



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE GEOCIÊNCIA E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

KAREN NASCIMENTO DA SILVA

**MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE EM EQUIPAMENTOS DE
INFRAESTRUTURA HOSPITALAR**

Recife

2021

KAREN NASCIMENTO DA SILVA

**MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE EM EQUIPAMENTOS DE
INFRAESTRUTURA HOSPITALAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientadora: Profa. Dra. Dayse Cavalcanti de Lemos Duarte.

Recife

2021

Catálogo na fonte:
Bibliotecária Sandra Maria Neri Santiago, CRB-4 / 1267

S586m Silva, Karen Nascimento da.
Manutenção centrada em confiabilidade em equipamentos de infraestrutura hospitalar / Karen Nascimento da Silva. - 2021.
60 f.: il., figs., quads.

Orientadora: Profa. Dra. Dayse Cavalcanti de Lemos Duarte.
TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Departamento de Engenharia Mecânica, Recife, 2021.
Inclui referências e anexos.

1. Engenharia mecânica. 2. Estratégia de manutenção. 3. Manutenção baseada em confiabilidade. 4. Síndrome do Edifício Doente. 6. Climatização. I. Duarte, Dayse Cavalcanti de Lemos (Orientadora). II. Título.

UFPE

621 CDD (22. ed.)

BCTG/2021-218

KAREN NASCIMENTO DA SILVA

**MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE EM EQUIPAMENTOS DE
INFRAESTRUTURA HOSPITALAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovada em: 27/08/21.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Dayse Cavalcanti de Lemos Duarte (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Marcus Costa de Araújo (Examinador interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Justo Emílio Alvarez Jácomo (Examinador interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico este trabalho a minha família e a Deus.

AGRADECIMENTOS

A minha mãe, Selma, por sempre estar comigo, me apoiando e acreditando que posso realizar meus sonhos.

Ao meu pai, Emanuel, que sempre foi suporte para nossa família.

A minha irmã, Emmanuela, por se mostrar prestativa e ser inspiração em tantos momentos e em especial a minha irmã, Karina, por traçarmos juntas uma caminhada, que apesar de suas dificuldades, tivemos também muitos momentos de alegria e companheirismo.

Aos meus queridos amigos que deixaram tudo mais leve.

A minha orientadora, Dayse, pelo conhecimento, paciência e por se mostrar humana.

A Deus, por permitir que chegasse até aqui, a minha família e a todos vocês, minha gratidão!

RESUMO

A climatização surge da necessidade de oferecer conforto às pessoas e condições ambientais específicas a processos e equipamentos. A qualidade do ar no interior das edificações influencia diretamente a saúde dos seus ocupantes, o que foi reconhecido pela Portaria nº 3.523 do Ministério da Saúde (BRASIL,1998). A contaminação do ar interior é um dos fatores que reduz a expectativa de vida. Em função do grau de sujeira nos equipamentos e dutos do sistema de ar condicionado poderá surgir a bactéria *Legionella pneumophila*, a qual poderá comprometer a saúde dos ocupantes da edificação. Em 1982 a Organização Mundial de Saúde reconheceu o termo *Síndrome do Edifício Doente*. Foi observado que NBR 13971 (2014) não estabelece intervalos para as atividades periódicas de manutenção do sistema de climatização, ficando esta decisão para o profissional habilitado pela manutenção do sistema. O objetivo do presente estudo é a utilização da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) para identificar as estratégias de manutenção mais adequadas ao tratamento de ar do sistema de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) hospitalar, tendo como objeto de estudo a Unidade de Medicina Nuclear do Hospital das Clínicas (HC) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Para atender aos objetivos do presente estudo, foi adotada a metodologia proposta por Moubray (1997). Baseado nos modos de falha e seus efeitos sobre as funções requeridas dos componentes do sistema de climatização, foi proposto um planejamento de manutenção preventiva e preditiva para evitar a ocorrência da falha.

Palavras-chave: estratégia de manutenção; manutenção baseada em confiabilidade; Síndrome do Edifício Doente; climatização.

ABSTRACT

Air conditioning arises from the need to offer comfort to people and specific environmental conditions for processes and equipment. The air quality inside buildings directly influences the health of their occupants, which was recognized by Ordinance No. 3523 of the Ministry of Health (BRASIL,1998). Indoor air contamination is one of the factors that reduce life expectancy. Due to the degree of dirt in the equipment and ducts of the air conditioning system, the *Legionella pneumophila* bacteria may arise, which could compromise the health of the building's occupants. In 1982 the World Health Organization recognized the term Sick Building Syndrome. It was observed that NBR 13971 (2014) does not establish intervals for the periodic maintenance activities of the HVAC system, leaving this decision to the professional qualified for the maintenance of the system. The objective of this study is the use of Reliability Centered Maintenance (RCM) to identify the most appropriate maintenance strategies for the treatment of air in the Hospital Heating, Ventilation and Air Conditioning (HVAC) system, with the object of study being the Unit of Nuclear Medicine at the Hospital das Clínicas (HC) of the Federal University of Pernambuco (UFPE). To meet the objectives of this study, the methodology proposed by Moubray (1997) was adopted. Based on the failure modes and their effects on the required functions of the HVAC system components, a preventive and predictive maintenance plan was proposed to avoid the occurrence of the failure.

Keywords: maintenance strategy; reliability based maintenance; Sick Building Syndrome; air conditioning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curva P-F.....	19
Figura 2 - Ciclo Real de Refrigeração	24
Figura 3 - Diagrama T-S.....	25
Figura 4 - Etapas para a implementação da MCC	29

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Análise funcional e de decisão	30
Quadro 2 - Intervalos das manutenções das áreas críticas e não críticas do HC	34
Quadro 3 - MCC do sistema de AVAC	45
Quadro 4 - Descrição das atividades de manutenção propostas	50

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVOS	13
1.1.1	Objetivo geral	13
1.1.2	Objetivo específico	13
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO	16
2.1.1	Manutenção corretiva	16
2.1.2	Manutenção preventiva	17
2.1.3	Manutenção preditiva	18
2.1.4	Manutenção detectiva	19
2.2	MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE	20
2.3	O SISTEMA AVAC	23
2.3.1	O ciclo real de refrigeração por compressão de vapor	24
2.3.1.1	Superaquecimento.....	27
2.3.1.2	Sub-resfriamento	28
3	METODOLOGIA	29
3.1	UNIDADE DE MEDICINA NUCLEAR DO HC-UFPE	31
4	RESULTADOS	34
4.1	APLICAÇÃO DA MCC NO SISTEMA AVAC	37
5	CONCLUSÃO	52
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	54
	REFERÊNCIAS	55
	ANEXO A – PLANO MENSAL DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE AR-CONDICIONADO SPLIT	57
	ANEXO B – PLANO TRIMESTRAL DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE AR-CONDICIONADO SPLIT	58
	ANEXO C – PLANO MENSAL DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA DO SISTEMA AVAC	59
	ANEXO D – PLANO TRIMESTRAL DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA DO SISTEMA AVAC	60

1 INTRODUÇÃO

O homem pré-histórico manuseou seus utensílios e armas conforme os instrumentos que possuíam, como pedras e metais. Ao passo que a civilização evoluía, crescia também a especialização no trabalho, o que permitiu que um novo grupo social emergisse, os artesãos. Eram eles que produziam os objetos necessários para a sociedade. Antes do surgimento das indústrias, o meio de produção mais eficiente era o manufactureiro. Porém, a produtividade nessas oficinas era baixa, devido ao processo ser totalmente manual e realizado, de início ao fim, por um somente artesão, o que configurava a não existência da divisão de trabalho. A partir do século XVIII, o acontecimento das diversas revoluções industriais deixa evidenciado a necessidade das estratégias de manutenção.

