



Gestão & Gerenciamento

MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA AMBIENTAL EM LABORATÓRIOS

ENVIRONMENTAL SAFETY ASSESSMENT METHOD IN LABORATORIES

Giordano, Camila

Engenheira Civil; Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

camilagiordano@poli.ufrj.br

Marcelle Alencar,

Engenheira Civil; Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

cellepaivaec@poli.ufrj.br

Rebecca Neri,

Engenheira Civil, Pós-graduanda em Planejamento, Gestão e Controle de Obras Civis;
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

rebecca.cleo@poli.ufrj.br

Jorge González,

Engenheiro Civil, M. Sc; Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

jorgegonzalez@poli.ufrj.br

Assed N. Haddad,

Engenheiro Civil, D. Sc; Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

assed@poli.ufrj.br

Resumo

Este estudo aborda uma metodologia de segurança ambiental e do trabalho padronizada de forma a ser utilizada em laboratórios de engenharia civil de pequeno e médio porte. Para tanto, foram utilizados como base dois laboratórios do Núcleo de Ensino e Pesquisa em Materiais e Tecnologias de Baixo Impacto Ambiental na Construção Sustentável (NUMATS), localizados no bloco I do Centro de Tecnologia (CT), dentro do campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Aplicaram-se três métodos de análise de riscos ao longo do estudo, sendo eles Análise Preliminar de Riscos, FMEA e Plano de Gerenciamento de Riscos, buscando a elaboração de uma metodologia em etapas unificadas, para a aplicação em laboratórios. Com os resultados obtidos a partir das análises descritas, foi estabelecido que os laboratórios analisados estavam compatíveis com as medidas de boas práticas esperadas para tal, e que a metodologia desenvolvida foi considerada efetiva. Concluiu-se que a falta de procedimentos unificados empregados em laboratórios pode acarretar maiores riscos na segurança, porém com o método proposto neste artigo torna-se evidente a cadeia de procedimentos necessária a ser seguida para mitigar e prevenir acidentes.

Palavras-chaves: Análise Preliminar de Riscos; FMEA; Mapa de Risco; Plano de Gerenciamento de Riscos; Segurança do Trabalho.

Abstract

This study addresses a standardized environmental and occupational safety methodology for use in small and medium-sized civil engineering laboratories. To this end, two laboratories of the Center for Teaching and Research in Materials and Technologies of Low Environmental Impact in Sustainable Construction (NUMATS), located in Block I of the Technology Center (CT), on the campus of the Federal University of Rio de Janeiro (UFRJ), were used as a basis. Three risk analysis methods were applied throughout the study, namely Preliminary Risk Analysis, FMEA and Risk Management Plan, seeking to develop a methodology in unified stages for application in laboratories. With the results obtained from the analyses described, it was established that the laboratories analyzed were compatible with the expected good practice measures for this purpose, and that the methodology developed was considered effective. It was concluded that the lack of unified procedures used in laboratories can lead to greater safety risks, but with the method proposed in this article, the chain of procedures necessary to be followed to mitigate and prevent accidents becomes evident.

Key-words: Preliminary Risk Analysis; FMEA; Risk Map; Risk Management Plan; Occupational Safety.

1 Introdução

A segurança ambiental e do trabalho são temas muito abrangentes, e que devem ser amplamente discutidos e difundidos em alguns setores. Os padrões de boas práticas são fundamentais para garantir a execução dos serviços com segurança e qualidade para os trabalhadores envolvidos e para o ambiente na qual ele está inserido, o que impacta diretamente no produto que está sendo desenvolvido (OLIVEIRA, 2022).

A expressão segurança ambiental se originou no início dos anos 1980 como um alargamento do conceito de segurança. Esta pretende limitar os riscos dos impactos negativos, tanto sobre o ambiente, como às reservas de recursos naturais. Dessa maneira, ela busca proteger o ambiente e seus recursos de forma que seja garantido o alimento, água, saúde e segurança pessoal, tanto aos indivíduos como às comunidades (CUNHA, 1998).

Já a segurança do trabalho engloba um conjunto de leis, normas regulamentadoras, práticas e medidas preventivas, para garantir a segurança no ambiente de trabalho e

prevenir doenças ocupacionais ou acidentes, evitando o acontecimento destes, ou minimizando as consequências de um acidente, e protegendo a integridade física do trabalhador (PORTAL DA INDÚSTRIA, 2022).

A segurança do trabalho está presente em todas as áreas laborais, e especificamente na da construção civil ela ganha destaque visto que apresenta grande quantidade de acidentes, além de ter uma série de particularidades que a diferem de outras categorias. Por isso, é necessário o desenvolvimento de estudos e pesquisas voltados a este setor no que se refere à segurança e à saúde do trabalhador, entendendo que estes dois aspectos causam impactos sociais e afetam a produtividade econômica e custos dos sistemas (ANDRADE, 2020).

A segurança do trabalho permite o desenvolvimento de ações preventivas, evita gastos com o tratamento de um funcionário acidentado e, até mesmo, com processos judiciais (OLIVEIRA, 2023). Esta situação evidencia a obrigação de aplicar ferramentas para assegurar um ambiente de trabalho adequado, como por exemplo, a elaboração de um programa de gerenciamento de riscos, análises de risco, e outras técnicas de mapeamento e impedimento de vetores de risco, procurando minimizar, monitorar e controlar os riscos ao estudar em detalhe as etapas que envolvem a rotina de trabalho.

A fim de que os princípios da segurança ambiental e do trabalho sejam postos em prática no Brasil, existem requisitos legais que se referem à legislação nacional e comunitária e apresentam-se em forma de leis, decretos-lei, portarias, despachos, diretrizes e regulamentos. Também existem contratos e acordos entre entidades públicas, clientes e fornecedores, tais como licenças de captação de água, compromissos e boas práticas entre as partes, licenças de laboração, normas e autorizações para descargas de efluentes líquidos, entre outras (DANTAS; OLIVEIRA; PASSADOR, 2016).

Particularmente, em relação à segurança do trabalho, existem atualmente, 37 Normas Regulamentadoras (NRs) que tratam de Saúde e Segurança do Trabalho nos diversos ramos de trabalho, trazendo procedimentos, programas, treinamentos, dentre outros aspectos, todos voltados à preservação da integridade e da saúde dos funcionários (PEINADO, 2019).

Em laboratórios ligados a universidades, é comum encontrar um fluxo constante de novos usuários durante todo o ano. Esta situação dificulta a realização de capacitações sobre as medidas de segurança com novos usuários, visto que seria necessário que houvesse inúmeras ao longo do ano para abranger todos os novatos em seus diversos períodos de ingresso.

Dada então a importância da segurança de todos os ambientes, os problemas principais para os quais este artigo busca soluções está no oferecimento, de forma padronizada, de maior segurança aos usuários em laboratórios ligados a universidades, considerados pelos autores como os espaços de maior atenção à segurança de trabalho e ambiente do campus.

Ao considerar esta problemática, é cabível pensar nas hipóteses de que os riscos e emergências podem ser identificados e reduzidos. Isso é possível nos casos em que os laboratórios estejam seguindo as medidas de segurança do trabalho, infere-se, dessa forma, que todos os usuários dos laboratórios sabem como prosseguir em uma situação de perigo

na qual é necessária a evacuação. Considerando a problemática e hipóteses, o artigo responderá duas perguntas:

- a) É possível desenvolver uma metodologia de segurança abrangente, capaz de ser implementada individualmente em todos os momentos que for necessária?
- b) O método de capacitação pode ser replicado em diferentes laboratórios, trazendo reflexões sobre as condições de segurança válidas para todos?

Dessa forma, este artigo tem o objetivo de desenvolver uma metodologia de segurança padronizada para definir os riscos existentes nos ambientes com potencial para tal, sendo estes mapeados de modo que fique claro a todos os seus usuários quais são eles, as preocupações de cada local e que possa ser replicado em diferentes laboratórios.

Por esta razão foi aplicada uma análise detalhada da segurança do trabalho em dois laboratórios do Núcleo de Ensino e Pesquisa em Materiais e Tecnologias de Baixo Impacto Ambiental na Construção Sustentável (NUMATS) da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Foram utilizadas ferramentas conhecidas como Análise Preliminar de Riscos (APR) e FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*), além do desenhado das rotas de fuga que devem ser seguidas numa situação de perigo.

O atendimento do objetivo deste artigo procura converter a teoria da avaliação de riscos em uma ferramenta prática, ao criar uma guia unificada de requisitos gerais que podem ser colocados a serviço de qualquer ambiente de trabalho confinado que considere o manuseio de materiais ou equipamentos perigosos, permitindo trazer os conceitos das metodologias conhecidas em um manual básico. Para este fim, é proposta uma metodologia de avaliação de riscos e capacitação com ampla replicabilidade para todos os laboratórios presentes na UFRJ.

2 Revisão da Literatura

A segurança ambiental e do trabalho trazem emergências e riscos. Uma emergência é a ocorrência de uma situação crítica que apresenta perigo à vida, ao meio ambiente e ao patrimônio da instituição, sendo necessária intervenção imediata para impedir o avanço dos danos para evitar imprevistos, incidentes ou acidentes (FIGURA JR, 2017; BATISTA, 2009).

Já o risco é definido por toda e qualquer possibilidade de que algum elemento ou circunstância existente num dado processo ou ambiente de trabalho possa causar danos à saúde, ou ainda por poluição ambiental (GOULART, 2020). Os riscos ocupacionais são decorrentes de fatores específicos do ambiente e condições de trabalho, assim como o tempo de serviço, formação e categoria profissional (CAVALCANTE *et. al.*, 2006).

Para evitar emergências e riscos, pode ser considerada a aplicação de um plano de ação, que consiste no planejamento por meio de um processo, realizado de forma contínua e composto por etapas, a fim de se chegar ao resultado desejado. Os elementos que o constituem são a análise situacional, diretrizes e objetivos. O plano de ação aplicado nesta pesquisa busca padronizar as ações a serem tomadas, tendo como objetivo a diminuição do número ou da gravidade de acidentes no laboratório.

Um exemplo de plano de ação são os planos de emergência, cuja finalidade é atender qualquer situação perigosa e fora do contexto habitual que possa envolver vítimas, danos

materiais, ou riscos ao meio ambiente, na qual uma instituição está inserida. Com isso induz-se uma tomada de decisão com um tempo de resposta menor, buscando minimizar os impactos, ou danos secundários que viriam a ser gerados (SEMPREBOM, 2014).

O plano de emergência deve considerar o detalhamento de todas as necessidades emergenciais, apontadas para cada tipo de perigo na planilha de gerenciamento de riscos (KORF; GOELLNER, 2011). A estrutura do plano deverá apresentar: cenários considerados, área de abrangência e limitações; centro de controle de emergência e estrutura organizacional; recursos humanos e materiais; fluxograma de acionamento; ações de resposta; simulações; canais de comunicação; investigação de acidentes (caso necessário).

Os Planos de Emergência podem ser criados seguindo modelos propostos pelo CONAMA 398, ou pela nota técnica da CBMERJ NT 2-10. Em geral, eles estabelecem as possibilidades de acidentes de acordo com as características do ambiente, tais como incêndios, explosões, inundações e vazamentos, que consequentemente levam a uma situação de pânico e que demandam a evacuação do local em segurança (ALMEIDA, 2021).

Também, outro tipo de plano de emergência são os que contemplam o pânico. Um Plano de emergência contra incêndio e pânico (PECIP), é um documento elaborado a partir dos respectivos riscos de uma edificação, que propõe um conjunto de ações e procedimentos a serem realizados para minimizar a ocorrência de sinistros, visando a proteção da vida, do meio ambiente e do patrimônio; o controle e extinção do incêndio; e oferece condições de acesso para as operações do corpo de bombeiros (RAICOVITCH *et al.*, 2017).

O ponto de encontro é um local seguro, previamente estabelecido, onde serão reunidos todos que se encontram na edificação; a rota de fuga é o caminho a ser percorrido, do local onde esteja a pessoa na edificação até a saída de emergência, em direção ao ponto de encontro. Em geral é o caminho mais rápido e seguro para o abandono da área, além de sinalizados em locais de fácil visualização (AMARAL; GOMES, 2019).

No momento que for necessário, com um treinamento de capacitação bem executado, destinando atribuições para cada pessoa, e agindo de maneira rápida e eficaz de acordo com cada função designada em uma emergência de qualquer natureza, todos serão conduzidos na evacuação pela rota de fuga até o ponto de encontro ou local seguro, para salvaguardar a vida de todos e amenizar os impactos causados pelo sinistro.

