

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS  
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM SEGURANÇA DO TRABALHO**

**LUANA MACHADO DE SOUZA**

**CLASSIFICAÇÃO QUANTO A EXPLOSIVIDADE DA ÁREA DE UM MOINHO DE  
CAVACOS DE MADEIRA NA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA**

**São Leopoldo**

**2021**

LUANA MACHADO DE SOUZA

**CLASSIFICAÇÃO QUANTO A EXPLOSIVIDADE DA ÁREA DE UM MOINHO DE  
CAVACOS DE MADEIRA NA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA**

Artigo apresentado como requisito parcial  
para obtenção do título de Especialista em  
Segurança do Trabalho, pelo Curso de  
Especialização em Segurança do Trabalho  
da Universidade do Vale do Rio dos Sinos  
– UNISINOS

Orientador: Prof. Esp. Dagoberto Faleiro de Lara

São Leopoldo

2021

# CLASSIFICAÇÃO QUANTO A EXPLOSIVIDADE DA ÁREA DE UM MOINHO DE CAVACOS DE MADEIRA NA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA

## EXPLOSIVITY CLASSIFICATION OF THE WOODEN CHIP MILL AREA IN THE WOODEN PANEL INDUSTRY

Luana Machado de Souza<sup>1</sup>

Dagoberto Faleiro de Lara<sup>2</sup>

**Resumo:** O intuito deste estudo foi de trazer para análise e discussão o risco de explosividade causado por emissão de poeira na área de um moinho de cavacos de madeira na empresa estudada, bem como, a realização da classificação desta área diante das normas pertinentes. Para tanto, os dados foram coletados através de uma visita *in loco*, associada a uma pesquisa bibliográfica e documental. Com a análise dos resultados foi constatado que a área se mantém classificada, porém a área do moinho classificou-se como Zona 21 e não como Zona 22. Finalizando o artigo, pôde-se sugerir adequações aos equipamentos elétricos, treinamentos com os operadores, sinalização da área quanto aos riscos, assim como a revisão do procedimento de limpeza da área do moinho, com atenção especial à frequência dessa limpeza.

**Palavras-chaves:** Áreas Classificadas. NR10. Pó de Madeira. Risco de Explosão.

**Abstract:** The purpose of this study was to bring to analysis and discussion the risk of explosiveness caused by the emission of dust in the area of a wood chip mill in the company studied, as well as the classification of this area in accordance with the relevant standards. For that, the data were collected through an on-site visit, associated with a bibliographic and documentary research. With the analysis of the results, it was verified that the area remains classified; however, the area of the mill was classified as Zone 21 and not as Zone 22. At the end of the article, it was possible to suggest adjustments to electrical equipment, training with operators, signaling the area for risks, as well as reviewing the cleaning procedure for the area of the mill, with special attention to the frequency of this cleaning.

**Keywords:** Classified Areas. Explosion Risk. NR10. Wood Dust.

---

<sup>1</sup> Pós-graduanda do Curso de Especialização em Segurança do Trabalho da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS. Email: luana.ms89@gmail.com.

<sup>2</sup> Engenheiro Eletricista pela PUCRS, pós-graduado em Tecnologia em Computação com ênfase em Software pela PUCRS e graduado em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Cândido Mendes. Inspetor ABNT - NBR 5410 Instalações Elétricas de Baixa Tensão, e inspetor ABNT - NBR 14039 Instalações Elétricas de Média Tensão. Email: dflara@dflara.com.

## 1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos é frequente a ocorrência de acidentes de explosividade por material particulado no mundo inteiro, causando mortes e danos de alto custo para as empresas.

Nos Estados Unidos em 2016 os casos de acidentes de explosão envolvendo poeira combustível no ramo de madeira representaram 60% dos casos. Na França de 2000 a 2008 também ocorreram mais de 37 casos e 27% dos casos foram de madeira (PAK; JUNG; ROH; KANG, 2019).

No Brasil, esses índices tendem a ser muito próximos ou até mesmo superiores, porém os casos ocorridos de explosão são culturalmente pouco divulgados.

Na maioria dos casos isto ocorre porque a poeira oriunda do processo de produção da madeira contribui para a geração de uma nuvem de poeira, devido ao tamanho dos grãos e somada a uma fonte de ignição na qual gera a explosão.

