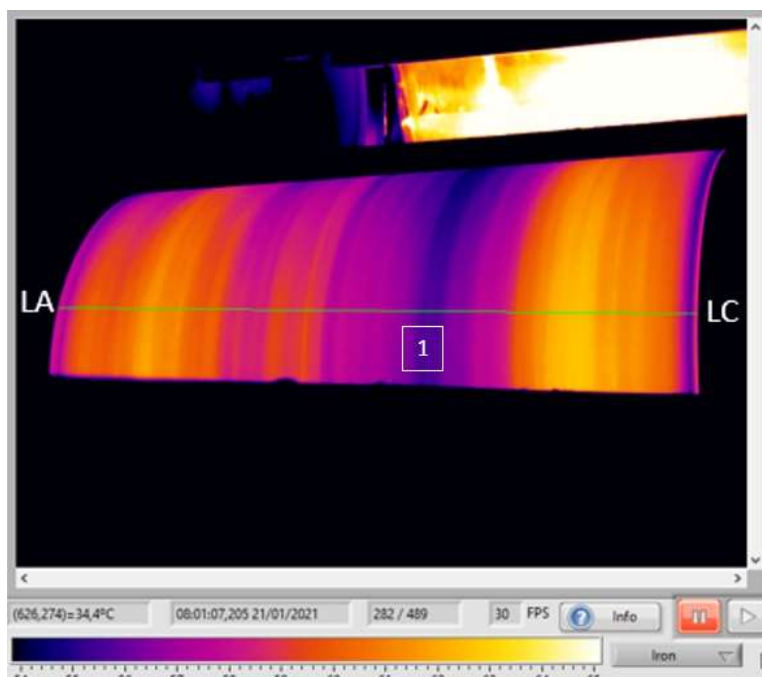


Figura 15: Imagem do papel na enroladeira – ROI 1.



À medida em que estabelecemos o local (ROI 1) a ser avaliado, o software plota um gráfico da variação longitudinal de temperatura, conforme vemos abaixo.

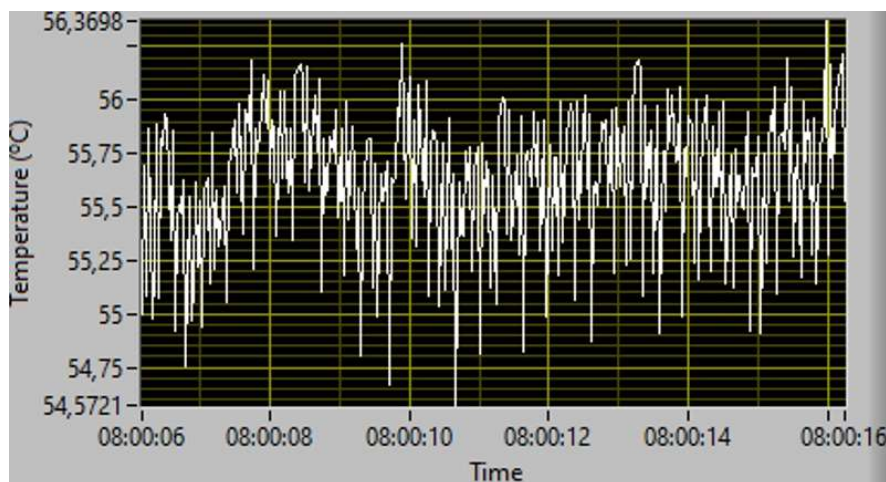


Figura 16: Variação longitudinal de temperatura no ROI 1.

Note que nestes 10 segundos de produção já temos uma amostragem de como a variação de temperatura se comporta na ROI estabelecida, mas ainda seria difícil definir um padrão específico de repetibilidade.

Mas com essa informação é possível executar a análise de FFT, resultando no seguinte espectro.

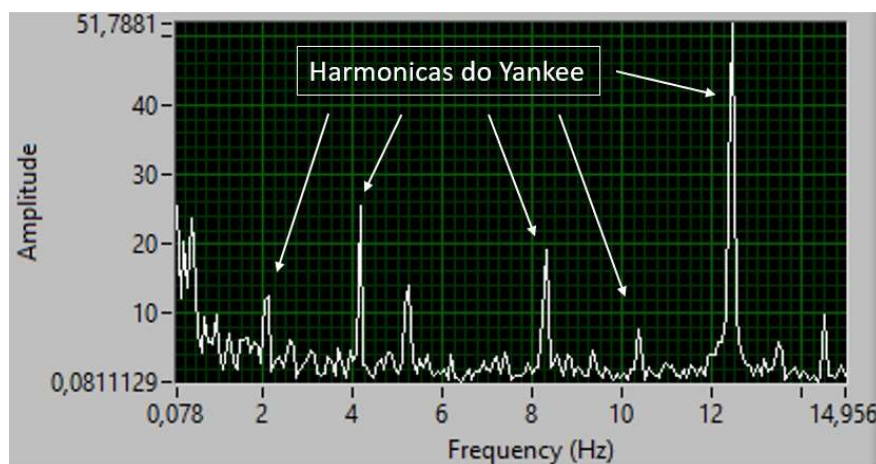


Figura 17: Espectro de frequências no ROI 1

Nesse caso (Figura 17), os picos de maior amplitude estão relacionados às harmônicas da frequência rotacional calculada previamente do Yankee (2,08 Hz), e sua maior componente se localiza na sexta harmônica da frequência rotacional, que é justamente o número de pernas de extratores internos de condensado. Isso denota que existe, na região em estudo, a influência do ajuste dos elementos extratores, portanto, participam efetivamente na determinação da perturbação de temperatura no perfil transversal de umidade.



Conclusões

Este tipo de análise mais elaborada vem somar aos serviços de avaliação dinâmica realizados nas máquinas tissue com maior frequência. Pois essas avaliações focam mais no perfil transversal do feltro, onde se determina o seu perfil de umidade e permeabilidade, que muitas vezes não explicam o perfil de umidade observado na enroladeira. Com a análise térmica ampliamos as informações, incluindo outros fatores que podem contribuir para os problemas que se observam na enroladeira.

Referências

1. Radiação Infravermelho; “Wikipédia”
2. Infravermelho – Conceito, características e aplicações; “Conhecimento Científico”
3. Transformada Rápida de Fourier; “Wikipédia”

Perfil do autor:

Marcos Emídio Bressani – Graduado em Engenharia Mecânica pelo IMT – Escola de Engenharia Mauá – SP. Atuou como engenheiro responsável por projetos e startups na Voith de 1982 a 1987. Desde 1987, trabalha como Engenheiro de Serviços e Vendas na Albany International. Atualmente, é consultor de Engenharia de Serviços para a América do Sul, especializado em Transferência Térmica, Análise de Vibrações e Sistemas de Prensagem.