A primeira geração da manutenção iniciou-se no período antes da Segunda Guerra Mundial, quando a indústria era fracamente mecanizada, os equipamentos simples e, em muitos casos, superdimensionados. Talvez, devido à conjuntura da época, a produtividade não era prioridade, o que não cabia uma manutenção sistematizada, ou seja, a manutenção abrangia apenas serviços de limpeza, lubrificação e consertos após a quebra, i.e., a manutenção era corretiva. A NBR 5462 (1994, p. 7) define a manutenção corretiva como: "Manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane, destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida". A manutenção corretiva é caracterizada pela atuação da equipe de manutenção após a ocorrência da falha. Não há o monitoramento da velocidade de propagação da falha.

A segunda geração da manutenção abrange o período entre a Segunda Guerra até o final da década de 1970. As pressões no período pós-guerra fizeram com que houvesse uma crescente demanda por bens de serviços, além de um forte aumento da mecanização da indústria e complexidade das instalações industriais. Começava a evidenciar-se a necessidade da disponibilidade dos equipamentos, já que a indústria estava dependente do bom funcionamento das máquinas e seria preciso evitar as falhas, o que conduziu ao conceito de manutenção preventiva. A manutenção preventiva, segundo a NBR 5462 (1994, p. 7) é a "Manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item".

Na manutenção preventiva, as atividades são realizadas periodicamente, através da elaboração de um plano de manutenção, sejam por tempo de calendário, quilometragem, horas de funcionamento, ciclos de operação e outros. A equipe de manutenção efetuará as paralisações programadas sempre que o equipamento alcançar os intervalos predeterminados. Por outro lado, esta geração foi bastante contestada pelas intervenções, que em muitas vezes foram realizadas desnecessariamente, o que induziu as excessivas paradas programadas e o aumento dos custos das atividades de manutenção.

Entre 1980 e 2000, ocorreu a terceira geração da manutenção. Esse período foi caracterizado: 1) pelo constante crescimento do acoplamento e complexidade das plantas industriais; 2) aumento da demanda por padrões de qualidade do produto e serviço; e 3) uma legislação mais rigorosa com a qualidade de serviço e as questões ambientais. A manutenção passa a ser baseada na condição do equipamento, o que reforça a realização da manutenção preditiva. É durante a terceira geração da manutenção que surge também a Manutenção Centrada em Confiabilidade. Apesar das estratégias de manutenção estarem demarcadas cronologicamente, à medida que surgia uma nova estratégia, as demais não deixaram de ser executadas, pelo contrário, cada manutenção é indicada e mais custo efetiva para cada situação. Há diferentes modos de falhas para cada equipamento, o que requer ações devidamente adequadas.

A Manutenção Centrada em Confiabilidade é um método sistemático que mantém o equilíbrio entre a manutenção preditiva, preventiva e corretiva. A MCC busca manter a função do sistema, identificando modos de falha e determinando uma estratégia de manutenção eficiente e de baixo custo. O estabelecimento de uma estratégia de manutenção custo-efetiva, como propõe a MCC, é uma contribuição valiosa no sistema de climatização hospitalar, que é um ambiente com características tecnológicas diversificadas e complexas. Os hospitais e clínicas estão entre as edificações em que os espaços internos possuem diferentes usos. Os centros cirúrgicos, que são constituídos de salas de operação com corredores de interconexão, o ar deve ser asséptico, o que evita a recirculação de micróbios. Ou seja, a qualidade do ar nos ambientes de um hospital afeta as condições de trabalho, segurança e saúde dos pacientes e profissionais da saúde. Mas não apenas isso, em muitos ambientes hospitalares é necessário manter sob controle as condições termo-higrométricas para favorecimento de tratamentos específicos e

equipamentos médico-hospitalares. A ausência de uma estratégia de manutenção para o sistema de tratamento de ar do hospital agrava o risco de infecção, além de não propiciar conforto térmico dos ocupantes e condições ambientais específicas para processos e equipamentos hospitalares.

1.1 OBJETIVOS

O objeto do trabalho é apresentar a metodologia da Manutenção Centrada em Confiabilidade para um direcionamento em equipamentos de infraestrutura hospitalar. Desta forma, iniciar um estudo de caso no Hospital das Clínicas (HC) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), para que possa, através da investigação, determinar as possíveis estratégias de manutenção para cada ativo físico analisado.

1.1.1 Objetivo geral

Dentro desse contexto, o presente estudo aplicará a Manutenção Centrada em Confiabilidade em um sistema de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) dentro do ambiente hospitalar. O trabalho será realizado na Unidade de Medicina Nuclear do Hospital das Clínicas da Universidade Federal de Pernambuco.

1.1.2 Objetivo específico

- a) Determinar as funções e padrões de desempenho do sistema AVAC no contexto operacional de um hospital;
- b) Descrever a forma que o sistema AVAC falha em cumprir a sua missão;
- c) Determinar a causa de cada falha funcional;
- d) Descrever as consequências quando cada falha funcional ocorre;
- e) Descrever de que forma cada falha funcional é importante;
- f) Determinar o que pode ser feito para prevenir cada falha funcional;
- g) Determinar o que fazer quando uma atividade pró-ativa não puder ser encontrada.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está distribuído em cinco capítulos. O primeiro aborda a introdutória do trabalho, onde também relata o objeto geral e os objetivos específicos.

O segundo capítulo traz a fundamentação teórica, definindo conceitos de manutenção e suas estratégias até a definição da Manutenção Centrada em Confiabilidade. Além disso, define o sistema de Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado (AVAC) que servirá como objeto de estudo.

No capítulo três é descrito o ambiente em que é realizado o tratamento de ar através do sistema AVAC e estruturada a metodologia da MCC.

O capítulo quatro é apontado os resultados obtidos com o estudo de caso, respondendo às perguntas básicas do método e realizando um plano de atividades para o sistema AVAC.