Através dos dados mencionados sobre acidentes envolvendo explosões, percebe-se que não é comum na indústria da madeira a realização de estudos de classificação das áreas, assim como a disseminação das informações relativas aos riscos. A falta de conhecimento dos riscos de explosividade pode ser uma das principais causas para a ocorrência dos acidentes.

Após a classificação existe a necessidade de adequação e inspeção das áreas para controle e mitigação dos riscos, aumentar a segurança pessoal e patrimonial, e com o desafio de reduzir custos.

Fundamentado nos conhecimentos teóricos e nas legislações vigentes, o presente estudo teve como objetivo realizar a classificação da área de um moinho de cavacos na indústria de painéis de madeira. Para isso foi necessário identificar a classificação atual da área do moinho e comparar com o documento da classificação existente.

Desta forma, este artigo traz como referencial teórico o processo de produção de painéis de madeira e conceitos sobre as áreas classificadas. Na sequência apresenta-se os materiais e a metodologia utilizada na pesquisa, bem como a análise e discussão dos resultados, finalizando com as considerações.

Tendo em vista que o equipamento de moinho apresenta um risco elevado, por possuir uma fonte de ignição para seu funcionamento e um histórico de acidentes de

explosividade com poeira. Através deste artigo foi possível mapear as situações de risco e agir na prevenção dos mesmos, além de orientar os colaboradores para execução de procedimentos adequados à legislação, para assim preservar as pessoas e evitar custos.

## **2 PROCESSO DE PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE MADEIRA**

Os painéis de madeira MDP (Medium Density Particleboard) se referem a partículas de madeira de densidade média, os quais são produzidos utilizando essas partículas como matéria-prima, juntamente com a incorporação de uma resina sintética e aplicação de calor e pressão em uma prensa.

Este tipo de painel por muito tempo era conhecido por aglomerado no mundo, porém a partir dos anos 1990, grandes investimentos tecnológicos modernizaram a produção de painéis de madeira (SILVA, 2012).

O processo produtivo é realizado em etapas conforme o descrito na Figura 1, são elas:

1. Geração de partículas.
2. Secagem de partículas.
3. Classificação de partículas.
4. Moagem.
5. Aplicação de adesivo.
6. Formação do colchão Pré-prensagem.
7. Prensagem a quente Resfriamento.
8. Acondicionamento, acabamento e classificação.
9. Embalagem e armazenamento.

Figura 1 – Processo Produtivo de Painéis de Madeira



Fonte: Iwakiri (2005, p.7).

## 2.1 Geração de Partículas

A madeira chega na fábrica em toras e passa por um descascador, após a retirada das cascas, a transformação em cavaco ocorre pela passagem da madeira em facas em formato de anel, no chamado picador *Ring Flaker*, onde são formadas partículas mais grossas do tipo “oversize”. Nesse processo há formação de finos também, os mesmos são moídos e esmagados e depois serão utilizados como material de camada interna.

## 2.2 Secagem de Partículas

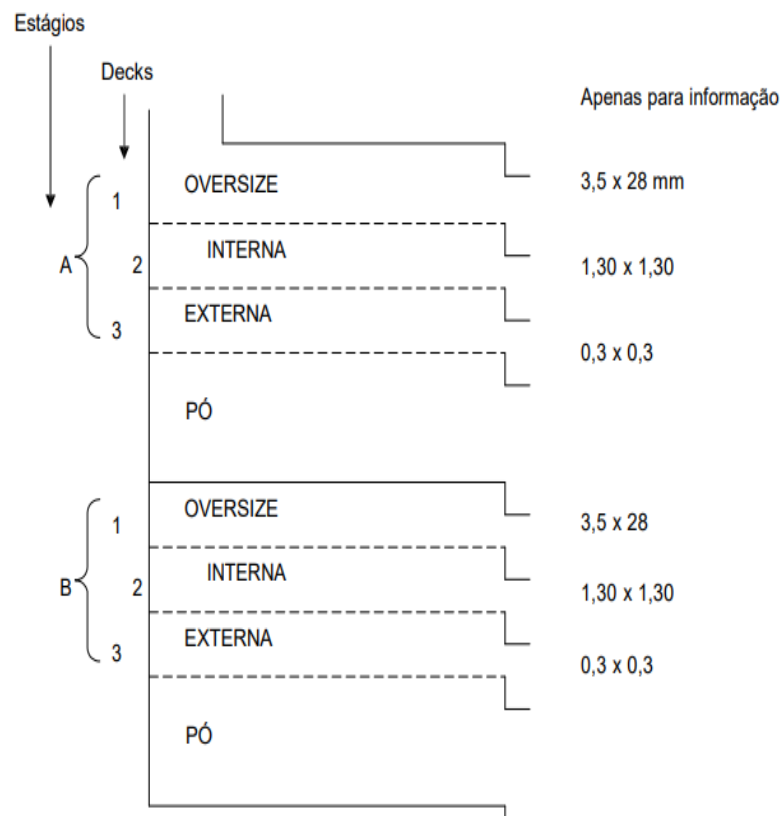
O cavaco úmido é transportado para um silo de armazenagem, este silo serve para fazer uma armazenagem intermediária entre o cavaco do *Ring Flaker* e o secador. Na sequência o cavaco vai através de transportadores até os secadores.