3 Metodologia

Este artigo foi baseado na análise detalhada de segurança do trabalho em dois laboratórios do Núcleo de Ensino e Pesquisa em Materiais e Tecnologias de Baixo Impacto Ambiental na Construção Sustentável (NUMATS). Serão abordadas em especial três técnicas de análise de riscos, visando cumprir o objetivo da criação de uma metodologia de segurança padronizada, sendo elas a Análise Preliminar de Riscos (APR), o FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*), e Plano de Gerenciamento de Riscos.

O NUMATS é um centro de pesquisas pertencente ao Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), localizado no bloco I do Centro de Tecnologia (CT), na sala 110, associado à Escola Politécnica e ao Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE). Seu espaço de estudo envolve no total 19

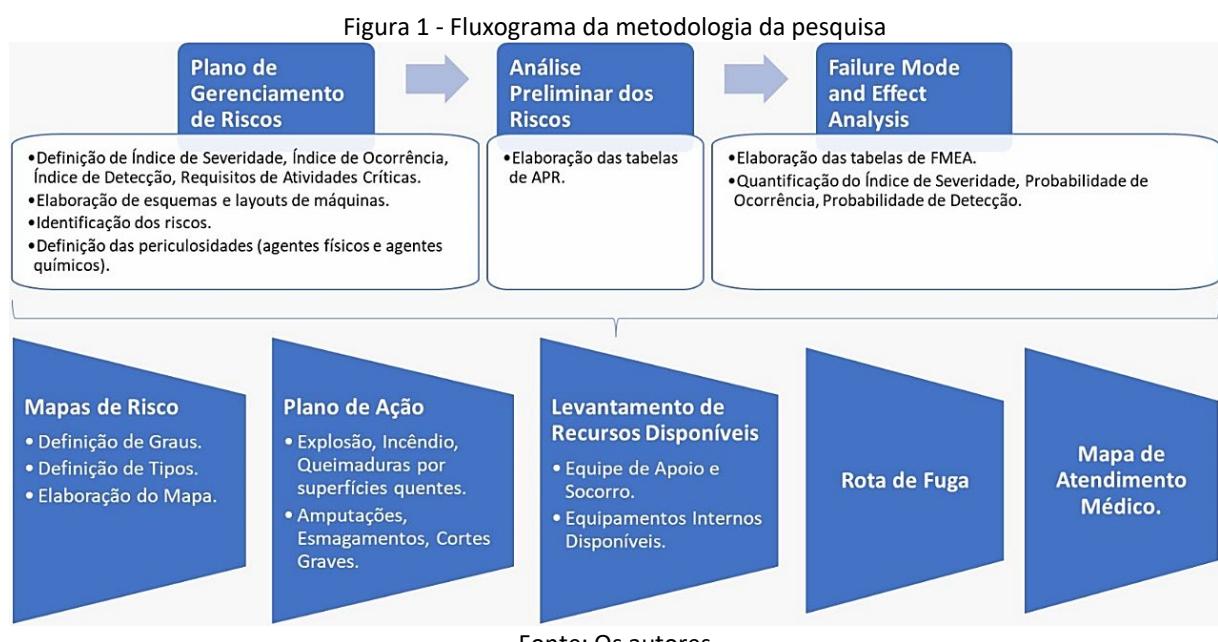
laboratórios, sendo alguns desses destinados a ensaios de concretagem, Cimentação, argamassas, artefatos, estudos de durabilidade, ensaios mecânicos, entre outros. Os espaços de pesquisa escolhidos para serem abordados neste estudo foram o laboratório de Cimentação e o laboratório de Biomassas.

O laboratório de Cimentação realiza testes relacionados aos poços de petróleo e possui o foco na caracterização dos materiais, tendo como matéria prima a pasta de Cimentação desses poços. Nesse sentido, pode-se encontrar no laboratório testes como o método não destrutivo de resistência de um corpo de prova de cimento sob condições controladas de temperatura e pressão, ensaio reológico, monitoramento do corpo de prova em diferentes condições impostas, monitoramento do torque pelo tempo, entre outros.

O laboratório de biomassa realiza todo tipo de testes que envolvam a madeira para ensaios e pesquisas. Portanto, o laboratório possui o foco na criação de materiais tendo como matéria prima a madeira. Assim, as atividades mais encontradas no laboratório são: pintura, recorte de madeira e bambu, entalhe, acabamentos, moagem, entre outras.

Para compreensão do local de estudo, as figuras A1 e A2 apresentam a planta baixa do laboratório de Cimentação e biomassas, que como todas as figuras e quadros com numeração iniciada por A, encontram-se no apêndice.

Um fluxograma é apresentado na Figura 1, para exibir a evolução desta pesquisa:



3.1 Plano de Gerenciamento de Riscos

Na primeira fase tem-se a aplicação do Plano de Gerenciamento de Riscos ou Programa de Gerenciamento de Riscos, também identificado pela sigla PGR, que se resume a um documento contendo um diagnóstico de uma instituição em relação aos riscos identificados com potencial de ocorrência, de forma a planejar atividades de tratamento de riscos e contendo informações de como o gerenciamento será executado e monitorado (ARAÚJO, 2019).

Para tal, é necessário identificar e mensurar os perigos e riscos presentes nas atividades e, assim, desenvolver formas de analisar estas informações através de um plano ou programa de gerenciamento. Um gerenciamento eficaz é aquele cujo a empresa consiga antecipar os riscos e ameaças, de forma a evitar que eles ocorram, ou ao menos mitigar os seus efeitos sobre a instituição e o ambiente no qual ela se insere. Com suas ferramentas é possível definir um grau de risco compatível com a ameaça, e definir as medidas mitigatórias que devem ser tomadas (ALFARTH *et al*, 2020; MARTINS, 2019).

Para executar esta primeira fase, faz-se necessária a definição dos índices de severidade, ocorrência e detecção.

O índice de severidade busca quantificar os danos decorrentes de um incidente. Quanto ao valor atribuído aos riscos analisados, foram levados em consideração o nível de gravidade de possíveis ferimentos e o valor monetário perdido por danos às máquinas e processos utilizados. Para entender a classificação dos valores, pode-se referenciar o Quadro A1 (USDOD, 2012).

Os níveis de probabilidade de ocorrência, ou de frequência, apresentam uma avaliação qualitativa a respeito da probabilidade de ocorrência de um evento crítico, também de 1 a 10. Sendo assim, será possível priorizar os cenários com maiores chances de ocorrência ao invés de um acontecimento improvável, tomando medidas mitigadoras efetivas. Para entender a classificação dos valores, pode-se referenciar o Quadro A2.

O índice de detecção é quantificado por um valor que representa a eficiência dos controles de detecção de falhas. Quanto maior o valor atribuído no índice, maior a dificuldade de detecção da falha. Essa avaliação possibilita analisar as chances de falha antes que essa chegue a um cliente ou usuário, e de que ele detecte por si. Para entender a classificação dos valores, pode-se referenciar o Quadro A3.

Para a aplicação do Plano de Gerenciamento de Riscos é necessário estabelecer os Critério de Avaliação de Risco, ou RAC (*Risk Assessment Criteria*), que correlaciona os dados pré-estabelecidos da frequência de ocorrência de um determinado evento. Estes variam da frequência “A” até “E”, com as categorias de perigo, variando de I até IV, sendo a categoria I a mais perigosa, até a IV definida como negligenciável. Nessa correlação, a matriz tem como objetivo trazer uma metodologia para avaliar se um determinado evento ou atividade é mais perigosa ou menos perigosa, para, assim, tomar as medidas cabíveis de acordo com o grau de periculosidade. Pode-se consultar uma apresentação visual deste quadro de categorias de perigo no Quadro A4 (USDOD, 2012).

A classificação do risco foi dividida em Alto, Sério, Médio e Baixo de acordo com o grau de periculosidade do quadro, que correlaciona frequência e severidade, para ordenar o nível de importância das atitudes a serem tomadas para uma determinada atividade. A descrição das medidas a serem tomadas para cada grão e classificação referente estão no Quadro A5.

Para obter estes quadros de índice de severidade, ocorrência, requisitos de atividades críticas, foi necessário consultar a norma MIL STD 882, (USDOD, 2012). Para o índice de detecção, foi necessário modificar o FMEA, com base em critérios próprios.

O RAC é também um item necessário para a criação dos quadros utilizadas na APR e no (FMEA), conforme será apresentado adiante.

3.2 Análise Preliminar de Riscos

Na segunda fase tem-se a aplicação da APR, que é uma metodologia que indica os riscos potenciais de um novo empreendimento, de um sistema, de um projeto ou de uma atividade. Ela é denominada desta forma pois está nos passos iniciais da abordagem de risco sobre o objeto de estudo, para identificar e categorizar essas ameaças (BARBOSA, 2020).

Na APR são realizados levantamentos a respeito das inúmeras causas que podem promover a ocorrência de determinados eventos, assim como suas respectivas consequências para a segurança e saúde do trabalhador, sendo então realizada uma avaliação qualitativa da frequência de ocorrência dos cenários descritos, do grau de severidade e o nível de risco de cada cenário identificado na análise (PINHEIRO *et al.*, 2023).

A APR pode ser antecipada por meio de uma Listagem Preliminar de Riscos, a qual utiliza ferramentas como checklists, matriz de riscos e históricos de risco de atividades semelhantes. Vale ressaltar que a APR também pode ser empregada como ferramenta de melhoria contínua possibilitando avaliar periodicamente os riscos do processo, até mesmo aqueles não observados anteriormente (BARBOSA, 2020).

O quadro de Análise Preliminar de riscos é composto por 9 colunas:

- Setor: nessa coluna são abordados as áreas e os procedimentos a serem analisados, sendo posteriormente (na coluna nº e itens) desmembrados em diversas linhas com os materiais/máquinas constituintes de cada um desses processos a serem estudados;
- Nº: será numerado, a partir do número 1, todos os materiais e equipamentos a serem analisados;
- Item: tem-se a categorização dos materiais ou equipamentos a serem estudados;
- Categoria de risco: mostra o risco relativo à coluna anterior (Item) é ser classificado entre Físico, Químico, Biológico, Ergonômico ou Acidental;
- Perigo: aqui é descrito cada perigo que poderá ser causado ao operário devido ao manuseio do equipamento/material descrito na coluna “Item”;
- Causa: nessa seção é explicado como o operário poderá ficar suscetível ao perigo, seja pela falta de EPIs necessários ou seu tipo de manuseio do equipamento/material;
- Efeito: são descritos em cada linha os efeitos maléficos que poderão ser causados ao operário devido ao manuseio do equipamento/material descrito na coluna “Item”;
- RAC: são colocados os valores correspondentes ao quadro de “Classificação de risco”, baseando-se em uma análise prévia em que serão considerados a frequência de ocorrência e categoria do perigo;
- Medidas preventivas e mitigação: aqui são mostradas medidas que podem ser aplicadas a cada item com o objetivo de mitigar ou até cessar os efeitos danosos descritos na coluna “Efeito”.

3.3 FMEA

Na terceira fase é possível fazer a aplicação do FMEA e traduzida por Análise de Modos de Falha e seus efeitos. É uma ferramenta muito útil de técnica de análise de segurança, e possui notável utilidade quando se trata de determinar a confiabilidade de

sistemas (QIN et al, 2020). O FMEA avalia um sistema ou subsistema específico para identificar falhas que podem ocorrer em cada componente e prever os seus efeitos (BHATTACHARJEE et al, 2020). Para sua realização podem ser usadas informações de dados históricos, como por exemplo analisando como produtos similares falharam, e se após as mudanças implementadas existiu alguma melhora.

A aplicação deste método traz diversos benefícios, desde a diminuição de custos, devido a possibilidade de reduzir falhas e avarias, até o fornecimento de um ambiente de trabalho confiável, seguro, produtivo e com maior qualidade em seus processos.

Antes de explicar como é feita a análise do FMEA, faz-se pertinente abordar os quadros de índices do critério de segurança, porém agora com números associados a cada categoria para que, no final, seja possível calcular o Número de Prioridade de Risco (em inglês *Risk Priority Number - RPN*). Com isto, os itens podem ser classificados por ordem de importância, entendendo que quanto maior o valor do RPN, maior será a necessidade de melhorar o produto para evitar falhas; e que RPNs com valor superior a 90, indicam que, para essa falha não ocorrer, será necessário uma ou mais medidas de melhoria do processo.