Por fim, no capítulo 5 é concluído o estudo através de uma análise e apontado futuros trabalhos acerca do tema.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A necessidade de manutenção surgiu desde os primeiros contatos com os instrumentos de produção. Com as diversas Revoluções Industriais ao longo dos séculos, o mundo sofreu muitas transformações a respeito tecnológico e para acompanhar tal evolução na produção de bens de serviços, o homem precisou se adequar para atender os requisitos do mercado. Pode-se observar, então, algumas mudanças no gerenciamento da manutenção com o surgimento de novos requisitos de desempenho, maior variedade de ativos, maior complexidade de projeto, descobertas de novas técnicas de manutenção e uma outra perspectiva sobre a visão da organização e a responsabilidade da manutenção.

A NBR-5462 (1994, p. 6) define manutenção como a “combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”.

Xenos (1998) ressaltou que consertar equipamentos após a ocorrência da falha não pode ser entendido como manutenção, mas que manutenção é as atividades que evitam a degradação externa e funcional do ativo, podendo levar a paralisação da operação, devido ao seu desgaste natural.

Marquez (2002) define manutenção como um conjunto de medidas com a finalidade de conservar ou restaurar o estado em que possa desempenhar uma função requerida.

Para Soeiro (SOEIRO et al., 2017), manutenção é o processo que garante disponibilidade e funcionalidade dos ativos de forma a atender o que foi requerido com confiabilidade, segurança, preservação ao meio ambiente e custo adequado.

No passado, o objetivo da manutenção era de otimizar a disponibilidade da planta com o mínimo custo. Hoje, há a compreensão de que a manutenção afeta todos os aspectos do negócio, como qualidade do produto, imagem da empresa, entre outros, e não somente a disponibilidade da planta. Além disso, o objetivo da manutenção era de preservar os ativos físicos, hoje é preservar as funções dos ativos, como enfatizado pela NBR 5462 (1994).

O entendimento era que a probabilidade de falha do equipamento era função da idade do mesmo, porém a confiabilidade mostrou que a taxa de falha não se relaciona com a idade do equipamento. Se o objetivo de uma manutenção pró-ativa

é prevenir a ocorrência da falha, a Manutenção Centrada em Confiabilidade é minimizar, evitar ou eliminar as consequências da falha. Para a MCC, programas genéricos de manutenção não devem ser elaborados para a maior parte dos ativos. Ou melhor, só devem ser aplicados programas genéricos de manutenção em equipamentos com um mesmo contexto operacional, funções e padrões de desempenho.

2.1 ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO

A estratégia de manutenção é um conjunto diverso de filosofias da manutenção destinadas a alcançar a confiabilidade exigida do ativo (GT A2.05, 2013).

Segundo Viana (2002) existem alguns fatores que precisam ser pontuados antes de traçar uma estratégia de manutenção para os ativos, tais são:

- a) Recomendação do fabricante;
- b) Segurança do trabalho e do meio ambiente;
- c) Característica do equipamento;
- d) Fator econômico.

Traçar uma boa estratégia é priorizar que não basta apenas reparar o ativo, mas manter a sua função disponível para operação (KARDEC; NASCIF, 2009). As estratégias de manutenção também precisam ser detalhadas antes do ativo entrar em operação. Muitas vezes essas estratégias são determinadas apenas quando as falhas ocorrem (RAUSAND; HSYLAND, 2004). Moubrey (1997) classificou as estratégias de manutenção como: Manutenção Corretiva (MC), Manutenção Preventiva (MP), Manutenção Preditiva (MPd) e a Manutenção Detectiva.

2.1.1 Manutenção corretiva

A Manutenção corretiva é a atuação em um ativo após a ocorrência de uma falha ou no baixo desempenho de sua função, sendo em sua maioria uma manutenção de emergência. Seu foco está em substituir ou restaurar a funcionalidade. Deve-se levar em consideração que adotar uma manutenção corretiva traz menos custos do que uma manutenção preventiva, porém é preciso

analisar os custos que as paradas da produção podem ocasionar. Ademais, a manutenção corretiva gera maior insegurança devido aos riscos prováveis, indisponibilidade do ativo que afeta a produção do hospital, menor vida útil dos equipamentos e aumento nas horas de trabalho para o setor de manutenção. Kardec e Nascif (2009) classificaram a MC em manutenção corretiva planejada e manutenção corretiva não planejada.

A manutenção corretiva não planejada, conhecida também como Manutenção Emergencial, é realizada após o ativo ou sistema ter apresentado uma falha ou por não atender aos padrões mínimos de desempenho devido a nenhuma medida de prevenção. É uma estratégia baseada em consertar após a quebra e que segundo Kardec e Nascif (2009) ainda é uma estratégia muito utilizada. Empregar uma ação corretiva não planejada pode trazer danos à produção, menor qualidade dos produtos, maiores custos de manutenção, extensão dos danos ao equipamento e ocorrência de riscos aos operantes e ao meio ambiente. Não há controle sobre a manutenção, sendo as paralisações determinadas pelos equipamentos (CARSTENS, 2007).

A manutenção corretiva planejada é realizada de forma programada para reparar ativos após a ocorrência de falhas ou o baixo desempenho das suas funções. A MC planejada deve ser utilizada em áreas menos críticas, onde possam ser realizados reparos ou até mesmo a reposição ou não do equipamento, sem que haja interferência na continuidade e segurança do processo. Mesmo que a empresa tome a decisão de realizar a manutenção após a falha, por já ser algo esperado, a mesma pode realizar algum planejamento até a ocorrência, como um acompanhamento preditivo ou detectivo. Porém, para Xenos (1998), mesmo sendo esperada a ocorrência de falhas, não se pode admitir que se torne natural. É necessário que se identifique as causas a fim de evitar a reincidência.

2.1.2 Manutenção preventiva

Diferente da ação corretiva, a manutenção preventiva previne a ocorrência de falhas ou o baixo desempenho das funções do ativo ou sistema, por meio de inspeção, reparo e substituição de peças. Feita periodicamente, sendo necessário a elaboração de um plano de preventiva, reduz a realização de improvisações, logo é esperado mais qualidade ao serviço. A princípio, para se obedecer aos intervalos

predeterminados da MP, é preciso realizar o cadastramento dos equipamentos da organização, atribuindo informações referentes à identificação, localização, tempo e função de operação. Assim define-se sua priorização para obter eficiência e otimização dos seus recursos (LUCATELLI, 2002).

Comparada à corretiva, o custo da manutenção preventiva torna-se mais oneroso, pois há reparos frequentes de peças e componentes. Porém, com menos falhas e mais disponibilidades dos equipamentos, há um menor número de paradas não programadas da produção, o que é imprescindível a sistemas complexos que precisam manter suas atividades ininterruptas. É possível conciliar a MP e os períodos de paradas dos equipamentos críticos sem afetar sua disponibilidade, reduzindo as ocorrências de falhas e panes e assim oferecendo controle sobre o funcionamento dos equipamentos e sistemas. Em estabelecimentos de unidade de saúde, quando aplicada de forma correta e organizada, resulta no declínio do uso da manutenção corretiva (ALATRISTA; BAMBARÉN, 2011).