No processo de secagem industrial prático os cavacos são expostos a temperaturas de gases muito quentes (até  $\geq 500^{\circ}\text{C}$ ). A partícula sai do secador com umidade entre 1 a 1,5% O.D. (base seca).

## 2.3 Classificação das Partículas

Após passar pelo processo de secagem, o cavaco passa por uma sequência de peneiras que classificam o material de acordo com o tamanho, as peneiras possuem três decks e os tamanhos são divididos em quatro, *oversize* que são partículas grossas, partículas de camada interna, partículas de camada externa e em pó, conforme descrito na Figura 2.

Figura 2 – Tamanho de Partícula



Fonte: Iwakiri *et. al.*(2005).

As partículas grossas *oversize*, são conduzidas por um transportador de corrente até os moinhos para atingir o tamanho ideal para camada superficial da chapa, enquanto as partículas para o material interno são transportadas da mesma forma, porém passam por um processo de peneiração pneumática onde são separadas as partículas de maior peso, que retornam para moagem. Enquanto os finos retornam para o silo de pó para servir de combustível para o aquecimento em caldeiras.

## 2.4 Moagem

O material que chega nos moinhos são partículas *oversize* da peneiração básica e dos separadores pneumáticos.

O Moinho do tipo PSKM, também chamado refinador, trabalha com princípio de fluxo duplo, os cavacos vão para o centro do moinho e através da centrifugação são projetados pelo anel rotor contra um anel de moagem. Após este processo as partículas já menores fluem transversalmente até a peneira de calibração.

O tempo de permanência nessas peneiras depende da capacidade do ar no refinador. Posteriormente, as partículas voltam para as peneiras e são encaminhadas para a aplicação de cola.

## 2.5 Aplicação de Adesivo

Assim que as partículas saem das peneiras elas são transferidas novamente para um silo intermediário e seguem para o processo chamado encolagem. Nesse processo é adicionada a “cola”, composta de ureia e formaldeído pré-condensada.

A cola é aplicada de forma uniforme por encoladeiras tangenciais. A cola tem a função de unir as partículas, catalisador e emulsão para assim melhorar as propriedades do produto acabado.

## 2.6 Formação do Colchão – Pré-prensagem

O processo de formação ocorre por duas formadoras de camada externa e duas formadoras do tipo gaiola da camada interna. As partículas são levadas até o equipamento de formação que funciona utilizando o vento para formação de camadas externas e já a formação da camada interna é através de cabeçotes mecânicos espalhadores.

As partículas são armazenadas num *bunker* intermediário e são distribuídas uniformemente para formação do colchão. A pré-prensagem ocorre para densificar o colchão através de pressão mecânica, unindo assim as partículas que estavam soltas.



## **2.7 Acondicionamento, acabamento e classificação**

O colchão que havia sido pré-prensado é comprimido entre duas cintas e sob temperatura, devido a troca de temperatura entre os pratos de aquecimento e o sistema de roletes. Assim ocorre a cura da cola. Conforme sejam diferentes espessuras, deve-se ajustar o equipamento em termos de pressão e temperatura para garantir a qualidade da prensa. É necessário um resfriamento da chapa após a saída do painel da prensa, pois a resina ainda não concluiu totalmente a cura e para que a umidade da chapa seja distribuída de forma homogênea, para assim manter as propriedades mecânicas do painel.

## **2.8 Embalagem e armazenamento**

As chapas aguardam um período de maturação e após realizado o corte de acordo com o tamanho e espessura solicitada, os painéis são lixados. Na sequência é realizado o processo de cintagem com fitas na transversal e longitudinal e os pacotes são empilhados até que sejam encaminhados para o cliente.