Para calcular o índice de severidade, utiliza-se as descrições do quadro da APR, aumentando o valor atribuído, de forma que varie de 1 a 10 para ser possível calcular o RPN do FMEA. Uma representação visual adaptada está no Quadro A6 (USDOD, 2012).

Os níveis de probabilidade de ocorrência, ou de frequência e o índice de detecção (RAH et al., 2016) seguem a mesma classificação da APR. Uma representação visual dos respectivos quadros adaptados está no Quadro A7 e A8, que nesta instância tem classificações de 1 a 10.

A execução desta metodologia permitiu perceber que é necessário ter 3 quadros, (índice de severidade, probabilidade de ocorrência e probabilidade de detecção), cada uma com escala de 1 a 10 de maneira que a multiplicação dos 3 fatores resultaria no RPN, sendo que quando este é maior que 90 é indicada falha. O quadro de severidade tem a mesma classificação do quadro utilizado na Análise Preliminar de Riscos, obtido da MIL-STD 882, porém com a numeração de 1 a 10.

Para entender de forma prática a montagem do quadro de FMEA, foi necessário considerar o estudo de um equipamento específico. Esta é composta por 10 colunas, descritas na continuação.

- Componente: tem-se a categorização dos equipamentos que constituem a máquina em análise;
- Função do Componente: segue com a descrição da função de cada um dos equipamentos constituintes do sistema em análise;
- Modo de Falha: nessa coluna são apontados o modo como os componentes podem vir a falhar;
- Efeito de falha no sistema ou componente: descrição do efeito que será causado ao sistema ou ao próprio equipamento se esse vier a falhar;
- Ocorrência (O), Detecção (D), Severidade (S): baseado no quadro de mesmo nome, será analisado qual o grau que cada componente de enquadra entre o nível 1 a 10;

- Risco NPR: um valor dado pela multiplicação dos valores da Ocorrência, Detecção e Severidade: $NPR = O \times D \times S$;
- Recomendações: trata das recomendações a serem seguidas a fim de minimizar a chance de falha do componente;
- Manutenção: tem-se aqui a frequência na qual o componente deverá ser analisado para uma possível substituição, ou limpeza, entre outros.

3.4 Mapa de Riscos

Depois de executar as três fases, podem ser emitidos os produtos da aplicação do PGR, APR e FMEA. O primeiro deles é o Mapa de Riscos, que é uma representação gráfica de um conjunto de fatores presentes nos locais de trabalho, capazes de acarretar prejuízos à saúde dos trabalhadores (MATTOS; FREITAS, 1994). Estes são representados através das plantas baixas do local, mostrando os possíveis riscos classificados em grau de severidade (risco pequeno, médio e grande); além da classificação, como químico, físico, biológico, acidental e ergonômico.

A severidade dos riscos é identificada com círculos com três diferentes tamanhos, sendo o maior referente ao risco grande, o intermediário ao risco médio e o menor, ao pequeno (SANTOS, 2024). Além disso, para facilitar a compreensão do que foi considerado nos mapas é possível definir como risco pequeno o que já é controlado; risco médio o que é relevante, mas pode ser controlado; risco grande algo que apresenta ameaça de morte, mutilação ou doenças graves, é muito difícil de ser controlado, neutralizado ou reduzido. Por outro lado, os tipos de riscos são identificados por cores, dentro dos círculos, sendo Verde: Físico; Vermelho: Químico; Amarelo: Ergonômico; Azul: Acidental; Marrom: Biológico.

3.5 Plano de Ação

Com relação ao plano de ação, é feita a análise de todos os riscos presentes e como mitigá-los durante a etapa de implantação do laboratório, este deve ser atualizado periodicamente, conforme a introdução de novos equipamentos e processos, de acordo com as necessidades do local (PEREIRA *et al*, 2021).

3.6 Rota de fuga

Para desenvolver a rota de fuga é necessário analisar a planta do local estudado e saber quais são os pontos com maior trânsito de pessoas, para definir o caminho mais curto possível de todos os locais passíveis de circulação, até chegar num local seguro em caso de acidentes. É importante lembrar que deve haver apenas 1 caminho indicado para cada ambiente, visando evitar confusão dos usuários em momentos de possível pânico (SANTANA, 2020).

3.7 Mapear atendimento médico de emergência mais próximo

Utilizando ferramentas de geolocalização é possível inserir o local desejado e esse retornar no mapa o posto médico mais próximo. No presente trabalho foi utilizada a ferramenta do *Google Maps*.

4 Resultados

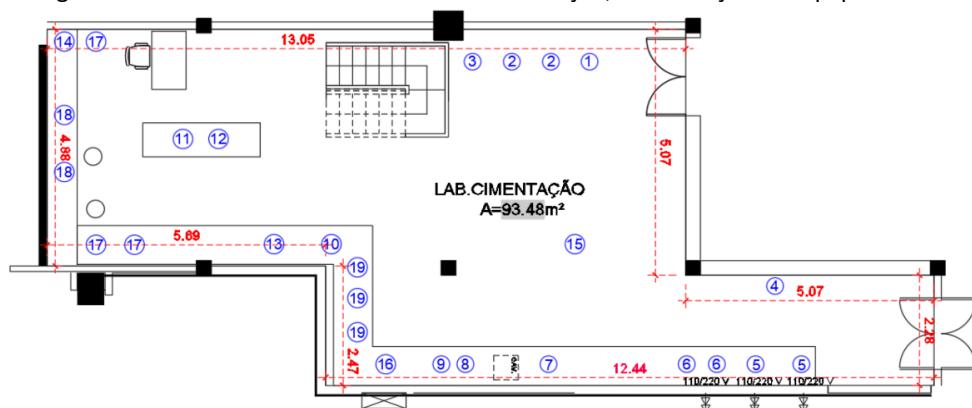
Os resultados foram organizados de acordo à ordem mostrada na metodologia, começando com as três fases, e depois a elaboração dos produtos.

Para a confecção dos métodos de análise, foi necessário realizar um mapeamento dos equipamentos existentes nos laboratórios em questão, tanto em termos de localização na planta baixa, quanto na descrição dos equipamentos. Com esses dados, também foi possível mensurar seus possíveis riscos e classificá-los na categoria adequada.

Os quadros com a listagem dos equipamentos contidos nos laboratórios de Cimentação e Biomassas estão respectivamente nos Quadros A9 e A10.

A alocação desses equipamentos se encontra nos locais marcados com seus respectivos números na Figura 2 para o laboratório de Cimentação:

Figura 2 - Planta baixa do laboratório de Cimentação, com locação de equipamentos



Fonte: Elaboração Própria

Na Figura 3 é apresentada a planta baixa do laboratório de Biomassas, com os equipamentos presentes numerados.

Figura 3 - Planta baixa do laboratório de Biomassas, com locação de equipamentos



Fonte: Elaboração Própria

4.1 Plano de Gerenciamento de Riscos

Baseado nos estudos realizados nesse documento, tem-se no Quadros 1 uma prévia dos possíveis riscos organizados por subárea no laboratório de Cimentação. A versão completa do quadro encontra-se no apêndice nos Quadros A11 e A12, sendo estes o quadro completo do Laboratório de Cimentação e de Biomassas, respectivamente:

Quadro 1 - Riscos do laboratório de Cimentação

Laboratório de Cimentação				
Setor	nº	Item	Categoria de risco	Perigo
Área de preparação e condicionamento da pasta	1	Argamassadeira	Acidental/ Físico	Lesão nas mãos; Respingos de pasta nos olhos/ Vibração
	2	Pó de cimento	Químico	Inalação/ Contato com a Pele/ Cegueira
	3	Aditivos	Químico	Respingo nos olhos, nariz, boca/ contato direto com as mãos
	4	Warig Blender - gal	Acidental e Físico	Lesões/ Ruídos
	5	Warig Blender - 1 L	Acidental e Físico	Lesões/ Ruídos
	6	Consistômetro atmosférico	Físico	Superfície do equipamento quente
	7	Hidróxido de Sódio	Químico	Corrosão

Fonte: Os autores

4.1.1 Periculosidades no laboratório de Cimentação

Foi observado que os Equipamentos de Proteção Individual (EPI) são utilizados pelos usuários somente durante o manuseio com os maquinários presentes no laboratório, ou seja, no transitar pelo ambiente não foi observado esse uso. Os processos mais perigosos que foram analisados no local estão relacionados ao manuseio de Óleo Mineral, as altas temperaturas e as altas pressões, conforme definidos na APR apresentada no apêndice, ilustrado no Quadro A13.

Durante a elaboração do quadro de Análise Preliminar de Riscos, foram indicados com mais detalhes os agentes considerados perigosos no laboratório estudado, mas com a finalidade de facilitar seu entendimento, estes podem ser divididos e exemplificados em Agentes Físicos, como ruídos e vibrações dos equipamentos, calor emitido pelas máquinas, altas pressões e Agentes Químicos, como reagente (ácido clorídrico e hidróxido de sódio).

Com relação aos níveis de ruídos e vibrações emitidos pelos equipamentos, não se notou nenhum Quadro grave que pudesse vir a desrespeitar a NR15, porém não foram utilizados aparelhos para tal comprovação.

Já com relação ao calor, as máquinas de cura podem chegar a temperaturas elevadas, na faixa de 50 a 100 graus (média usada no laboratório), e devido às altas temperaturas e ao espaço fechado do laboratório, deve-se verificar o IBUTG (médio) do ambiente, porém esse dado não é mensurado pelo laboratório, utilizando como justificativa a dispersão dos equipamentos e a não transmissão de calor do seu interior para o ambiente laboratorial. Verifica-se pelo anexo nº 13 da NR-15 que o uso do óleo mineral branco, que é reutilizado em diversas temperaturas nos equipamentos de cura, é considerado insalubre de grau máximo.

4.1.2 Periculosidades no laboratório de Biomassas

Os processos mais perigosos que foram analisados no local estão relacionados à utilização de objetos cortantes na marcenaria, conforme definidos na APR apresentada no apêndice, ilustrado no Quadro A14. É importante ressaltar também que o laboratório não apresenta tomadas de piso, então a conexão elétrica é feita por eletrocalhas no teto, levando as tomadas a ficarem penduradas, o que pode dificultar a movimentação dos operadores e causar possíveis acidentes.

Durante a elaboração do quadro de Análise Preliminar de Riscos, serão indicados em detalhes os agentes considerados perigosos no laboratório estudado, mas estes podem ser divididos em Agentes Físicos, como ruídos e vibrações dos equipamentos, corte ou esmagamento e Agentes Químicos, como solventes e tintas.

Com relação aos níveis de ruídos emitidos pelos equipamentos, o laboratório não apresenta controle do volume de decibéis gerado pelas máquinas, mas é importante notar que todos os funcionários sempre utilizam os protetores auriculares e que os equipamentos não costumam ser usados continuamente, por grandes períodos, não ferindo os limites de tolerância da NR 15.

4.2 Análise Preliminar de Riscos

Baseada nas definições de Análise Preliminar de Riscos, foram elaborados os Quadros A11 e A12 apresentados, referentes aos laboratórios de Cimentação e de Biomassas respectivamente.

4.3 FMEA

Como o FMEA normalmente aborda um sistema específico, para a realização deste trabalho foi escolhido o equipamento que se julgou possuir maior probabilidade de falha associado a um alto risco para as pessoas que trabalham no local. Deste modo, o equipamento a ser tratado pertence ao laboratório de Cimentação, e é denominado Consistômetro Pressurizado, Modelo 8340 da marca Chandler. Essa ferramenta é muito utilizada em geral para avaliação crítica de cimentação em poços de petróleo, pois seu funcionamento permite simular condições de pressão e temperaturas elevadas e testar misturas de cimento com aditivos e seu espessamento e comportamento. O quadro com a análise completa do FMEA deste equipamento encontra-se no Quadro A15.

4.4 Mapa de Riscos

Para a criação do Mapa de Riscos é necessário combinar os resultados dos itens 4.1, 4.2 e 4.3. Nas Figuras A2 e A3 tem-se representado o mapa de riscos do laboratório de Cimentação e de Biomassas, respectivamente. Para sua confecção utilizou-se como base principal os riscos listados no quadro da Análise Preliminar de Riscos.