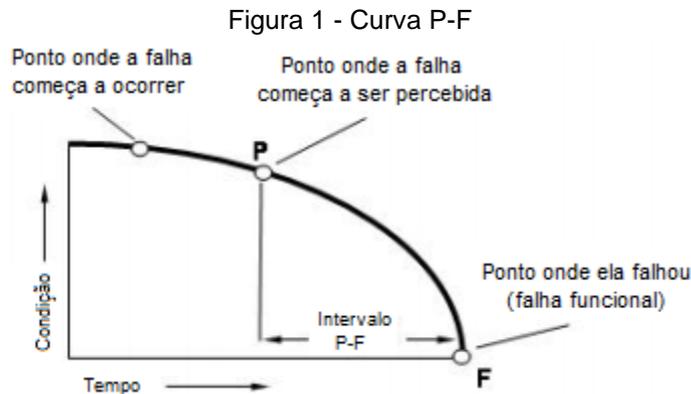
Uma ação preventiva é tão importante quanto a valorização dos custos das falhas, a segurança operacional e dos operadores, o risco ao meio ambiente, além das consequências à produção. Segundo Kardec e Nascif (2009) essa sempre será uma medida questionável devido a frequência de paradas para manutenções programadas.

2.1.3 Manutenção preditiva

Conhecida também como manutenção sob condição e manutenção com base na condição do equipamento, é a ação baseada em diferentes parâmetros de desempenho, onde segue uma sistemática. A manutenção preditiva prediz as condições do equipamento, ainda em operação, através de inspeções periódicas e estabelece o tempo máximo de uso até que seja necessário a realização de uma ação corretiva planejada.

A maioria das falhas não ocorrem de forma instantânea, podendo então ser detectadas. O intervalo P-F, indicado pela Figura 1, mostra a falha potencial (ponto em que a falha está prestes a acontecer) e a ocorrência da falha funcional (ponto onde falhou). Se uma falha for detectada nesse intervalo, é possível aplicar ações corretivas. Mas se o intervalo P-F for pequeno suficientemente para não dar tempo

de um planejamento de ações preditivas, o mais viável será adotar uma nova estratégia de manutenção.



Fonte: Lucatelli (2002)

Portanto, é necessário incluir uma MPd nos planos de MP, ressaltando a importância de estabelecer conhecimento teórico e treinamento especializado para analisar resultados e determinar diagnóstico das inspeções. Um planejamento eficaz traz maior segurança operacional e dos operadores, redução de custos devido ao menor número de paradas inesperadas e de manutenção, eficiência e disponibilidade dos equipamentos operacionais. Os aspectos que devem ser analisados antes de aderir uma manutenção preditiva são:

- a) Se o equipamento ou sistema admite inspeção;
- b) A prioridade que o equipamento ou sistema possuem;
- c) Acompanhamento das causas das falhas e sua progressão.

2.1.4 Manutenção detectiva

É realizada de forma a detectar falhas ocultas ou não perceptíveis em sistemas de proteção, comando e controle. A identificação de falhas ocultas é fundamental para manter a confiabilidade do sistema. Os equipamentos de segurança também são suscetíveis a falhas, e deixando de cumprir seus papéis podem gerar falhas múltiplas quando ativos que têm suas funções protegidas estão em estado de falha também. As consequências dessas falhas podem trazer danos pequenos, maiores ou até catastróficos aos ativos, a produção e a segurança física e do meio ambiente.

Para Moubray (1997), o principal desafio enfrentado por uma gestão é decidir qual estratégia de manutenção é a mais adequada para cada ativo da organização. Uma decisão errada cria novos problemas, intensificando a existência dos antigos. Diante disso é indispensável implementar uma metodologia que auxilie a identificação de tarefas no gerenciamento da manutenção.

As estratégias de manutenção podem ser uma combinação de diferentes filosofias de manutenção com o objetivo de alcançar a confiabilidade do sistema, podendo incluir diferentes filosofias de manutenção para diferentes equipamentos (ou seja, ativos). A confiabilidade dos ativos é urgente e imprescindível diante da complexidade e acoplamento dos sistemas. Por que? A partir da década de 70, com o crescimento da automação e da mecanização, a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos tornaram-se imprescindíveis para setores tão diversos quanto o da saúde, telecomunicações, energia, entre outros. Maior acoplamento entre os sistemas significa que as falhas afetam os padrões de qualidade estabelecidos de serviços e produtos. Observamos na mídia, diariamente, as consequências das falhas na segurança e no meio ambiente. A terceira geração da manutenção fortaleceu os conceitos da manutenção preditiva. E, sobretudo, a comunicação entre as etapas de implementação de um sistema (projeto, fabricação, instalação e manutenção) e a confiabilidade. Mas para que a confiabilidade seja implementada é necessário a introdução de um novo conceito, o da Manutenção Centrada em Confiabilidade.

2.2 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

Com a insatisfação dos custos de manutenção no setor da aviação civil nos Estados Unidos, um forte interesse cresceu para que fosse revista todo o conceito de manutenção preventiva. Muitas das falhas das aeronaves não podiam ser evitadas, então foi identificado que não se podia evitar as falhas, mas era possível evitar as falhas que afetassem a segurança, através da redundância. A manutenção programada e confiabilidade ainda eram questionadas, já que a crença de que a confiabilidade dos sistemas está relacionada a sua idade operacional já havia sido desfeita. As estratégias de manutenção baseadas no tempo, além de serem custosas, se mostraram ineficientes no controle das taxas de falhas (NOWLAN; HEAPA, 1978).

Diante disso, no fim da década de 1960, foi então elaborado um documento detalhado, pela *United Airlines*, com as práticas das companhias aéreas para desenvolver um programa de manutenção preventiva, a *Maintenance Steering* (MSG) (RAUSAND; HSYLAND, 2004). A MSG visava desenvolver um programa de manutenção que atendesse a máxima segurança e confiabilidade do qual o equipamento era capaz à um custo adequado (NOWLAN; HEAPA, 1978). Houveram muitos aprimoramentos durante os anos, chegando a sua última e atual versão na indústria aeronáutica, a MSG-3. A MSG-03 introduziu os conceitos que hoje é conhecida amplamente como Manutenção Centrada em Confiabilidade (ou em inglês *Reliability-Centric Maintenance* — RCM) (MOUBRAY, 1997).

A MCC, que antes originada no setor de aviação industrial, teve uma ampla aplicação em outras áreas como militar, na indústria de energia nuclear, na indústria offshore de petróleo e gás. A MCC tem contribuído de forma satisfatória, trazendo reduções nos custos com manutenção preventiva e mantendo ou até mesmo superando a disponibilidade dos ativos (RAUSAND; HSYLAND, 2004).

“O termo Manutenção Centrada em Confiabilidade se refere ao programa de manutenção programada projetado para realizar as capacidades de confiabilidade inerentes do equipamento” (NOWLAN; HEAPA, 1978, p. 2).