## **3 ÁREAS CLASSIFICADAS**

Segundo a ABNT NBR IEC60079 (2016) considera-se uma área classificada quando a poeira combustível apresenta potencial para formar uma nuvem de explosão, e em certas concentrações exige uma série de precauções especiais para garantir a instalação de equipamentos e construções de forma segura.

As atmosferas de poeiras combustíveis necessitam de fontes de liberação para se formar. Essa fonte é um local onde há liberação da poeira ou onde ela possa ser levantada na qual forma uma atmosfera explosiva.

A norma estabelece os tipos de grau de liberação que são:

- Contínuo: quando a liberação ocorre de forma contínua, por longos períodos ou períodos curtos frequentes;
- Primário: liberação ocorre durante a operação ou periodicamente.
- Secundário: liberação não ocorre de forma frequente, em períodos curtos e não ocorre durante a produção.

Essa atmosfera explosiva pode estar presente ou ser presumida sua presença e a classificação é definida pelos parâmetros físicos de umidade, tamanho de partícula e concentração no ambiente.

Há necessidade de identificar as condições que podem influenciar na formação de uma atmosfera explosiva de poeira em diferentes tipos de equipamentos e processos.

Com base na formação de atmosferas explosivas de poeira é possível definir a extensão das áreas em zonas, são elas 20, 21, e 22.

### **3.1 Zonas 20, 21 e 22**

De acordo com a NBR IEC 60079 (2016), a Zona 20 é caracterizada pela área interna de equipamentos de produção e manuseio onde existe constantemente a presença de atmosfera explosiva ou por longos períodos. Caso a área externa do equipamento possua uma atmosfera explosiva contínua, sua classificação também passará a ser 20.

A definição da extensão da Zona 21 é realizada através da análise da relação entre as fontes de liberação de grau primário e o ambiente, onde ocorre a geração da atmosfera explosiva de poeira. Também é definida como Zona 21 a parte interna de equipamentos de manuseio onde são periódicas a ocorrência de formação de atmosfera explosiva, como por exemplo, durante o enchimento de equipamentos no início e término (ABNT NBR IEC 60079, 2016).

A norma citada estabelece que quando há formação de área 21 no lado externo do equipamento, por uma liberação de grau primário existem alguns parâmetros que devem ser levados em consideração como a quantidade de poeira, taxa de vazão, tamanho de partícula e teor de umidade. Quando houver limitação por estruturas mecânicas, suas superfícies podem ser consideradas como o limite da zona.

Já a extensão da área 22 se define pela relação da fonte de liberação de grau secundário e o ambiente ao gerar uma atmosfera explosiva. É possível definir a extensão da Zona 22 assim como a Zona 21, porém com o grau de liberação secundário.

Uma explosão é desencadeada pela rápida combustão de partículas suspensas no ar. Quanto maior a subdivisão destas partículas maior sua

concentração e velocidade e, conseqüentemente, a violência da explosão. Outros parâmetros influenciam para favorecer a explosão, são a taxa de liberação de energia dos materiais e se a nuvem de poeira está confinada, pois, o oxigênio necessário para combustão é oriundo do ar (ABBASI; ABBASI, 2007).

De acordo com a National Fire Protection Association – NFPA (2020) para avaliar os riscos de explosividade em poeira combustível os principais parâmetros devem ser analisados:

1. Mínima Concentração de Explosividade (MEC);
2. Energia Mínima de Ignição (MIE);
3. Distribuição do tamanho de partícula;
4. Umidade;
5. Máxima Pressão de Explosão;
6. Taxa máxima de aumento de pressão;
7.  $K$ (taxa padronizada de aumento de pressão), conforme ASTM E1226;
8. Temperatura de ignição da camada;
9. Temperatura de ignição da nuvem de poeira;
10. Limite de Concentração de Oxigênio (LOC);
11. Volume de resistividade elétrica;
12. Carga.

Para fins de estudo neste artigo destacam-se os seguintes parâmetros:

### 3.1.1 Concentração

A concentração é um ponto forte para favorecer uma explosão e é possível classificar limites de acordo com a capacidade de inflamabilidade do material. De acordo com Rabelo (2020) a Concentração Mínima Explosiva (MEC) representa a quantidade mínima de poeira suspensa para possibilitar uma explosão.