4.5 Plano de ação

Para criar um plano de ação que ajude a diminuir os riscos de acidentes no laboratório, inicialmente é necessário identificar os maiores riscos mensurados, por critério de maiores danos. Para o laboratório de Cimentação, com a ajuda do Quadro A13, referente ao desenvolvimento do APR, foram identificados como os maiores riscos possíveis explosão, incêndio, e queimadura por superfícies quentes.

É recomendado que os laboratórios possuam um sistema de ventilação preparados para liberar a fumaça de um possível incêndio, visto que há pouca ventilação natural nos laboratórios, por se localizarem no subsolo. É indicado também que adquiram um kit de primeiros socorros e sejam oferecidos treinamentos para os funcionários sobre como utilizá-lo, já que um dos principais riscos dos laboratórios são cortes, lacerações e incêndios.

4.6 Rota de fuga

Nas Figuras A5 e A6 estão ilustradas as plantas com a rota de fuga elaboradas para os laboratórios de Cimentação e Biomassas, ambos localizados no subsolo. É preciso que esses mapas sejam claros para que não haja erros ou confusão na leitura, o que é comum em momentos de acidentes e a geração de pânico retarda a dispersão das pessoas do local.

4.7 Mapeamento do atendimento médico de emergência mais próximo.

Utilizando a ferramenta *Google Maps* foi possível inserir o endereço do NUMATS na barra de pesquisa e procurar pelos postos médicos mais próximos. O resultado foi o hospital universitário Clementino Fraga Filho (HU) com 3 km de distância do laboratório e cerca de 6 minutos de carro. Em seguida, os outros 2 hospitais mais próximos são o Hospital Federal de Bonsucesso (7,1 km de distância) e Hospital Balbino (8,4 km de distância).

5 Discussão

Seguindo o exemplo de Cruz (2022), para que fosse possível elaborar o trabalho realizaram-se visitas aos laboratórios em questão, a fim de recolher informações sobre a rotina, e principalmente dos equipamentos e ensaios feitos no local. Além disso, foi necessário entender as pessoas que tinham acesso aos laboratórios e quem poderia realizar os ensaios e manusear as matérias-primas. Esses dados possibilitaram a identificação dos pontos mais perigosos e necessários de atenção.

Os resultados obtidos no APR para o laboratório de Cimentação correspondem ao do laboratório de petróleo que Coimbra e Marques (2018) analisaram. Ou seja, os riscos que apresentaram maiores preocupações, tendo grau Crítico no quadro de classificação de risco (RAC), são os relacionados a produtos químicos, como o Hidróxido de sódio e óleo mineral.

De mesmo modo à Santos (2023), a APR foi utilizada para que fosse possível ter um panorama geral dos aspectos de segurança, tendo como base a descrição de todos os riscos identificados. Dessa maneira, a Análise de Preliminar de Riscos (APR) reconhece os responsáveis por desencadear eventos adversos (causa), bem como as repercussões decorrentes (efeito), possibilitando a criação de estratégias preventivas ou atenuantes para abordar as falhas potenciais identificadas.

Como resultado da aplicação da APR, conclui-se, similarmente a Andrade (2020), que ao empregar protocolos de segurança, normas padronizadas, utilização de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) e Equipamentos de Proteção Coletiva (EPCs), junto com métodos apropriados, torna-se viável converter uma área de risco em um ambiente que não represente ameaças à saúde e integridade física dos operadores de máquinas.

Além disso, ressalta-se que a supervisão e direcionamento dos usuários no que se refere à utilização apropriada de máquinas e ferramentas devem ser incorporados como uma prática compulsória no cotidiano. Adicionalmente, é preciso manter atualizado o

registro de manutenção das máquinas, prevenindo falhas técnicas e, por conseguinte, assegurando uma execução adequada e segura (ANDRADE, 2020).

Assim como Cruz (2022), foi utilizado o método FMEA na elaboração do artigo com o objetivo de reconhecer os impactos ambientais, causas e metodologias de controle existentes e elaborar uma documentação concisa com diretrizes operacionais. Diferentemente do autor, o método foi usado somente para um equipamento dos laboratórios, que foi escolhido devido ao maior grau de periculosidade. Segundo o exemplo de Tondin, Dreger e Barbosa (2020), o tema principal da elaboração do FMEA foi um equipamento. As linhas do quadro são classificadas (diante de suas respectivas medições de severidade, detecção e ocorrência) para cada equipamento “significativo” que compõe a peça da análise do FMEA.

Avaliando a pesquisa de Silva *et al.* (2019), também foram classificados o índice de severidade, a probabilidade de ocorrência e os níveis de detecção, que compõem o índice RPN, utilizando a mesma pontuação de 1 até 10, de comum acordo com o que foi abordado neste trabalho, porém, as informações dos quadros divergiram nos outros tópicos, sendo alguns com nomenclaturas diferentes mas com aplicações similares, como por exemplo as colunas de modo de falha, efeito de falha e recomendações, que poderiam ser comparados com os itens de causa, efeito e controle utilizados por Silva *et al.* (2019).

A pesquisa de Silva *et al.* (2019) também aponta os benefícios decorrentes da aplicação do FMEA, sendo os principais citados o ranqueamento dos riscos e a análise qualitativa de suas consequências, facilitando assim a aplicação de medidas mitigadoras. O texto também explicita a necessidade da análise do *layout* e mapa de riscos do laboratório, para assim diagnosticar possíveis problemas de segurança e saúde do trabalho, buscando estabelecer medidas preventivas.

Ainda nesta análise (SILVA *et al.*, 2019) foi apresentado em acordo com as ideias descritas neste trabalho a necessidade da realização contínua do FMEA, de maneira rotineira, sempre que houver alterações nos processos ou produtos do laboratório, mesmo depois das melhorias iniciais decorrentes da primeira aplicação do método terem sido realizadas.

Novamente abordando o estudo de Silva *et al.* (2019) foi citada ainda a falta de conhecimento por parte dos usuários como um dos principais motivos dos acidentes ocorridos no laboratório. Isso é um ponto que evidencia a necessidade da aplicação de cursos de capacitação periodicamente nos laboratórios conforme foi defendido neste artigo, visando diminuir a quantidade de colaboradores sem os conhecimentos necessários para realizar os processos definidos, em razão da alta rotatividade nos laboratórios universitários.

5.1 Mapa de risco

Em relação com os Mapas de Risco, assim como no presente artigo, Abrantes Júnior (2020), catalogou no laboratório de sua pesquisa quais eram as principais fontes geradoras de risco e as classificou conforme a categoria de risco (entre acidentais, químicos, físicos e ergonômicos).

O mapa de risco e a rota de fuga são de extrema importância para facilitar o entendimento visual dos usuários no caso de uma situação de pânico. Comparando o mapa de risco elaborado com o de Silva *et al.* (2019), os resultados foram semelhantes, uma vez

que a simbologia é padronizada, sendo apenas o grau dos riscos - simbolizado por círculos de diferentes tamanhos - definido de acordo com a análise do responsável pela elaboração do mapa, sendo possível de desavenças caso seja elaborado por pessoas diferentes, mas que pode proporcionar uma análise interessante da perspectiva dos riscos de diferentes pessoas da equipe, servindo como uma boa base para definir o mapa de risco final, considerando a visão de cada um sobre o local.

Enfim, a elaboração da pesquisa possibilitou identificar dentre os laboratórios do NUMATS os que apresentavam maior probabilidade de acidentes. Como isso, seguiu-se a pesquisa com o laboratório de Cimentação e de Biomassas. Nesse trabalho foi feita uma análise dos espaços, operações e materiais envolvidos de forma que pudessem ser sinalizados os principais elementos de riscos e como se poderia mitigá-los. Aliado a isso, fez-se a sinalização correta do tempo de manutenção dos equipamentos e as medidas de segurança que devem ser tomadas ao manuseá-los.

Após a avaliação da metodologia utilizada para o desenvolvimento deste estudo de caso em comparação com outros estudos semelhantes, percebe-se que no geral, mesmo com alguns itens em disparidade, a conclusão final dos artigos foi semelhante, buscando a melhoria contínua e prezando pela segurança dos usuários do laboratório.

6 Considerações finais

A partir da análise desenvolvida neste artigo, pode-se concluir que há uma falta de métodos unificados que permitam aumentar a segurança ambiental e do trabalho nos laboratórios. Isso têm levado ao surgimento de situações perigosas que podem acarretar a ocorrência de incidentes ou acidentes nestes locais. Além disso, a negligência no cumprimento dos alinhamentos que os métodos recomendam também foi percebida como um fator relevante para a periculosidade dos locais.

Esta pesquisa permitiu o cumprimento dos objetivos traçados ao desenvolver uma metodologia de segurança padronizada para definir e mapear os riscos existentes nos laboratórios do NUMATS da UFRJ. No entanto, foram enfrentadas dificuldades com relação à medição do nível de ruído em decibéis, que não pode ser realizada devido à falta do equipamento apropriado, não possibilitando a conferência com a NR15. Além disso também não foi realizada a repetição do método para verificar se possíveis melhorias foram adotadas nos laboratórios. A implantação dos resultados obtidos neste artigo é fundamental para maior conscientização dos docentes e alunos, consequentemente aumentando as chances resolver sem pânico e com menores probabilidades de ocorrência de acidentes ou sinistros. A metodologia desenvolvida pode ser considerada facilmente replicável, pois explicita os passos a serem seguidos.

O método integrou três metodologias já existentes (Plano de Gerenciamento de Riscos, Análise Preliminar dos Riscos, e *Failure Mode and Effect Analysis*), para emitir cinco procedimentos úteis para o aumento da segurança, entre os que se encontram Mapas de Risco, Plano de Ação, Levantamento de Recursos Disponíveis, Rota de Fuga, e Mapa de Atendimento Médico.

Ao testar os métodos recomendados nos laboratórios de Cimentação e de Biomassa do NUMATS, foi emitida uma série de resultados de acordo com a metodologia proposta.

Com isso foram aprovadas as hipóteses apresentadas e respondidas as perguntas da pesquisa, afirmando a possibilidade de criar uma metodologia de segurança abrangente e facilmente implementada em qualquer momento, e que pode ser replicada para diferentes laboratórios.

A partir da aplicação de todas as metodologias mencionadas anteriormente, foi possível propor melhorias de um ponto de vista externo dos usuários frequentes do laboratório. Isso porque estes, por estarem acostumados com a rotina, muitas vezes ignoram os cuidados necessários que garantem a segurança e bem-estar dos usuários. Por fim, essa metodologia buscou simplificar o processo de avaliação de risco em laboratórios universitários, propondo um método unificado em prol da segurança.

Para futuras pesquisas é recomendado que, para verificar a taxa de sucesso na diminuição dos acidentes ocorridos, sejam contabilizados a quantidade de incidentes durante um período pré-determinado anterior à aplicação do sistema e a quantidade de incidentes em um período de mesma duração após a aplicação do sistema. Também, após obter os dados, deve ser feita a sua análise, de maneira que possa ser comparada a frequência e intensidade dos incidentes nos períodos distintos, verificando se houve diminuição conforme esperado.

Referências

- ABRANTES JÚNIOR, João Bosco. **Elaboração de mapas de riscos para os laboratórios de geotecnia e materiais de construção e técnicas construtivas do IFPB campus Cajazeiras.** 2020. 51 f. Graduação em Engenharia Civil. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2020.
- ALFARTH, Alessandra; EYERKAUFERM, Marino Luiz; RENGEL, Rodrigo. **Elaboração do plano de gerenciamento de riscos corporativos a partir da estruturação e interpretação de fatores de risco do Interpretive Structural Modeling.** Revista de Contabilidade e Controladoria, v. 12, n. 1, p. 138-158, 2020. doi: 10.5380/rcc.v12i1.75373.
- ALMEIDA, Guaracy Vieira de. **Incêndios em bibliotecas: estudo sobre os métodos de prevenção e combate ao fogo.** Monografia (Graduação em Biblioteconomia e Documentação). Instituto de Arte e Comunicação Social, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2021. 66f.
- AMARAL, Gabriel Coelho do; GOMES, Felipe Silva. **Evacuação em emergências nas escolas.** Distrito Federal: Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, 2019.
- ANDRADE, Roneide Martins de. **Riscos de operação de máquinas e equipamentos em laboratórios da construção civil de uma instituição de ensino.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2020. 42f.
- ARAÚJO, Artur Alves de. **Gestão de risco no setor público:** Percepção do gerenciamento de riscos nas universidades federais. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2019. 229f.