Para Bloom (2006), MCC é uma maneira lógica para verificar quais ativos precisam permanecer em uma base de manutenção preventiva ao invés de deixar falhar para consertar.

A MCC é um método utilizado para o desenvolvimento de um programa de manutenção onde já se supõe que a confiabilidade inerente do ativo é o encargo do projeto e da qualidade de construção, a MCC garantirá que o ativo continue a ser confiável (RAUSAND; HSYLAND, 2004).

De acordo com Moubray (1997), a MCC é um processo utilizado para determinar o que será feito para garantir que um ativo físico cumpra o que seus usuários esperam que ele faça, diante do contexto operacional.

Para Kardec e Nascif (2009), a Manutenção Centrada em Confiabilidade é uma metodologia de estudo detalhado em um ativo que analisa como pode falhar e fornece o que pode ser feito na manutenção para que haja a prevenção da falha ou minimize as perdas proveniente das falhas.

Para Smith e Hinchliffe (2003), o que motivou o surgimento do MCC foi a necessidade de encontrar uma estratégia de manutenção preventiva que pudesse

tratar de forma adequada a disponibilidade e segurança do sistema aliado a um custo viável.

A MCC abrange aspectos de análise sistemática das funções do sistema e seus modos de falha, criando um critério de priorização de acordo com aspectos econômicos, operacionais e de segurança (FLEMING, P.V.; SILVA, M.F.; FRANÇA, S.R.R.O, 1999). Onde segundo Moubray (1997) nenhuma outra metodologia identifica tarefas de forma verdadeira e segura para manter as funções dos ativos físicos, principalmente em situações de criticidade.

Apesar de ter um custo inicial significativo com treinamentos e equipamentos e por muitas vezes não ser vista com um alto potencial de economia pela gestão de manutenção, a prática da MCC garante um aperfeiçoamento do desempenho operacional já que é uma metodologia que inclui todos os tipos de manutenção, fornecendo um programa de manutenção mais eficaz e consequentemente aumentando a vida útil dos equipamentos. Isso reduz o número de intervenções não-programadas no sistema e também as intervenções desnecessárias, oferecendo maior custo-benefício. Além disso, o impacto das falhas na segurança e no meio ambiente é colocado como prioridade na análise da MCC, sendo as operacionais analisadas posteriormente, ou seja, encara que os efeitos das falhas não são igualmente danosos. A MCC deve ser aplicada a sistemas mais importantes prioritariamente. Também, é importante salientar que a participação efetiva e o envolvimento da equipe de MCC na análise e solução dos problemas provocam uma maior motivação pessoal, o que aumenta também o comprometimento e o compartilhamento dos problemas de manutenção. Essas reuniões são apontadas por alguns críticos como um custo gerado pelo tempo gasto, mas que atrelado a isso possibilita também uma análise documental que serve de base para as decisões, proporcionando um amplo banco de dados para uso da Manutenção, Operação e Inspeção. De modo geral, a prática da MCC garante disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos, o que atende as necessidades encontradas no sistema de tratamento de ar hospitalar que é caracterizado pela criticidade própria do ambiente. Mas para que isso ocorra, no seu processo é indispensável a elaboração de uma análise para cada um dos sete itens seguintes:

- a) Quais funções e padrões de desempenho do ativo físico no contexto operacional?
- b) De que forma ocorre a falha ao realizar suas funções?

- c) O que causa cada falha funcional?
- d) Quais as consequências das falhas funcionais?
- e) Qual a importância de cada falha funcional?
- f) O que poderia ser feito para prevenir cada falha?
- g) O que fazer caso não se encontre uma medida proativa adequada?

2.3 O SISTEMA AVAC

Aquecimento, Ventilação e Ar-condicionado (AVAC) é a tecnologia que cria condições propícias de conforto ambiental e tratamento de ar interno em ambientes fechados. Um ar exterior contaminado, um sistema AVAC ineficiente em remover contaminantes de ar e as atividades realizadas no ambiente impactam na qualidade do ar interior. As funções do sistema de AVAC, onde são associadas aos sistemas de tratamento de ar, podem ser assim descritas:

- a) Aquecimento: É responsável por aquecer o ar do ambiente quando as condições climáticas estão mais baixas. O estudo apresentado não realiza aquecimento para conforto térmico, mas para controle das condições de umidade relativa do ar;
- b) Ventilação: É responsável por renovar o ar viciado do ambiente que acumula contaminantes nocivos à saúde, tais como odores, particulados, bactérias, fungos e vírus. Ambientes fechados com agrupamento de pessoas têm uma alta concentração de CO₂, sendo esse também indicador de renovação de ar externo para conforto e bem-estar. O processo é utilizado para captar esses agentes, antes de sua dispersão no ambiente. É classificado como ventilação natural e ventilação mecânica. Na ventilação natural, a ação dos ventos e o diferencial de temperatura entre o ambiente externo e interno permitem a passagem de ar externo para o interior do ambiente por meio de aberturas. O ar quente interno e menos denso sobe e sai pela área superior da abertura, enquanto o ar frio externo entra no ambiente interno pela área inferior. Já a ventilação forçada utiliza de meios mecânicos (ventiladores e exaustores) para retirar o ar viciado. No estudo apresentado, a ventilação ocorre por exaustores, onde um ventilador succiona o ar e realiza a exaustão diretamente para o meio

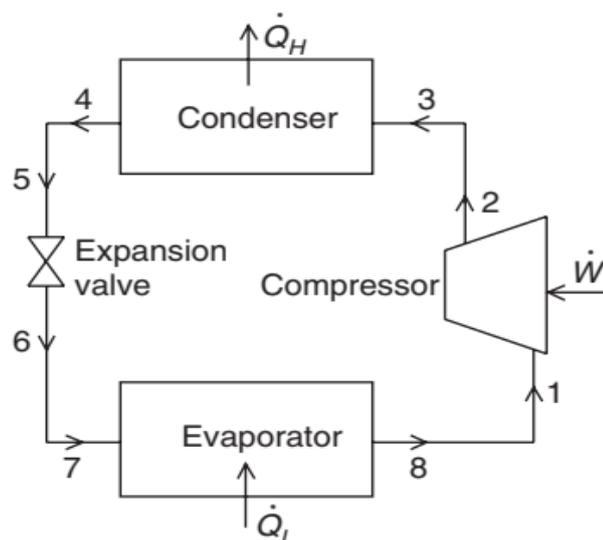
externo. Há uma pressão negativa, e o diferencial de pressão permite que ar recirculante preencha o vazio, garantindo que contaminantes não se dispersam por outros ambientes;

- c) Ar - Condicionado: O condicionado de ar significa controlar temperatura, umidade relativa, a movimentação, renovação e qualidade do ar ambiente. O sistema de ar condicionado proporciona conforto térmico no ambiente, podendo também garantir condições ambientais específicas a processos e equipamentos, através do sistema de refrigeração.