Em oposição, a Mínima Concentração Explosiva é equivalente ao Limite Inferior de Inflamabilidade (LFL) de gases e vapores, ou seja, com uma menor concentração de partículas há menos proximidade das partículas, dificultando a explosão. Por isso ocorrem reações em cadeia quando as partículas são menores e estão próximas entre si (RABELO, 2020).

### 3.1.2 Ignição

Para que a explosão ocorra é necessário que haja uma fonte de ignição, a Energia Mínima de Ignição (MIE) é o mínimo de energia para iniciar uma explosão. Segundo Rabelo (2020), através de um teste padrão conforme a norma ASTM E 2019, por meio de um capacitor que provoca uma faísca a qual incendeia a nuvem de poeira oxidante.

Já a Mínima Temperatura de Ignição (MIT) é a mínima temperatura para iniciar o processo de ignição (HASSAN, 2014).

### 3.1.3 Umidade

De acordo com a NFPA 664 (2020) partículas de madeira que contenham umidade menor que 25% e massa média de tamanho de partícula menor que  $500\mu\text{m}$  são consideradas explosivas. A menos que sejam apresentados testes que comprovem o contrário. Já partículas que contenham umidade menor que 25%, porém possuam massa média de tamanho de partícula maior que 5 mm não são consideradas com potencial de explosão.

A umidade influencia significativamente na propagação da poeira e conseqüentemente na deflagração. Pois a umidade aumenta a concentração mínima de explosividade (MEC), assim como a Mínima Temperatura de Ignição (MIT) e a mínima energia de ignição (MIE) por aumentar a aglomeração das partículas.

### 3.1.4 Taxa Máxima de Aumento de Pressão e Índice de Deflagração


A taxa máxima de aumento de pressão ( $dP/dt$ ) máxima é definida como o maior valor da taxa de aumento de pressão para gerar uma explosão, quando aplicada para um vaso de volume de  $1\text{m}^3$  obtemos a constante  $K_{St}$ , que define a violência dessa explosão.

$$\left(\frac{dP}{dt}\right)_{\max} V^{1/3} = \text{constant} \equiv K_{St}$$

O valor  $K_{st}$  é uma constante em (kbar m/s) e sua abreviação St possui origem na palavra alemã *staub* que significa pó.

A explosividade quanto a  $K_{st}$  pode ser classificada em relação a violência da explosão e pode variar de acordo com o estabelecido no quadro abaixo.

Quadro 1 – Variação da constante de explosividade

$K_{st}$	= Grupo St0: Não explosível	 Aumentando a explosão
$0 < K_{st} < 200$	= Grupo St1: Fraco	
$200 < K_{st} < 300$	= Grupo St2: Forte	
$300 < K_{st}$	= Grupo St3: Muito forte	

Fonte: Adaptado de Abbasi e Abbasi (2007, p.14).

Segundo a NFPA 664 (2020) poeira são partículas com  $500\mu\text{m}$  ou menos, estes tamanhos de partículas e a razão entre a superfície e o volume influenciam na combustão e representam risco no índice de deflagração, ou seja, na agressividade da explosão.

Partículas maiores em formatos diferentes como fibras, flocos e até plaquetas, também podem apresentar risco de explosividade, pois no manuseio acumulam carga eletrostática e devido a atração formam grumos. Quando esses grumos são dispersos na atmosfera apresentam severo perigo. Assim considera-se que toda partícula de 5mm ou mais pode se comportar como uma poeira de madeira com capacidade de deflagração quando suspenso no ar (NFPA 664, 2020).

Para ocorrência de deflagração de poeira quatro fatores são necessários:

1. Poeira combustível;
2. Dispersão de poeira no ar ou de outro oxidante;
3. Excesso da Mínima Concentração de Explosividade (MEC);
4. Fonte de ignição.

## 4 MATERIAL(IS) E MÉTODOS

Esta pesquisa quanto à sua natureza foi aplicada, pois gerou aplicação prática direcionada à solução de um problema específico (PRODANOV, 2013).

Com relação ao atingimento dos objetivos, a pesquisa é explicativa, pois de acordo com Gil (2010, p. 28) “é quando o pesquisador procura explicar os porquês das coisas e suas causas, por meio do registro, da análise, da classificação e da interpretação dos fenômenos observados”.