- BHATTACHARJEE, Pushparenu; DEY, Vidyut; MANDAL, U. K. **Risk assessment by failure mode and effects analysis (FMEA) using an interval number based logistic regression model.** Safety Science, v. 132, 2020. doi: 10.1016/j.ssci.2020.104967.
- BARBOSA, Frederico Celestino. **Engenharia de produção: Produtividade e competitividade.** 2. ed. Goiânia: Editora Conhecimento Livre, 2020. DOI: 10.29327/511762.
- BATISTA, Raquel Dias. **Plano de Emergência Contra Incêndio de um Edifício.** Tese (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009. 89f.
- CAVALCANTE, Cleonice Andréa Alves *et al.* **Riscos Ocupacionais do Trabalho em Enfermagem: Uma Análise Contextual.** Ciência, Cuidado e Saúde, no. 1, Maringá, pp. 88–97, jan. 2006.
- COIMBRA, Erik Kenes Silva; MARQUES, Charles Diniz Marques. **Utilização da ferramenta FMEA e APR para identificação e avaliação dos riscos em um laboratório de ensino de uma instituição de ensino superior.** Universidade Federal Rural do Semiárido, 2018. 13 f.
- CRUZ, Pedro Henrique Ribeiro da. **Avaliação de impactos ambientais pelo método FMEA: o caso do Laboratório de Materiais de Construção do Campus do Sertão.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação). Universidade Federal de Alagoas Campus do Sertão. Delmiro Gouveia, 2022. 61 f.
- CUNHA, Luís Veiga. **Segurança Ambiental e Gestão dos Recursos Hídricos,** in 4º Congresso da Água, Lisboa: N 86° - 2ª Série, 23 – 27 Mar. 1998, pp27 – 50.
- DANTAS, Marina Kolland; OLIVEIRA, Lilian Ribeiro; PASSADOR, Cláudia Souza. **Análise das políticas públicas ambientais e de saúde no Brasil: avanços, desafios e oportunidades.** Revista de Administração, Contabilidade e Economia da Fundace, v. 7, n. 3, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.13059/racef.v7i3.399>
- FIGURA JUNIOR, Paulo. **Plano de emergência em posto de combustível um estudo de caso.** 2017. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia do Trabalho) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.
- GOULART, Leonardo Salomão *et al.* **Work accidents and occupational risks identified in the mobile emergency service.** Revista da Escola de Enfermagem, vol. 54, pp. 1–8, 2020. DOI: 10.1590/S1980-220X2018056903603.
- KORF, Eduardo Pavan; GOELLNER, Claud Ivan. **Diretrizes para elaboração de programas de gerenciamento de riscos de acidentes ambientais e ocupacionais (PGR) para aplicação em instalações industriais.** Revista Gestão Industrial, v. 07, n. 03, p. 60-74, out. 2011, DOI: 10.3895/s1808-04482011000300004.
- MARTINS, Mylena Frigi. **Proposta de plano para gerenciamento dos riscos ocupacionais em um laboratório de uma instituição de ensino superior.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2019.
- MATTOS, Ubirajara A. de O.; FREITAS, Nilton Benedito B. **Mapa de risco no Brasil:** as limitações da aplicabilidade de um modelo operário. Cadernos de Saúde Pública, v. 10, p. 251-258, 1994.

OLIVEIRA, Ana Flávia. dez. 2023. **Segurança do Trabalho: entenda o que é e suas principais ações.** Disponível em: <https://beecorp.com.br/seguranca-do-trabalho/>. Acesso em: 23 jul. 2024.

OLIVEIRA, Marcos Alberto. **Saúde, segurança do trabalho e meio ambiente:** 2. ed. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2022.

PEINADO, Hugo Sefrian et al. **Segurança e saúde do trabalho na indústria da construção civil.** São Carlos: Editora Scienza, 2019. DOI: 10.26626/978-85-5953-048-3.2019B0001.

PEREIRA, Flávio Godinho; FIRME, Paulo Henrique Camargos; COTTA, João Paulo Vieira. **Plano de Ação de Emergência de barragens de mineração: evolução, conceito e discussões.** Territorium, n. 28 (I), p. 53-66, 2021. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_28-1_4

PINHEIRO, Cézar Di Paula da Silva et al. **Análise preliminar de riscos (APR) aplicada às atividades desenvolvidas por trabalhadores do Complexo do Ver-O-Peso, Belém/PA.** Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento, v. 12, n. 1, p. 266-289, 2023.

PORTAL DA INDÚSTRIA. **Segurança e Saúde no Trabalho: tudo sobre as normas e leis.** Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a-z/seguranca-saude-trabalho/>. Acesso em: 22 Mai. 2022.

QIN, Jindong; XI, Yan; PEDRYCZ, Witold. **Failure mode and effects analysis (FMEA) for risk assessment based on interval type-2 fuzzy evidential reasoning method.** Applied Soft Computing, v. 89, 2020. Doi: 10.1016/j.asoc.2020.106134.

RAH, Jeong-Eun et al. **A comparison of two prospective risk analysis methods: Traditional FMEA and a modified healthcare FMEA.** Medical Physics, v. 43, n. 12, p. 6347-6353, 2016. doi: 10.1118/1.4966129.

RAICOVITCH, Juliana Amanda Rufine et al. **Elaboração e aplicação de um método para desenvolvimento do plano de segurança contra incêndio e pânico,** in X Encontro Internacional de Produção Científica, Maringá: UNICESUMAR, Oct. 2017, pp. 1–13.

SANTANA, Jhenefer Salles. **Implantação de rota de fuga em uma edificação de uso coletivo na região de Ariquemes-RO:** estudo de caso das condições de segurança na rota de fuga em uma boate. 2020. 56 f., il. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Faculdade de Educação e Meio Ambiente. Ariquemes, 2020.

SANTOS, Geisiane Bárbara Inácio dos. **Proposta de intervenção pedagógica: Aplicação de um mapa de risco ambiental a partir de uma visita técnica.** 2024. Dissertação (Mestrado). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cabedelo, 2024.

SANTOS, Larissa Karolaine Ferreira dos. **Análise e gerenciamento de risco do laboratório de ensino de engenharia química (LEEQ) da Universidade Federal de Alagoas.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2023.

SEMPREBOM, Edson. **O uso do mapa de risco ocupacional como ferramenta do sistema de gestão da saúde e segurança do trabalhador.** 2014. 47 f. Tese (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2014.

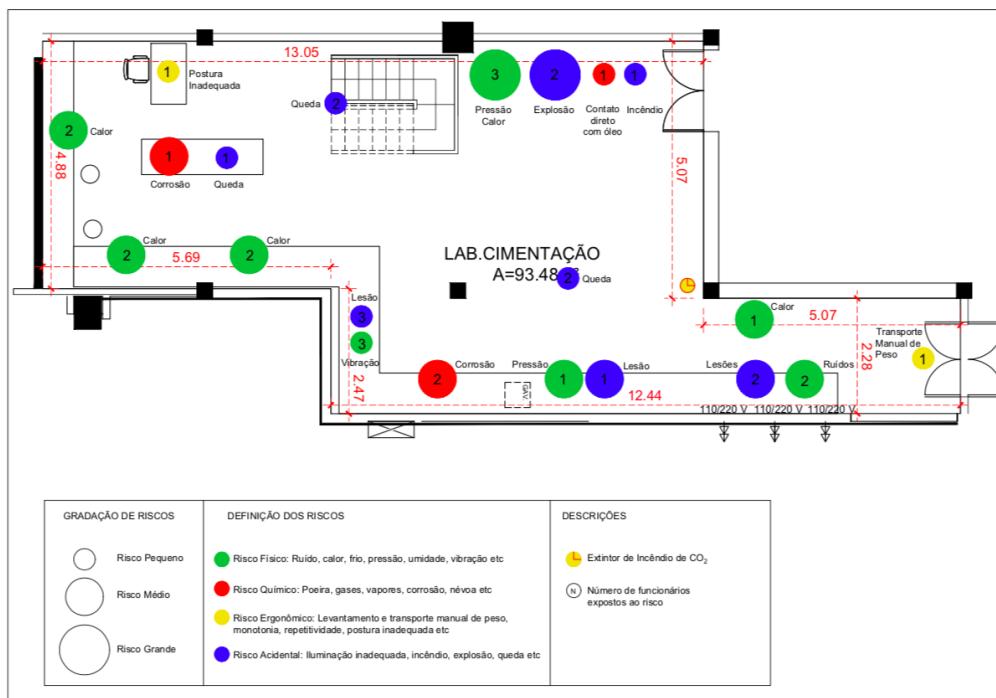
SILVA, Estela Vitória da Silva e et. al. **A utilização da metodologia FMEA e SLP para priorização de riscos ocupacionais: um estudo de caso realizado em um laboratório de**

pesquisa. Revista Gestão Industrial, v. 15, n. 03, p. 209-236, jul./set. 2019, DOI: 10.3895/gi.v15n3.10657.

TONDIN, Renata; DREGER, Ademir Anildo; BARBOSA, Luiz Antonio. **Melhoria no desenvolvimento de produto: uma aplicação da ferramenta FMEA.** Revista Espacios, v. 38, n. 06, p. 18, Ago. /Set. 2016.