2.3.1 O ciclo real de refrigeração por compressão de vapor

Os ciclos de refrigeração por compressão de vapor são os mais utilizados para os sistemas de refrigeração. Seu funcionamento se baseia na evaporação á baixas temperaturas do fluido refrigerante, retirando o calor do ambiente. Diferente do ciclo ideal, no ciclo real de refrigeração, conforme ilustrado na Figura 2, são consideradas as perdas irreversíveis devido ao atrito do fluido nas tubulações frigoríficas, no condensador e no evaporador, além das transferências de calor, o que justifica o aparecimento dos efeitos de superaquecimento e sub-resfriamento. Quanto mais o ciclo de refrigeração for irreversível maior é o trabalho para operar e atender a demanda da capacidade de refrigeração requerida.

Figura 2 - Ciclo Real de Refrigeração

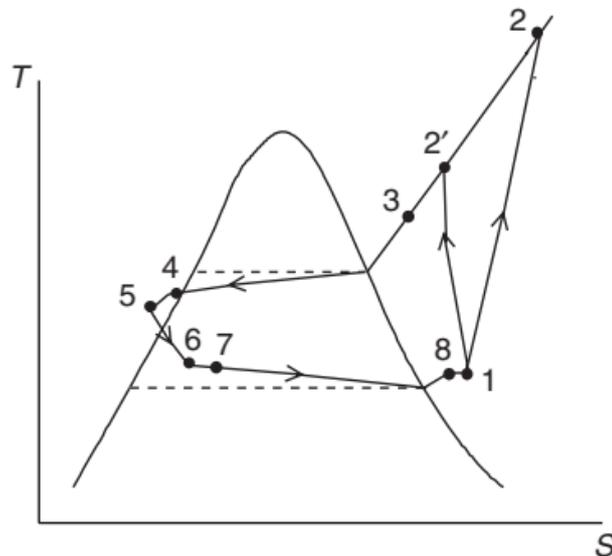


Fonte: Dinçer; Kanoglu (2010)

O sistema de refrigeração é composto por quatro componentes principais: compressor, condensador, válvula de expansão e evaporador.

O compressor (1-2) é o componente responsável por manter o fluxo de refrigerante por todo sistema de refrigeração. O refrigerante que no ciclo ideal está sob a forma de vapor saturado, no real está sob a forma de vapor superaquecido à baixa pressão e temperatura. Isso ocorre devido ao superaquecimento do fluido, o que garante que o vapor esteja totalmente vaporizado, evitando possíveis quebras do equipamento. No processo, o vapor é comprimido em um pequeno volume até que se torne superaquecido de alta pressão e temperatura. O trabalho do eixo de compressão é utilizado para aumentar a pressão do vapor refrigerante e adicionar calor. Com o aumento da pressão, também ocorre o aumento da temperatura de condensação do refrigerante. No final do processo, o vapor sai com sua temperatura de saturação mais alta que a temperatura do meio. Durante a compressão, por causa das irreversibilidades e transferência de calor com o ambiente, a depender das temperaturas do refrigerante e do ambiente, a entropia pode aumentar (1-2') ou diminuir (1-2), como mostra a Figura 2.

Figura 3 - Diagrama T-S



Fonte: Dinçer; Kanoglu (2010)

O condensador (3-4) é um trocador de calor que rejeita calor para o meio externo. O refrigerante, que está sob a forma de vapor superaquecido à alta pressão, tanto no ciclo ideal como no real, e que teve seu ponto de condensação elevado devido a criação da alta pressão no compressor, circula entre as

serpentina. O ar externo em contato com a serpentina troca calor com o refrigerante com a ajuda de aletas. O refrigerante condensa, deixando o condensador sub-resfriado à alta pressão, porém com uma pressão inferior à pressão de entrada, mas com temperatura de saturação superior à temperatura do meio externo. A queda de pressão no condensador, devido ao atrito, diminui o sub-resfriamento. Durante a troca, o ar quente é expulso para o meio externo através de ventiladores. O fluido é sub-resfriado. Esse processo de sub-resfriamento representa um ganho já que o refrigerante chega no evaporador com uma entalpia mais baixa, permitindo receber mais calor e aumentando o efeito de refrigeração.

A válvula de expansão (5-6) é um dispositivo que tem a função de reduzir a pressão do líquido na entrada do evaporador e que controla o fluxo do refrigerante de acordo com a demanda de carga térmica. Esse monitoramento garante que o líquido seja todo evaporado antes de ir para linha de sucção e danifique o compressor. O refrigerante, que no ciclo ideal está sob a forma de líquido saturado, no real está como líquido sub-resfriado à alta pressão e temperatura. Ao atravessar a válvula de expansão reduz sua pressão e expande-se. Sua temperatura de ebulição torna-se menor que a temperatura externa, onde parte do refrigerante transforma-se em gás e a outra se mantém na forma líquida.

O evaporador (7-8), assim como o condensador, também é um trocador de calor, porém que absorve calor do ambiente. O fluido refrigerante que está sob a forma de líquido-vapor à baixa pressão e temperatura, circula entre as serpentinas. O ar do ambiente no interior da câmara frigorífica entra em contato com a serpentina. É quando ocorre a transferência de calor com a ajuda de aletas. O refrigerante recebe calor, vaporizando. O vapor d'água, presente no ar, ao atingir o ponto de orvalho condensa na serpentina, formando pequenas gotas de água e deixando o ar mais seco. O refrigerante deixa o evaporador na forma de vapor superaquecido. Nesse processo, ocorre também queda de pressão do refrigerante através do evaporador, devido ao atrito, o que superaquece o vapor.

Esses componentes são ligados através de linhas, assim classificadas: linha de sucção, linha de descarga, linha de líquido e a linha que liga a válvula de expansão e o evaporador.

A linha de sucção (8-1) é a tubulação frigorífica que liga o evaporador ao compressor. A queda de pressão na tubulação, causada pelo atrito da tubulação que geralmente é longa, e a transferência de calor para o refrigerante durante o trajeto

aumentam o superaquecimento do vapor, o que afeta o desempenho do compressor. Ao reduzir a pressão, o volume específico do refrigerante aumenta, o que faz aumentar o trabalho do compressor, tornando sua capacidade menor. A transferência de calor na tubulação pode ser resolvida com o uso de isolamento térmico.

A linha de descarga (2-3) é a tubulação frigorífica responsável por levar o vapor quente à alta pressão do compressor até a condensadora. Apesar de ocorrer a queda de pressão na linha, que na maioria das vezes também é longa, a temperatura do vapor na tubulação é maior do que a do meio, logo o refrigerante transfere calor, diminuindo o seu superaquecimento.

A linha de líquido (4-5) é a tubulação que conecta o condensador à válvula de expansão. Nesta linha o refrigerante está sob a forma de líquido sub-resfriado à alta pressão. Sua temperatura na saída do condensador ainda está alta devido à alta pressão, o fluido então resfria ainda mais. Mas se o fluxo de calor for invertido, o refrigerante tem um baixo sub-resfriamento, reduzindo a capacidade da válvula de expansão e diminuindo o efeito de refrigeração.