Adotou-se como procedimento técnico, a pesquisa de campo, realizada na área de um moinho do tipo PSKM em uma empresa do ramo de painéis de madeira, no Vale do Taquari, situada no Estado do Rio Grande do Sul. Optou-se pela pesquisa de campo com o propósito de identificar os riscos de explosividade, tipo de material disposto na atmosfera na área interna e externa dos moinhos, assim como entendimento do processo para realizar a classificação da área.

Foram visitadas as áreas do processo de formação de partículas, silos de estocagem, secadores, peneiras, moinhos, formação de colchão, área de prensagem.

Para determinar se a área é classificada foi preciso calcular a espessura máxima de poeira sobre o piso com uma margem de 25% do MEC e comparar com a espessura de poeira do piso atual.

Para isso foi necessário medir a espessura da poeira do piso, medir a área e altura da construção do prédio (NFPA 664, 2020).

Também fez-se necessário observar se havia concentração de poeira sobre a superfície dos equipamentos e se a cor dos mesmos era facilmente identificada.

A fim de identificar a classificação da área também levantou-se a umidade presente nas partículas do processo e conseqüentemente na área do moinho.

Durante a visita foram observadas as fontes de ignição presentes no local, como lampadas, painéis, motores ou qualquer outro equipamento elétrico.

A visita foi acompanhada pelos responsáveis da área e registrada com fotos, bem como, foi realizado o acompanhamento do processo de limpeza do moinho.

## **4 RESULTADOS**

Como mencionado anteriormente, a visita teve início com a observação de todas as etapas que antecedem a área do moinho para entendimento do processo de produção. As partículas de madeira ao longo da produção apresentam dimensões diferentes em função do tipo de processo por onde passaram.

O tamanho das partículas se divide nos seguintes tipos, sendo que as partículas chegam no moinho com tamanho *oversize* e saem em tamanho de partícula interna.

- *Oversize* (partículas grossas) - 3,5 x 28 mm
- Partículas da camada interna - 1,30 x 1,30 mm
- Partículas da camada externa - 0,3 x 0,3 mm
- Pó (para aquecimento) - menor que 0,3 mm

Posteriormente, foi avaliada a área externa do moinho, percebeu-se o acúmulo de material ao redor conforme apresenta a Fotografia 1.

Fotografia 1 – Material da área externa do moinho



Fonte: Registrada pela autora.

Foi observado que as partículas ao redor da área do moinho, que ainda não passaram pelo processo de moagem, apresentam gramatura acima de 500 microns.

Além disso, na área próxima aos moinhos, percebeu-se que também há concentração de poeira em toda a extensão conforme a Fotografia 2.

Fotografia 2 – Concentração de poeira



Fonte: Registrada pela autora.

A poeira que cobriu o piso possui granulometria menor que 500 microns, por se tratar do material originado no processo de moagem e a espessura da camada de poeira no piso apresentou espessura de 3mm.

No local visitado encontram-se equipamentos elétricos como painéis, motores e sensores. Muitos desses motores apresentam uma camada significativa de pó em cima conforme ilustrado nas fotografias a seguir.

Fotografia 3 – Motor empoeirado



Fonte: Registrada pela autora.



Durante a visita houve a necessidade de realizar a limpeza no interior de um dos moinhos e o operador realizou a limpeza utilizando ar comprimido no interior do moinho e criou assim uma nuvem de poeira no local.

Para definir o cálculo de concentração de poeira em suspensão no ar foi necessário medir a área do prédio e o volume do prédio, assim como a medida da espessura da camada de poeira. Também foi necessário levantar o MEC e densidade bulk da poeira de madeira. Os resultados encontrados são apresentados na Tabela a seguir:

Tabela 1 – Dados coletados

<b>Dados</b>	<b>Resultados</b>
Área total	272m <sup>2</sup>
Volume do prédio	2078,08 m <sup>3</sup>
Espessura da camada de poeira	3mm
Densidade Bulk (NFPA 449, 2021)	16 kg/m <sup>3</sup>
MEC (NFPA 449, 2021)	0,99 g/m <sup>3</sup>

Fonte: Elaborado pela autora.