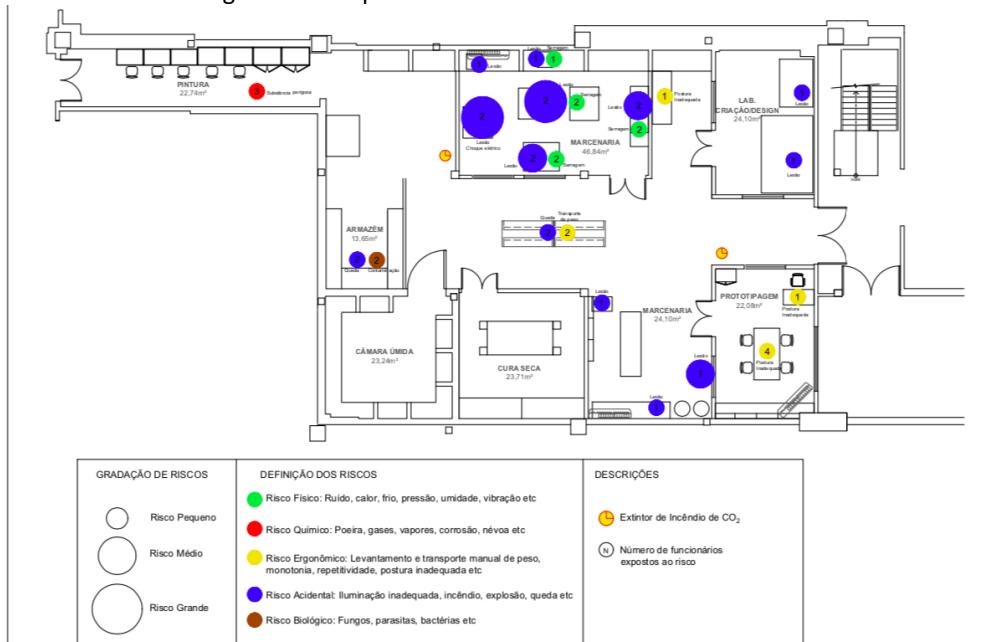
Apêndice

Figura A1 - Mapa de Riscos do laboratório de Cimentação



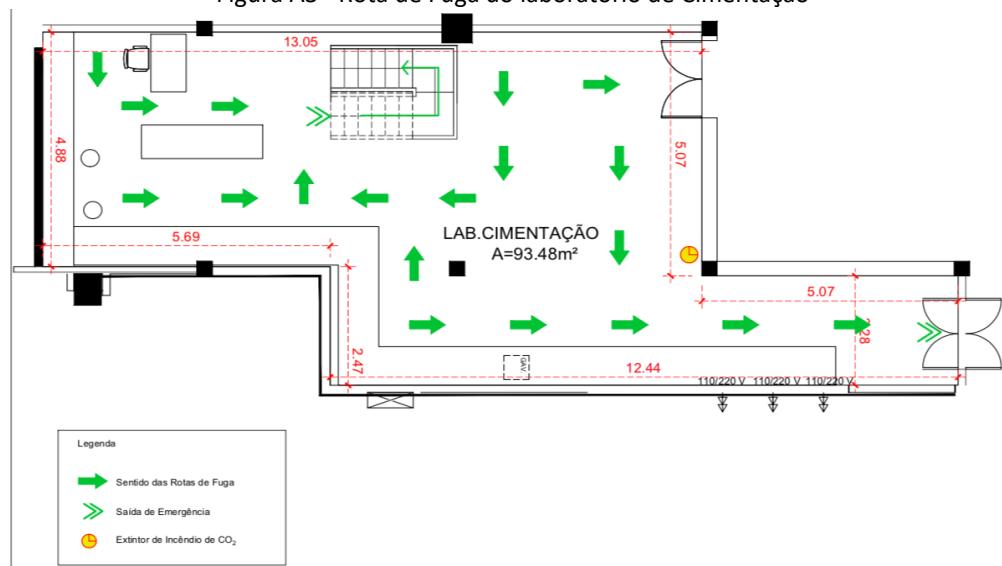
Fonte: Elaboração Própria

Figura A2 - Mapa de Riscos do laboratório de Biomassas



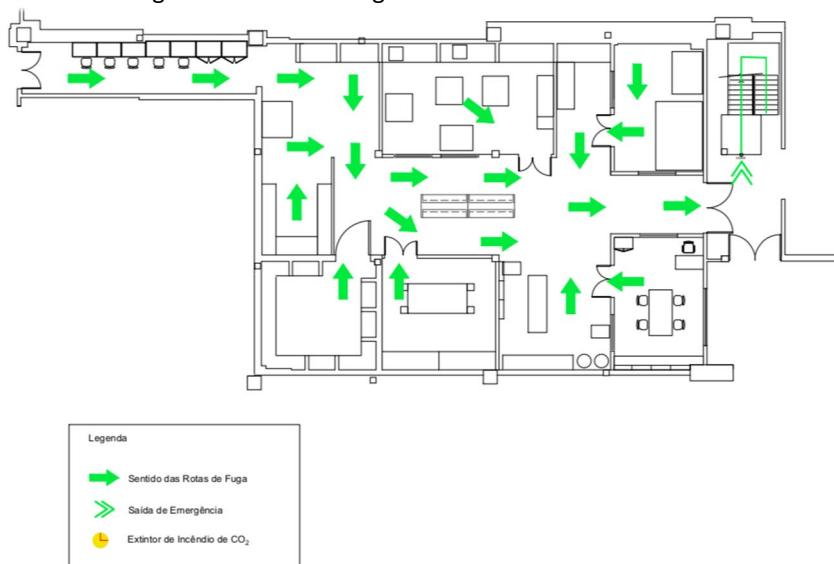
Fonte: Elaboração Própria

Figura A3 - Rota de Fuga do laboratório de Cimentação



Fonte: Elaboração Própria

Figura A4 - Rota de Fuga do laboratório de Biomassas



Fonte: Elaboração Própria

Quadro A1 - Índice de Severidade

Índice de severidade		
Classificação	Descrição	Valor atribuído
Catastrófico	Morte ou perda do sistema	1
Crítico	Ferimento, doença ocupacional ou dano ao sistema severos, falha grave no processo	2
Marginal	Com potencial para causar ferimentos ao pessoal, pequenos danos ao meio ambiente ou equipamentos/instrumentos. Redução significativa da produção. Impactos ambientais restritos ao local da instalação, controlável.	3
Negligenciável	Incidentes operacionais que podem causar indisposição ou mal-estar ao pessoal e danos insignificantes ao meio ambiente e equipamentos (facilmente reparáveis e de baixo custo). Sem impactos ambientais	4

Fonte: Adaptado de MIL-STD-882E [28]

Quadro A2 - Probabilidade de Ocorrência

Probabilidade de ocorrência		
Classificação	Descrição	Valor atribuído
Frequente	Provável que ocorra com frequência durante a vida útil do procedimento/item	A
Provável	Provável que ocorra algumas vezes durante a vida útil do procedimento/item	B
Ocasional	Provável que ocorra em algum momento da vida útil do procedimento/item	C
Remoto	Improvável, porém tem a possibilidade de ocorrer no tempo de vida útil do procedimento/item	D
Improvável	Improvável de forma que é possível considerar que não vá ocorrer no tempo de vida útil do procedimento/item	E

Fonte: Adaptado de MIL-STD-882E [28]

Quadro A3 - Probabilidade de Detecção

Probabilidade de detecção		
Classificação	Descrição	Valor atribuído
Rara	Detecção altamente improvável	5
Baixa	Baixa probabilidade de detecção	4
Moderada	Chances médias de detecção	3
Alta	Possui alta probabilidade de ser detectado	2
Muito Alta	Certamente será detectado	1

Fonte: Adaptado de MIL-STD-882E [28]

Quadro A4 - Categorias de Perigo

Frequência de Ocorrência	Categorias de Perigo			
	I - Catastrófico	II - Crítico	III - Marginal	IV - Negligenciável
(A) Frequentes	1A	2A	3A	4A
(B) Provável	1B	2B	3B	4B
(C) Ocasional	1C	2C	3C	4C
(D) Remoto	1D	2D	3D	4D
(E) Improvável	1E	2E	3E	4E

Fonte: Adaptado de MIL-STD-882E [28]

Quadro A5 - Classificação de Risco

Classificação de risco (RAC)		
Classificação	Descrição	Grau
1A, 1B, 1C, 2A, 2B	Inaceitável, mudanças devem ser feitas	Alto
1D, 2C, 3A, 3B	Indesejável, fazer mudanças se possível	Sério
1E, 2D, 2E, 3C, 3D, 3E, 4A, 4B	Aceitável com revisão da gestão	Médio
4C, 4D, 4E	Aceitável sem revisões	Baixo

Fonte: Adaptado de MIL-STD-882E [28]

Quadro A6 - Índice de Severidade Ajustado

Índice de severidade	Descrição	Valor atribuído
Catastrófico	Morte ou perda do sistema	10
		9
Crítico	Ferimento, doença ocupacional ou dano ao sistema severos, falha grave no processo	8
		7
Marginal	Com potencial para causar ferimentos ao pessoal, pequenos danos ao meio ambiente ou equipamentos/instrumentos. Redução significativa da produção. Impactos ambientais restritos ao local da instalação, controlável.	6
		5
		4
Negligenciável	Incidentes operacionais que podem causar indisposição ou mal-estar ao pessoal e danos insignificantes ao meio ambiente e equipamentos (facilmente reparáveis e de baixo custo). Sem impactos ambientais	3
		2
		1

Fonte: Adaptado de MIL-STD-882E [28]

Quadro A7 - Probabilidade de Ocorrência Ajustada

Probabilidade de ocorrência		
Classificação	Descrição	Valor atribuído
Frequente	Provável que ocorra com frequência durante a vida útil do procedimento/item	10
		9
Provável	Provável que ocorra algumas vezes durante a vida útil do procedimento/item	8
		7
Ocasional	Provável que ocorra em algum momento da vida útil do procedimento/item	6
		5
		4
Remoto	Improvável, porém tem a possibilidade de ocorrer no tempo de vida útil do procedimento/item	3
		2
Improvável	Improvável de forma que é possível considerar que não vai ocorrer no tempo de vida útil do procedimento/item	1

Fonte: Adaptado de MIL-STD-882E [28]

Quadro A8 - Probabilidade de Detecção Ajustada

Probabilidade de detecção		
Classificação	Descrição	Valor atribuído
Rara	Detecção altamente improvável	10
	Muito improvável de ser detectada	9
Baixa	Remota probabilidade de detecção	8
	Pequena probabilidade de detecção	7
Moderada	Média probabilidade de detecção	6
	Razoável probabilidade de detecção	5
	Boa probabilidade de detecção	4
Alta	Grande probabilidade de ser detectada	3
	Detecção quase certa	2
Muito Alta	Detecção já certa/ Prevenção do erro	1

Fonte: Adaptado de MIL-STD-882E (USDOD,2012)

Quadro A9 - Listagem das máquinas do laboratório de Cimentação

Nome	Marca	Aplicação	Identificação
Consistômetro Pressurizado	Chandler	Determinação de tempo de espessamento	1
Câmara de Cura (água; 2 unid.)	Chandler	Cura de Corpos de Prova	2
Câmara de Cura (óleo)	Chandler	Cura de Corpos de Prova	3
Warig Blender (1 Gal)	Chandler	Preparação de PASTAS de cimento	4
Consistômetro Atmosférico (2 unid.)	Chandler	Condicionamento de PASTAS de cimento, e água normal	5
Warig Blender (1 L; 2 unid.)	Chandler	Preparação de PASTAS de cimento	6
Analizador de Pulso Ultrassônico UCA twin, com pressão e temperatura controladas	Chandler	Determinação contínua de Resistencia a Compressão	7
SGSA	Chandler	Determinação contínua de Resistencia a Compressão	8
Bomba Micrometrica	Quizix	Pressurização com precisão programável de células	9
Viscosímetro para pasta de Cimentação	Fann	Parâmetros Reológicos	10
Balança de lama Pressurizada	Chandler	Densidade da pasta de cimento e fluido de perfuração	11
Balança de lama Atm	Chandler	Densidade da pasta de cimento e fluido de perfuração	12
Funil Marsh	X	Viscosidade de fluido de Perfuração	13
Agulha de Vicat	Lidinel	Determinação da consistência normal, do tempo de início e tempo de fim de pega da pasta cimento.	14
Deonisador	Elzividros	obtenção de água deionizada	15
Placa de acrílico e troco de cone	x	Mini espalhamento	16
Banho de Cura (3 unid.)	Siemens	Cura de cimento em corpos de prova	17
Banho termostático	Julabo	Cura de cimento em corpos de prova	18
Argamassadeira 1 kg com velocidade controlada (3 unid.)	Metalúrgica Siemens	Preparação de PASTAS de cimento	19

Fonte: Elaboração Própria

Quadro A10 - Listagem das máquinas do laboratório de Biomassas

Nome	Marca	Aplicação	Identificação
Fresadora Cobra - CNC	GWEIKE	Recorte de materiais, entalhes, acabamentos adicionais e detalhes	1
Máquina de Corte a Laser Cobra - CNC	GWEIKE	Recorte de materiais, entalhes, acabamentos adicionais e detalhes	2
Serra Fita de Bancada móvel	MAKITA	Corte de madeira, polímeros e metais	3
Serra Circular	RAIMANN	Adaptada Para Corte em Bambu	4
Plaina Desempenadeira	INVICTA	Ajustar a espessura de uma peça de madeira	5
Plaina Desengrossadeira	MARAJO	Realizar acabamento e ajustes em peças de madeira	6
Plaina Desengrossadeira	MAKITA	Realizar acabamento e ajustes em peças de madeira	7
Calibrador	RAIMANN	Alisar superfícies de madeira	8
Lixa de Disco	Max Disc Sander	Moer e alisar superfícies de materiais de trabalho	9
Prensa de taliscas horizontais	RAIMANN	Manter juntas lâminas de madeira após colagem (Para lâminas de Bambu)	10
Serra de esquadria	BOSCH	Realizar cortes precisos em ângulos	11
Furadeira de Bancada	Schulz Pratika	Fazer furos com precisão	12
Triturador de Resíduos	FRAGMAQ	Processar materiais	13
Moinho de Facas SL	SOLAB	Moagem de amostras secas	14