Na linha que liga a válvula de expansão e o evaporador (6-7) os efeitos são mínimos já que há proximidade entre os componentes, estando dentro do espaço refrigerado.

O superaquecimento que ocorre na saída do evaporador e o sub-resfriamento que ocorre na saída do condensador, são processos requeridos em sistemas de refrigeração de compressão de vapor para maior eficiência do sistema. Porém excessos ou escassez implicam em consequências indesejáveis.

2.3.1.1 Superaquecimento

O superaquecimento consiste na diferença de temperatura de entrada no compressor e a de saturação do vapor no evaporador. A evaporação total do refrigerante acontece no meio do evaporador, ao passo que o vapor frio percorre o trajeto, calor adicional é absorvido para o superaquecimento. A queda de pressão que ocorre no evaporador favorece ainda mais para o aumento do superaquecimento. Se o superaquecimento ocorre no evaporador, maior é a entalpia do refrigerante, o que aumenta o poder de absorção de calor e o efeito de refrigeração do evaporador. Mas se ocorre na tubulação de sucção então nenhum

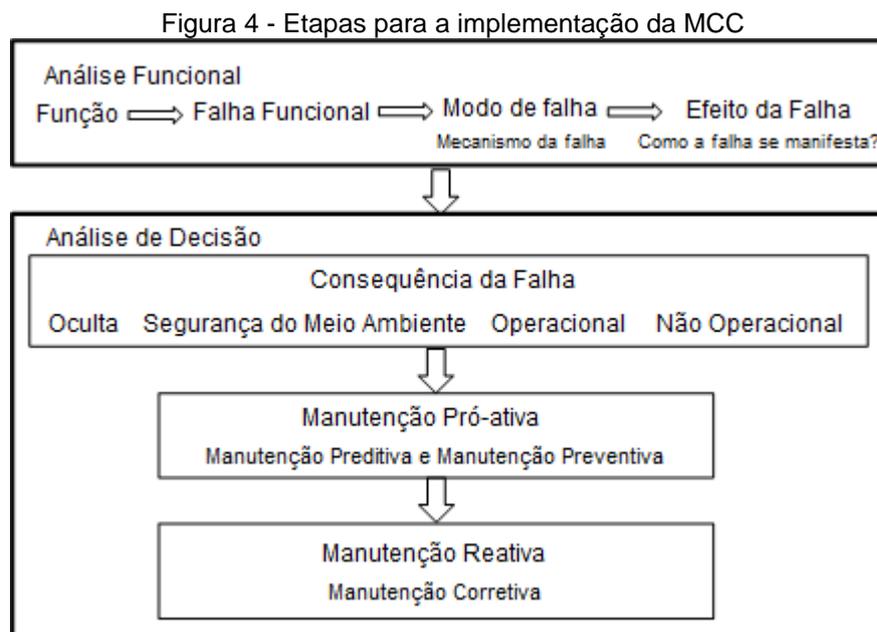
resfriamento útil acontece. Um superaquecimento muito baixo ou muito alto pode trazer danos ao compressor e a todo desempenho do ciclo, causando retorno de líquido para o equipamento ou provocando aquecimento excessivo.

2.3.1.2 Sub-resfriamento

O sub-resfriamento é a diferença entre a temperatura de entrada na válvula de expansão e a de saturação no condensador. Para compensar as perdas no condensador e na linha de líquido é mais apropriado sub-resfriar o fluido, evitando assim a formação de bolhas de vapor na linha de líquido que impedem o fluxo de refrigerante através da válvula de expansão. O sub-resfriamento aumenta o efeito de refrigeração, porém um sub-resfriamento muito baixo ou muito alto pode trazer problemas para os equipamentos e para o desempenho do ciclo. No baixo sub-resfriamento, ocorre a expansão do gás e a formação de bolhas na linha de líquido. Esse surgimento de gás diminui a capacidade da válvula de expansão, que por sua vez devolve uma carga líquida fria pequena de refrigerante para o evaporador. Tem-se então um ambiente resfriado à temperatura alta e o refrigerante do ciclo com um superaquecimento alto na linha de sucção. Para um sub-resfriamento alto, mais líquido chega no evaporador, sendo necessário uma maior quantidade de calor para ocorrer a evaporação do refrigerante. Tem-se então um ambiente condicionado a uma temperatura muito baixa e um superaquecimento muito baixo.

3 METODOLOGIA

Para atender aos objetivos do presente estudo, foi adotada a metodologia proposta por Moubray (1997), conforme a Figura 4. O estudo se concentrou no sistema de AVAC na Unidade de Medicina Nuclear do Hospital das Clínicas da UFPE.



Fonte: Adaptado de Moubray (1997)

O processo de implementação da MCC inicia-se com uma análise funcional do ativo, onde engloba a determinação das funções, as falhas funcionais, a análise dos modos (causas) de falha e seus efeitos (consequências) e uma análise de decisão, onde designa as consequências das falhas, bem como as tarefas pró-ativas e reativas. São as consequências das falhas que apontam os níveis de importância de cada falha. As falhas ocultas, associadas a dispositivos e sistemas de proteção, causam diversas falhas, afetando toda a planta e os seus operantes/ocupantes. As falhas de segurança e meio ambiente podem comprometer a saúde das pessoas, levando a morte, além de infringir padrões ambientais. As falhas operacionais afetam a qualidade do serviço e os custos de operação e reparo, e as falhas não operacionais não interferem na segurança, no meio ambiente e nem na produção, sendo apenas falhas que afetam o custo direto de reparo. As tarefas pró-ativas estão associadas a atividades realizadas antes da falha ocorrer, a intenção é evitar

que o equipamento entre no estado de falha. A manutenção preventiva e preditiva são estratégias pró-ativas. A manutenção reativa assume que o equipamento já se encontra no estado de falha. Talvez porque não foi possível identificar a falha, ou talvez porque a manutenção pró-ativa não foi eficiente.

O sucesso de implementação da MCC depende da responsabilidade em responder aos sete questionamento básicos:

- a) Quais são as funções e padrões de desempenho do sistema AVAC no contexto operacional da Unidade de Medicina Nuclear do Hospital das Clínicas?
- b) De que forma o sistema AVAC falha em cumprir a sua missão?
- c) Qual a causa de cada falha funcional?
- d) O que acontece quando cada falha funcional ocorre?
- e) De que forma cada falha funcional é importante?
- f) O que pode ser feito para prevenir cada falha?
- g) E se uma atividade pró-ativa não puder ser encontrada, o que fazer?