Segundo a NFPA 664 (2021), para calcular a espessura máxima de concentração no piso deve-se utilizar a seguinte fórmula, levando-se em consideração a margem de 25% MEC de segurança:

$$T = \frac{\text{espessura piso (mm)} \cdot \text{MEC madeira} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)}{\text{Densidade bulk (kg/m}^3\text{)}}$$

Sendo T= espessura de poeira máxima aceitável

Para isso:

Utilizou-se a margem de segurança de 25% de MEC, assim segundo a NFPA 499 (2021) tem-se:

$$\left(\frac{0,25 \times 0,99 \text{ g}}{m^3}\right) \times 2078,08 \text{ m}^3 \times \left(\frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}\right) \times \left(\frac{1 \text{ m}^3}{16 \text{ kg}}\right) = 0,03214 \text{ m}^3$$

$$\left(\frac{0,03214 \text{ m}^3}{272 \text{ m}^2}\right) = 0,12 \text{ mm}$$

De acordo com a NFPA 499 (2021), para classificar a área são utilizados os seguintes critérios:

Tabela 2 – Classificação de área

<b>Espessura da camada de poeira</b>	<b>Classificação</b>
Interior de equipamentos	Zona 20
Exterior de equipamentos, onde camada > espessura máxima definida (neste caso em análise = 0,12 mm)	Zona 21
Exterior de equipamentos, onde camada < espessura máxima definida (neste caso em análise = 0,12 mm) e a cor da superfície do equipamento não é visível	Zona 22
Cor da superfície do equipamento é visível	Não é classificada

Fonte: Elaborado pela autora.

Como resultado da medida da espessura no piso foi 3mm, maior que a espessura máxima calculada acima, classificou-se a área ao redor do moinho como Zona 21, pois a espessura real > espessura máxima aceitável.

Um ponto importante observado foi a presença de um secador antecedendo o moinho no qual as partículas na saída apresentam um teor de umidade de 1,5% até 3%.

Os equipamentos elétricos que são possíveis fontes de ignição mapeados no processo em cada um dos moinhos foram:

- Painéis elétricos;
- Moto vibradores;
- Motores Tambor Magnético;
- Motores de acionamento rotor principal do moinho;
- Sensores de temperatura e rotação;

- Motores transmissores de pressão da tubulação;
- Motor para ventilação;

## **5 DISCUSSÃO**

Com os dados coletados, foi possível identificar que o resultado da medida da espessura no piso atual é de 3mm e está acima da espessura máxima aceitável calculada em 0,12 mm, a qual impossibilitou a visualização da cor dos equipamentos próximos ao moinho. A classificação da área em torno do moinho foi zona 21 e a zona interna do equipamento foi zona 20.

A análise comparativa com a classificação do moinho PSKM realizada em 2013, identificou-se que a área em torno do moinho, foi classificada como zona 22, ou seja, ao que tudo indica atualmente houve o aumento da quantidade de poeira concentrada na área e conseqüentemente aumento do risco quanto a explosividade. Para evitar o acúmulo de poeira no piso recomenda-se realizar a limpeza mantendo abaixo da espessura máxima de risco.

O procedimento de limpeza da área interna do moinho observado na visita foi realizado com ar comprimido, o qual está inadequado, pois as partículas ficam dispersas na atmosfera gerando nuvem de poeira, a forma correta recomendada para realizar a limpeza é utilizando um aspirador de pó certificado para uso em área classificada.

Avaliou-se os dados da área interna e externa do moinho quanto a umidade da partícula, e com a presença do secador antecedendo a etapa do moinho, as partículas apresentaram umidade de 1% a 3% sendo o limite aceitável pela NFPA (2020) 25% então também foi possível afirmar que a área é classificada.

As fontes de ignição mapeadas como lampadas, motores, painéis elétricos não apresentavam adequação quanto ao risco de explosividade, pois tais equipamentos não são certificados para uso em área classificada.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O presente trabalho conclui, a partir das avaliações realizadas, que tanto a área do moinho interna e externa são classificadas.

Além de confirmar a classificação da área, devido a espessura da poeira do piso encontrada ser maior que a espessura máxima calculada a partir do MEC mencionada pela norma com 25% de margem, definiu-se a classificação da área externa do moinho como Zona 21, diferente da classificação realizada no ano de 2013, que foi classificada como Zona 22.

A partir da classificação recomenda-se aumentar a frequência de limpeza e utilizar aspirador de pó certificado para uso em área classificada, ao invés de realizar limpeza com ar comprimido. Essa ação tem por objetivo evitar a dispersão da poeira no ar e conseqüentemente não gerar uma atmosfera explosiva.