Fonte: Elaboração Própria

Quadro A11 - APR do laboratório de Cimentação

Laboratório de Cimentação								
Setor	Nº	Item	Categoria de risco	Perigo	Causa	Efeito	RAC	Medida preventivas e mitigação
Área de preparação e condicionamento da pasta	1	Argamassa deira	Acidental/ Físico	Lesão nas mãos; Respingos de pasta nos olhos/ Vibração	Mãos em contato com pá (batedor) enquanto equipamento está ligado; Ligar a máquina com velocidade alta/ Contato com superfície ou equipamento em constante vibração	Machucados que podem comprometer a rotina de trabalho podendo deixar sequelas; Irritação ou inflamação dos olhos/ doenças ocupacionais como problemas cardiovasculares e musculares	3B	Colocação de protetor de acrílico ou rede de ferro vazada ao redor da cuba; Uso de óculos de proteção/ Uso de superfície amortecedora
	2	Pó de cimento	Químico	Inalação/ Contato com a Pele/ Cegueira	Manuseio do material sem proteção	Pneumoconioses (deposição, por inalação, de partículas sólidas nos pulmões) / Reações alérgicas, queimação e ressecamento da pele por conta da alcalinidade do material/ lesões na córnea	3B	Uso de máscara/ Uso de luvas, botas e calças compridas/ Uso de óculos
	3	Aditivos	Químico	Respingo nos olhos, nariz, boca/ contato direto com as mãos	Manuseio do material sem proteção	As lesões são claramente visíveis: vermelhidão (eritema), inchaço (edema), eczema, bolhas, fissuras e necrose do tecido e provoca a sensibilidade dos olhos, causando irritações conjuntivas, lesões graves e irreversíveis como a cegueira	3D	Uso de luvas, botas e calças compridas
	4	Warig Blender - gal	Acidental e Físico	Lesões/ Ruídos	Manuseio, com as mãos, dentro do recipiente com a máquina	Cortes e infecção pela entrada de pasta na ferida/	2D	Treinamento para lidar corretamente com o

				ligada/ Som emitido pela máquina ao ser acionada	prejuízo à audição		equipamento/ Uso de abafador de ruídos
5	Warig Blender - 1 L	Acidental e Físico	Lesões/ Ruídos	Manuseio, com as mãos, dentro do recipiente com a máquina ligada/ Som emitido pela máquina ao ser acionada	Cortes e infecção pela entrada de pasta na ferida/ prejuízo à audição	2D	Treinamento para lidar corretamente com o equipamento/ Uso de abafador de ruídos
6	Consistômetro atmosférico	Físico	Superfície do equipamento quente	Acionar o equipamento para efetuar um teste em temperaturas elevadas (até 90 graus)	Queimaduras na pele	3C	Uso de luvas de proteção e sinalizar região ao redor da máquina a fim de evitar contato desnecessário com sua superfície
7	Hidróxido de Sódio	Químico	Corrosão	Contato do material com a pele	Destrução dos tecidos da derme e quando nos olhos, pode levar a cegueira	2C	Utilização de Luvas, máscaras e óculos de proteção
8	Câmara de cura de água	Físico e Acidental	Superfície quente / Explosão por pressão	Acionar o equipamento para efetuar um teste em temperaturas elevadas / Pressão muito alta no equipamento	Queimaduras na pele/ Destrução de parte ou total do laboratório, podendo levar ao incêndio e ferimento de pessoas	3B /1C	Uso de luvas de proteção e sinalizar região ao redor da máquina a fim de evitar contato desnecessário com sua superfície/ Monitoramento da pressão, uso de disco de ruptura (segurança do equipamento que abre canal para ambiente aliviando a pressão interna da máquina)
9	Câmara de cura de óleo	Físico e Acidental	Superfície quente; queimadura com óleo / Não colocação do termômetro; explosão por pressão	Acionar o equipamento para efetuar um teste em temperaturas elevadas / Falha humana na colocação do termômetro; Pressão muito alta no equipamento	Queimaduras na pele/ Aquecimento acima da temperatura necessária; Destrução de parte ou total do laboratório, podendo levar ao incêndio e ferimento de pessoas	3B /1C	Manuseio com luvas de proteção/ O aparelho possui 2 termômetros, um do cilindro e outro que deve ser colocado com a amostra. Esse último, se não colocado não retrata a temperatura da máquina e essa

							continuará aquecendo progressivamente; Monitoramento da pressão e uso de disco de ruptura
10	Consistômetro pressurizado	Físico e Acidental	Superfície quente ou queimadura com óleo / Não colocação do termômetro; retirada da amostra incorreta; Explosão por pressão	Acionar o equipamento para efetuar um teste em temperaturas elevadas / Falha humana na colocação do termômetro; falha humana na colocação do termômetro; Pressão muito alta no equipamento	Queimaduras na pele/ Aquecimento acima da temperatura necessária; Respingos de material quente no indivíduo; Destrução de parte ou total do laboratório, podendo levar ao incêndio e ferimento de pessoas	3B /1C	Manuseio com luvas de proteção/ Colocação correta do termômetro para evitar aquecimento progressivo; esperar célula esfriar antes de abrir máquina para retirar o corpo de prova; Monitoramento da pressão e uso de disco de ruptura
11	Óleo mineral	Químico e Acidental	Contato com os olhos; Contato com a pele; Inalação de seu vapor quente/ Derramamento de óleo no chão; incêndio	Falta de uso de EPI/ Recipientes furados ou erro humano; produto combustível	Irritação; alergia; acúmulo de gotas de óleo nos pulmões/ Queda de um funcionário; incêndio do laboratório podendo levar a mortes e explosão	2C/ 1C	Uso adequado de EPI/ Isolamento do local do derramamento e rápida limpeza, conhecimentos que devem ser passados aos funcionários no treinamento
12	Pasta de cimento	Químico	Dermatose ocupacional	Manuseio do material sem proteção	Reações alérgicas, queimação e ressecamento da pele por conta da alcalinidade do material	3B	Uso de luvas, botas e calças compridas
Resistência à compressão	13	Pasta de cimento	Químico	Dermatose ocupacional	Manuseio do material sem proteção	3B	Uso de luvas, botas e calças compridas
	14	Analisador de pulso ultrassônico	Acidental	Queda do equipamento	O usuário pode esbarrar no equipamento ou movê-lo inadequadamente	3D	Uso de EPI/ colocar avisos para não mover o equipamento

	15	SGSA	Físico	Queimadura e pressão	Manuseio inadequado do equipamento/ pressões muito altas	Queimaduras na pele/ incêndio no laboratório	2C	Uso adequado do EPI/ Uso de EPC/ extintores/ sprinklers/ Treinamento do manuseio
	16	Bomba micrométrica	Acidental/Físico	Lesão e pressão	Manuseio inadequado e defeito no equipamento	Explosão e queda causando hematomas	4B/2 C	Uso adequado do EPI/ Uso de EPC/ extintores/ sprinklers/ Treinamento do manuseio
Bancada de deionizador	17	Deionizador	Acidental	Queda do galão	Posicionamento acima de superfície inadequada que possa levar a um tombamento	Levar a queda do usuário podendo causar alguma torção ou quebra de um membro	3D	Demarcação adequada da área de posicionamento de modo que não coincida com região de constante passagem de pessoas e, se posicionado acima de alguma bancada, certificar que esta aguenta seu peso e tenha tamanho adequado
	18	Banho de cura	Físico	Queimadura	Abertura da tampa ou manuseio inadequado	A abertura inadequada pode levar o vapor quente em contato com qualquer parte do corpo, inclusive os olhos	3B	Uso de EPI/ treinamento adequado para o uso do equipamento
Cura do corpo de prova	19	Banho termoestático	Físico	Queimadura	Toque na superfície quente	Pequenas queimaduras locais no usuário	3D	Uso de EPI
	20	Agulha de Vicat	Acidental	Queda	Posicionamento inadequado ou manuseio inadequado do equipamento	Lesão de alguma parte do corpo do usuário	4B	Treinamento de uso adequado do equipamento
	21	Corpo de prova	Acidental	Queda do corpo de prova	Manuseio inadequado do CP na hora de desmoldar ou durante os processos de ensaio	Hematomas na parte atingida pelo equipamento	3C	Treinamento de uso adequado e EPI
Área de limpeza	22	Ácido clorídrico	Químico	Respingo nos olhos, nariz, boca/ contato direto com as mãos	Manuseio inadequado do produto químico na hora de limpar algum equipamento	Destrução dos tecidos da derme e quando nos olhos, pode levar a cegueira	2C	Utilização de Luvas, máscaras e óculos de proteção

23	Aditivos	Químico	Respingo nos olhos, nariz, boca/ contato direto com as mãos	Manuseio do material sem proteção	As lesões são claramente visíveis: vermelhidão (eritema), inchaço (edema), eczema, bolhas, fissuras e necrose do tecido e provoca a sensibilidade dos olhos, causando irritações conjuntivas, lesões graves e irreversíveis como a cegueira	3D	Uso de luvas, botas e calças compridas	
24	Pasta de cimento	Químico	Dermatose ocupacional	Manuseio do material sem proteção	Reações alérgicas, queimação e ressecamento da pele por conta da alcalinidade do material	3B	Uso de luvas, botas e calças compridas	
25	Óleo mineral	Químico e Acidental	Contato com os olhos; Contato com a pele; Inalação de seu vapor quente/ Derramamento de óleo no chão; incêndio	Falta de uso de EPI/ Recipientes furados ou erro humano; produto combustível	Irritação; alergia; acúmulo de gotas de óleo nos pulmões/ Queda de um funcionário; incêndio do laboratório podendo levar a mortes e explosão	2C/ 1C	Uso adequado de EPI/ Isolamento do local do derramamento e rápida limpeza, conhecimentos que devem ser passados aos funcionários no treinamento	
26	Hidróxido de sódio	Químico	Corrosão	Contato do material com a pele	Destrução dos tecidos da derme e quando nos olhos, pode levar a cegueira	2C	Utilização de Luvas, máscaras e óculos de proteção	
Bancada	27	Mesa e Cadeira	Ergonômico	Hérnia, escoliose e dores musculares	Postura inadequada de trabalho	Lesão em diversas partes da coluna vertebral e dos músculos relacionados	3A	Uso de cadeiras ergonmétricas, mesa da altura dos braços
Recebimento de Material	28	Carrinho de transporte	Ergonômico	Hérnia, escoliose e dores musculares	Transporte de Peso	Lesão em diversas partes da coluna vertebral e dos músculos relacionados	3A	Aviso e treinamento adequado para o manuseio dos equipamentos do laboratório

Fonte: Elaboração Própria

Quadro A12 - APR do laboratório de Biomassas

Laboratório de Biomassas								
Setor	Nº	Item	Categoria de risco	Perigo	Causa	Efeito	RAC	Medida preventivas e mitigação
Marcenaria	1	Serra Fita	Acidental	Corte e ferimentos graves	Erro de operação, falta de EPI, falha na trava de segurança, forçar a ferramenta manuseando materiais inadequados, emperramento devido a presença de detritos na lâmina	Podem ocorrer ferimentos de leves à graves, ou perda de dedos ou mão, se houver contato com a serra quando em atividade	3C	Utilização dos EPI's e realização das atividades sob supervisão do especialista
	2	Serra circular	Acidental e Físico	Corte, ferimentos graves ou amputação / Dano auditivos, problemas respiratórios	Acionamento da serra com materiais na bancada, erro de operação, arremesso de fragmentos, falta de lubrificação e empenamento gerando contragolpe, queimadura após encostar na lâmina instantes depois da operação, falta de uso de EPI	Podem ocorrer perda de membros se houver contato com a serra quando em atividade, danos permanentes à audição decorrentes da exposição prolongada à sons altos e problemas respiratórios pela inalação de serragem.	2C	Utilização dos EPI's necessários e manutenção prévia da máquina
	3	Plaina Desempenadeira	Acidental e Físico	Corte, ferimentos graves ou amputação / Dano auditivos, problemas respiratórios	Erro de operação, utilização de vestimenta inadequada, emperramento devido a presença de detritos na lâmina/ Manuseio incorreto dos cabos elétricos/ Exposição prolongada e não utilização de EPI's	Podem ocorrer cortes se houver contato direto com a lâmina durante a operação, ou se alguma peça de roupa ficar presa, danos permanentes à audição decorrentes da exposição prolongada à sons altos e problemas respiratórios pela inalação de serragem.	2D	Utilização dos EPI's necessários e de vestuário adequado para a atividade.

4	Plaina Desengrossadeira	Acidental e Físico	Esmagamento ou amputação/choque elétrico / Dano auditivos, problemas respiratórios	Erro de operação, utilização de vestimenta inadequada, emperramento devido a presença de detritos na lâmina/ Manuseio incorreto dos cabos elétricos / Exposição prolongada e não utilização de EPI's	Podem ocorrer fratura/esmagamento dos ossos ou perda dos membros se o operador entrar em contato direto com a lâmina da máquina, ou se seu braço e mão forem puxados pela máquina, decorrente de alguma peça de roupa ser agarrada, além de danos permanentes à audição decorrentes da exposição prolongada à sons altos e problemas respiratórios pela inalação de serragem.	2D	Utilização dos EPI's necessários e de vestuário adequado para a atividade.
5	Calibrador	Acidental e Físico	Esmagamento ou amputação/choque elétrico / Dano auditivos, problemas respiratórios	Erro de operação, utilização de vestimenta inadequada / Manuseio incorreto dos cabos elétricos/ Exposição prolongada e não utilização de EPI's	Podem ocorrer fratura/esmagamento dos ossos ou abrasões se o operador entrar em contato direto com a lixa da máquina, ou se seu braço e mão forem puxados pela máquina, decorrente de alguma peça de roupa ser agarrada.	2D	Utilização dos EPI's necessários e de vestuário adequado para a atividade.
6	Lixa de disco	Acidental e Físico	Ferimento/Problemas respiratórios	Erro de operação, manuseio do equipamento sem EPI/ Exposição prolongada	Podem ocorrer ferimentos e abrasões na pele dos operadores, caso haja contato direto com a lixa, além de problemas respiratórios consequentes da exposição prolongada e inalação da serragem.	3C	Utilização dos EPI's necessários

7	Serra de esquadria	Acidental e Físico	Corte ou amputação / Dano auditivos, problemas respiratórios	Falha no mecanismo de proteção da serra, erro de operação, base de fixação não estava firme, manuseio do equipamento sem EPI, corte ou rebote no manuseio de peças muito pequenas/ Exposição prolongada	Pode haver amputação de membros caso o operador posicione-se mal durante a operação, ou se o mecanismo de segurança falhar, além de danos permanentes à audição decorrentes da exposição prolongada à sons altos e problemas respiratórios pela inalação de serragem.	2D	Utilização dos EPI's necessários e dos sistemas de segurança da máquina de forma correta,
8	Furadeira de bancada	Acidental	Ferimento	Erro de operação, falta de EPI, forçar a ferramenta manuseando materiais inadequados, emperramento devido a presença de detritos, base de fixação não estava firme.	Pode haver ferimento, caso o operador posicione-se mal durante o uso do equipamento, ou decorrente de peças pequenas arremessadas durante uso.	3D	Utilização sempre em superfície plana e regular.
9	Triturador de resíduos	Acidental e Físico	Ferimentos / Choque elétrico	Sobrecarga do equipamento, utilização de vestimenta inadequada, manuseio incorreto do quadro de força	Pode haver ferimentos caso um fragmento dos bambus triturados seja arremessado durante o processo e atinja o operador. Há ainda o risco de choque elétrico, visto que a máquina opera com uma voltagem de 220V.	4D/3D	Evitar sobrecarga da máquina, com utilização de quantidade excessiva de material.
10	Moinho de Facas	Acidental	Ferimentos	Erro de operação, falta de uso de EPI, emprenamento devido a presença de detritos	Pode haver ferimentos caso haja erro de manuseio do equipamento, a exemplo de inserir amostras sem o uso do pilão, inserindo dedos no moinho.	3D	Sempre utilizar os equipamentos auxiliares para inserir o material a ser triturado.

Pintura	11	Madeira	Acidental e Biológico	Ferimentos / Contaminação	Mal armazenamento e proliferação de microrganismos, queda do material;	Pode haver danos ao sistema respiratório caso os materiais armazenados não estejam secos o suficiente, causando proliferação de fungos, além de danos ergonômicos, caso o funcionário necessite mover peças excessivamente grandes sem auxílio.	4D	Utilização de um sistema de ventilação e desumidificação adequado, principalmente pelo fato do laboratório ser subterrâneo. Alocação dos materiais de maneira organizada e evitando grandes alturas.
	12	Ferramentas	Acidental	Ferimentos leves	Queda da ferramenta, erro de manuseio	Pode haver ferimentos leves caso haja mal manuseio das ferramentas.	3B	Utilização em superfícies planas e uniformes.
	13	Solvente	Químico	Respingo nos olhos, nariz, boca, contato direto com as mãos	Manuseio incorreto e falta de EPI	Pode haver danos ao sistema respiratório pela inalação de partículas e irritação da pele.	4C	Utilização de EPI's e vestimentas adequados, além de ventilaçãopropriada.
	14	Tinta	Químico	Respingo nos olhos, nariz, boca	Manuseio incorreto e falta de EPI	Pode haver danos ao sistema respiratório pela inalação de partículas e irritação da pele.	4C	Utilização de EPI's adequados, além de ventilaçãopropriada.
Armazenamento	15	Bambu	Acidental e Ergonômico	Ferimentos / Carregamento de peso	Queda do material, carregamento de peso elevado	Pode haver danos ergonômicos, caso o funcionário necessite mover peças excessivamente grandes sem auxílio.	4D	Utilização de um sistema de ventilação e desumidificação adequado, principalmente pelo fato do laboratório ser subterrâneo. Alocação dos materiais de maneira organizada e evitando grandes alturas.
Criação e design	16	Máquina de corte a Laser	Acidental	Ferimentos	Lesões aos olhos e a pele	Caso haja contato com o laser da máquina, podem ocorrer lesões e dano à vista do operador.	3D	Evitar contato direto com o laser

	17	Fresadora Cobra	Acidental	Ferimentos graves	Fixação incorreta da peça, velocidade de operação inadequada	Caso haja contato com a lâmina pode haver ferimentos, além de possível dano ao sistema respiratório pela inalação de serragem.	2D	Evitar utilização da peça em velocidade excessiva, diminuindo as chances de tombamento.
Prototipagem	18	Mesa e Cadeira	Ergonômico	Hérnia, escliose e dores musculares	Postura Inadequada de trabalho	Lesão em diversas partes da coluna vertebral e dos músculos relacionados	3A	Uso de cadeiras ergométricas, mesa da altura dos braços

Fonte: Elaboração Própria

Quadro A13 - Quadro do FMEA para o Consistômetro Pressurizado

Tabela aplicada ao FMEA									
Sistema: Consistômetro Pressurizado									
Empresa: Laboratório de Cimentação									
Componente	Função do Componente	Modo de Falha	Efeito de falha no sistema ou componente	Ocorrência (O)	Detecção (D)	Severidade (S)	Risco NPR	Recomendações	Manutenção
Copo de pasta	Armazenar a pasta utilizada durante o experimento	Copo rachado; materiais estranhos	Alteração das propriedades da pasta devido ao mal armazenamento (densidade previsível de pasta, volume, viscosidade, resistência a compressão e tempo de espessamento)	5	4	3	60	Devem ser limpos e inspecionados minuciosamente após cada teste para garantir a operação adequada do consistômetro	Após cada teste
Mecanismo do potenciômetro	Medir o potencial elétrico no sistema	Fusível queimado; medidor não inicializado; queimado; mal-regulado	Pode acarretar na falha funcional do motor	3	8	4	96	O mecanismo do potenciômetro deve ser limpo após cada teste. Escovar com escova de náilon e sabão neutro a fim de retirar todos os sedimentos de cimento das molas e resistores. Após, enxaguar com água e colocar uma camada de óleo mineral na superfície do resistor e rolamentos a fim de evitar eventual	Mensal

								oxidação	
Acionamento Magnético	Rotacionar o copo de pasta a 150 +/- 15 rpm	Fusível queimado; material estranho; super aquecimento; calibração	O copo de pasta não será rotacionado na velocidade determinada	5	8	2	80	Deve ser lavada com água limpa ou óleo sempre que o cimento derramar no cilindro ou partículas contaminarem a unidade. A limpeza frequente do inversor é necessária quando testes de alta temperatura e alta pressão são executados. Também é necessário inspecionar o eixo magnético externo, rolamento de carbono, rolamento de bronze, anel de confiança entre outros	Mensal
Óleo	Proporcionar condições de maior pressão e temperatura para o experimento, ao invés de água, quando envolvendo o corpo de prova	Geração de resíduos devido a falta de uso que podem depositar nos componentes e alterar o funcionamento o padrão	Incerteza dos resultados obtidos devido a presença de sujeiras, pressões exageradas gerando explosão	3	5	7	105	O óleo mineral no reservatório deve ser drenado e substituído quando ficar sujo	3 meses
Prensa do cilindro . Válvula de liberação	Abrir e fechar lentamente a válvula para liberar a pressão em incrementos evitá-la ruptura do diafragma do copo de polpa	Falha de lubrificação das roscas; material estranho no anel de vedação; conexão excessivamente apertada	Não vai liberar a pressão dentro do recipiente, podendo causar explosão	6	9	9	486	Inspecionar e substituir o anel de vedação no bujão do cilindro se houver cortes, danos ou partículas incrustadas. Se nenhuma dessas condições for observada, limpar o O-ring e a ranhura do plugue para remover partículas de cimento ou outros materiais estranhos e lubrifique o O-ring com uma leve película de graxa	Após cada teste

								ou óleo.	
Válvula de óleo para cilindro	Liberação do óleo para o experimento	Falha de lubrificação das roscas; material estranho no anel de vedação; conexão excessivamente apertada	Não vai liberar o óleo para a realização do experimento	3	3	2	18	Reposição da peça conforme recomendado em manual	6 meses
Válvula operadora a ar	Gerar pressão para os cilindros	Falha de lubrificação das roscas; material estranho no anel de vedação; conexão excessivamente apertada	Não será possível gerar a pressão hidráulica para realizar o procedimento	3	3	2	18	Substituição da haste, gaxeta, dispositivo de travamento da gaxeta, colocando-as com o torque necessário para o sistema funcionar conforme prescrito em manual	6 meses
Bomba	Gerar pressão necessária para o experimento	Bloqueio de ar na cavidade do pistão da bomba; contaminantes no corpo da válvula da bomba	Não será capaz de gerar pressão no interior do recipiente, devido ao bloqueio pode causar explosão	5	7	9	315	Corpo da válvula da bomba seja desmontado, limpo e reconstruído	Anualmente
Medidor de pressão	Verificar a pressão no interior do compartimento do ensaio	Fusível queimado; medidor não inicializado; queimado; mal regulado	Incerteza dos resultados devido a uma pressão real inferior a pressão informada, ou explosão do equipamento devido a uma pressão real superior a informada	6	5	3	90	Realizar a calibração periódica	Anualmente
Motor de ignição	Gerar a velocidade de rotação no copo de pasta	Fusível queimado, disjuntor principal desarmado	Indicação da velocidade errada no leitor, gerando incerteza dos resultados obtidos	2	3	3	18	A API exige que a velocidade seja verificada e mantida em 150 rpm +- 15 rpm. O parafuso de ajuste da velocidade do motor fica localizado na parte traseira do gabinete elétrico. Para esse teste, pode-se usar um tacômetro	3 meses

Controlador de temperatura Termopares (Pasta e Óleo)	Medir a temperatura do óleo no experimento	Sensor quebrado; falta de calibração; fusível queimado	Desvio de temperatura ocasionando perda da veracidade dos resultados obtidos no ensaio, erro de leitura nos termopares indicando uma temperatura diferente da aplicada, termômetro com defeito não indicando aumento de temperatura levando a uma possível explosão devido superaquecimento.	2	8	9	144	Calibração para garantir que o desvio de temperatura e as imprecisões resultantes do tempo e do uso sejam compensados para manter seu instrumento em conformidade com as especificações API	Anualmente
Cronômetro	Medir o tempo de realização do experimento	Fusível queimado; gravador não inicializado, falta de calibração	Não emitir o alarme sonoro que indica o final do tempo estipulado para realização do ensaio	3	7	4	84	A precisão deve ser verificada de acordo com as especificações da API	6 meses
Aquecedor	Elevar a temperatura do óleo para o ensaio	Sem tensão no aquecedor/fusível queimado; interruptor com falha; circuito aquecedor aberto; aquecedor em curto com o chão; SSR com defeito; nenhum sinal para o SSR do controlador; controlador com defeito, quebra de isolamento e vazamento de tensão	Devido a falha de isolamento a temperatura do aquecedor pode não ser a indicada, apresenta risco de choque elétrico e corrosão do cilindro no ponto de arco, superaquecimento da máquina	7	8	7	392	Inspecionar e testar quanto a quebra de isolamento e vazamento de tensão. Este procedimento requer o uso de equipamento de teste especializado	Anualmente
Reservatório	Armazenar o óleo	Material estranho; rachaduras	A falha na drenagem dos óleos no reservatório levando material contaminado para a realização do ensaio	5	4	3	60	Reservatório seja removido, limpo e lavado	Anualmente

Disco de ruptura	Componente de segurança que é acionado para interromper o sistema	Falta de calibração; disco já danificado; ausência do disco	Pode ocorrer sobrepressão ou superaquecimento do equipamento, levando a explosão ou incêndios	3	10	10	300	Reposição da peça conforme recomendado em manual	Anualmente
------------------	---	---	---	---	----	----	-----	--	------------

Fonte: Os autores