Destaca-se que, conforme observado, existe a falta de conhecimento no que diz respeito aos riscos da área, principalmente em relação à explosividade, para tanto recomenda-se criar um plano de treinamento para a reciclagem dos operadores, a fim de prevenir possíveis acidentes na área. Além disso, aconselha-se sinalizar a área em relação aos riscos.

Quanto aos equipamentos elétricos presentes no local, os quais em sua maioria não são certificados para uso em área classificada, sugere-se avaliar a substituição por equipamentos adequados, com a finalidade de minimizar o impacto de uma possível explosão, evitando danos humanos e patrimoniais, bem como, reduzindo custos.

Diante do exposto, indica-se para trabalhos futuros na empresa estudada, aumentar a frequência da revisão da documentação da classificação de área do moinho PSKM, ou realizá-la a cada nova modificação na área, como também a atualização dos treinamentos com os operadores.

## REFERÊNCIAS

ABBASI, Tasneem; ABBASI, S.A.. Dust explosions—Cases, causes, consequences, and control. **Journal of Hazardous Materials**, [S.L.], v. 140, n. 1-2, p. 7-44, fev. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.11.007>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR IEC 60079-10-2: Atmosferas explosivas. Parte 10-2: Classificação de áreas - Atmosferas de poeiras explosivas**. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2016. 24 p. Disponível em: <https://www.abntcolegao.com.br/unisinos/pdfview/viewer.aspx?Q=1896118E275B51842AB27B12F079B846186E59669A40DEED15FE5D2B69B57C5F>. Acesso em: 01 mar. 2021.

BRIEZTKE, J. P; KULAKOWSKI, M.P. **Preparação para o TCC**. Disponível em: [https://www.moodle.unisinos.br/pluginfile.php/1563934/mod\\_resource/content/3/ProjetoTCC\\_Texto1.pdf](https://www.moodle.unisinos.br/pluginfile.php/1563934/mod_resource/content/3/ProjetoTCC_Texto1.pdf). Acesso em: 11 dez. 2020.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2008.

HASSAN, Junaid. **A Predictive Model to Assess Dust Explosion Occurrence**. 2014. 87 f. Tese (Doutorado) - Masters Of Engineering, Faculty Of Engineering And Applied Science, University Of Newfoundland, St. John's Newfoundland, 2014.

IWAKIRI, S; ALBUQUERQUE, CEC; MENDES, LM. **Painéis de madeira**. UFPR – DETF, 2005. Disponível em: <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinassetsuo/setsuo-pma.pdf>. Acesso em: 17 jan. 2021.

LARA, D.F. **NR10 – Áreas Classificadas**. Disponível em: [https://www.moodle.unisinos.br/pluginfile.php/1540233/mod\\_resource/content/1/DF%20LARA-EST2019-1-SL-3](https://www.moodle.unisinos.br/pluginfile.php/1540233/mod_resource/content/1/DF%20LARA-EST2019-1-SL-3). Acesso em: 11 dez. 2020.

MANUAL tecnológico. **Planta de MDP**, Taquari, mar. 2009.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. **NFPA 499**: Prática recomendada para a classificação de poeiras combustíveis e locais perigosos (classificados) para instalações elétricas em áreas de processos químicos. Massachusetts: Nfpa.Org, 2021. Disponível em: <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=499>. Acesso em: 01 mar. 2021.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. **NFPA 664**: Padrão para a prevenção de incêndios e explosões em instalações de processamento e marcenaria de madeira. 2 ed. Massachusetts: Nfpa.Org, 2020. Disponível em: <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=664>. Acesso em: 07 fev. 2021.

PAK, Seonggyu; JUNG, Seongho; ROH, Changhyun; KANG, Chankyu. Case Studies for Dangerous Dust Explosions in South Korea during Recent Years. **Sustainability**, [S.L.], v. 11, n. 18, p. 4888-4901, 6 set. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su11184888>.

PRODANOV, C. C. **Metodologia do trabalho científico: Métodos e técnicas de pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2 ed. Novo Hamburgo: Universidade Feevale, 2013.

RABELO, Camila da Mata. **Estudo sobre explosões com material particulado: uma análise do caso da imperial sugar company**. 2020. 88 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Alimentos, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

SILVA, Diogo Aparecido Lopes. **AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA PRODUÇÃO DO PAINEL DE MADEIRA MDP NO BRASIL**. 2012. 65 f. Dissertação (Mestrado) -

Curso de Ciências e Engenharia de Materiais, Escola de Engenharia de São Carlos,  
Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.