Estes questionamentos devem ser respondidos por uma equipe. É recomendado que a equipe seja composta por um número suficiente de técnicos, que possam fornecer os conhecimentos que englobam todas as necessidades do estudo, geralmente a equipe deve ter de 4 a 7 pessoas. Porém, devido a pandemia da COVID-19 que ora enfrentamos, e a conseqüente suspensão das atividades presenciais, os questionamentos foram por mim respondidos, e posteriormente revisados pelo supervisor do meu estágio, realizado no Hospital das Clínicas, no período de 2020.2. O Quadro 1 documenta as respostas aos questionamentos básicos, os quais abrangeram os componentes de tratamento de ar do sistema de AVAC na Unidade de Medicina Nuclear do Hospital das Clínicas da UFPE.

Quadro 1 - Análise funcional e de decisão

Descrição da função	Falha da função	Modo de falha	Efeitos dos modos de falha	Tarefa pró-ativa	Tarefa reativa
Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5	Coluna 6

Fonte: A autora (2021)

O equipamento é projetado porque alguém deseja alguma coisa, ou seja, há uma finalidade. Quando realizamos a manutenção é esperado que desejamos preservar a sua função, que o equipamento continue funcionando conforme o desejo do usuário. Em outras palavras, o usuário espera que o equipamento desempenhe a sua função com um desempenho aceitável, logo a definição de função inclui não apenas o que o usuário deseja, mas também o desempenho desejado. Função é aquilo que se deseja que o item ou equipamento faça, dentro de padrão especificado. A coluna 1, Descrição da função, descreve a função do item analisado.

A coluna 2, Falha da função, responde ao seguinte questionamento: como verifico se a função está sendo desempenhada? Ou seja, informa como a função do item descrita na coluna 1 (Descrição da função) não é desempenhada.

A coluna Modo de falha (coluna 3) informa a causa da falha da função. Em um ambiente hospitalar descrições genéricas utilizadas para a identificação da falha, tais como: falhou, quebrou ou não funciona, não fornecem indicação da causa da falha.

A coluna 4, Efeitos dos modos de falha, informa o que acontece se a falha ocorrer. Ou melhor, responde ao questionamento: Qual a consequência para o equipamento, no caso do item em não desempenhar a função a ele atribuída? No presente estudo foi dado ênfase ao impacto no equipamento, o que reflete em uma maior probabilidade do risco de infecção e também no funcionamento dos equipamentos médico-hospitalares. É nessa coluna que também é informado a importância de cada falha.

As colunas 5 e 6 respondem aos questionamentos 4 e 5, respectivamente. A resposta aos questionamentos 5 e 6 conclui a análise de decisão proposta por Moubrey (1997).

3.1 UNIDADE DE MEDICINA NUCLEAR DO HC-UFPE

A Medicina Nuclear é uma especialidade médica que através do uso de pequenas fontes radioativas fornece diagnóstico por imagem e tratamento terapêutico na fisiologia dos órgãos e sistemas.

A unidade, localizada no 4º pavimento do HC-UFPE, reúne box 1, box 2, casa de máquinas, circulação, coordenação, copa, sala de pacientes injetados, Laboratório de Manipulação, Laudos, Sala de Recepção nuclear, Sala de

Administração de Radiofármacos, Sala de Comando, Sala de Exames Estresses Cardiográfico, Sala de Exame Gama, Sala de Utilidades, Supervisão, Hall de acesso sul e Sala de Entrevistas, num total de aproximadamente de 231,41 m² de climatização e ventilação. Sendo necessário uma carga térmica de 20 TR (20% de ar externo) e dois sistemas de exaustão mecânica.

O sistema de AVAC, apenas Ventilação e Ar condicionado, é realizado através de equipamentos do tipo *splitão* de ar, onde possui apenas um circuito frigorífico, devido a redundância (1 operacional + 1 *stand by*) e duas unidades de serpentinas para expansão direta instalados na casa de máquina. Já as unidades condensadoras foram instaladas na casa de máquina do 1º pavimento.

A temperatura de *setpoint* dos *splitão* será igual a 22° C e a umidade relativa do ar 50% para atender as especificações do equipamento médico hospitalar instalado na Sala de Exames Gama Câmara. O equipamento de gama-câmara fornece imagens através da captura da radiação introduzida no paciente, sendo esse o procedimento para o exame de cintilografia.

Os termostatos dos *splitão* serão instalados no duto de retorno, o mais próximo possível do interior da casa de máquinas. Para controle da temperatura em lugares específicos, cada ambiente, de forma individual, regula a sua vazão de ar insuflado através de termostato. Estes ajustam o insuflamento através de caixa de volume variável instaladas nos dutos secundários, localizados no entre forro. Um umidostato, sensor de umidade, também é instalado no duto de insuflamento para garantir umidade relativa acima de 50%. O dispositivo eletrônico controla o banco de resistência de aquecimento localizado no final da caixa *plenum*, onde ficam armazenados ar de insuflamento após a passagem pela serpentina de resfriamento. Se o sistema de refrigeração alcançar a temperatura desejada de 22° C, mas não atingir a umidade relativa do ar desejada de 50%, o banco de resistência é acionado para aquece o ar da caixa *plenum*, forçando o compressor a se manter ligado para que possa condensar mais o vapor d'água na unidade evaporadora e diminuir a umidade relativa. O vapor d'água no ar, por estar superaquecido, ao entrar em contato com uma superfície fria como da serpentina de resfriamento atinge seu ponto de orvalho e condensa.

Nos banheiros há a instalação de exaustores para controle da umidade do ar e odores do ambiente. O outro sistema de exaustão realiza a renovação de ar da copa, depósito de materiais de limpeza, sala de utilidades, administração e

radiofármaco. No laboratório de manipulação, uma capela é instalada para descarte dos fumos.

À medida que o ar é removido, ar externo também é transferido para o ambiente interno devido o balanço de ar. Para isso é necessário realizar um tratamento de ar que consiste em filtração, desumidificação e resfriamento.

A refrigeração do ambiente funciona através do acionamento do compressor. É ele quem bombeia o refrigerante pelo sistema, aumentando a sua pressão. Enquanto o sistema não atinge a temperatura de *setpoint*, o compressor se manterá trabalhando em sua capacidade máxima durante o período até que se atinja a temperatura, e então será desligado através do comando do termostato, sensor que faz a leitura do ambiente. Quando, naturalmente, houver o aumento da temperatura do ambiente, o compressor será novamente acionado através do termostato. Sendo os compressores controlados apenas pela temperatura de *setpoint*, a evaporação na serpentina é insuficiente para evaporar todo o vapor d'água provindo em sua maioria da umidade do ar de renovação. A desumidificação tem seu papel importante em remover a umidade provinda do ar de renovação e o ar de retorno, sendo as cargas menores internas de vapor d'água removidas por sistemas de exaustão.

4 RESULTADOS

A tecnologia médica teve nos últimos anos considerável evolução. A confiabilidade dos equipamentos, em muitos casos resultou em uma diminuição do número de intervenções. Se houve uma redução do número de intervenções, houve um aumento no número de equipamentos e de normas de segurança, como resultado há uma necessidade constante para a prevenção da falha e suas consequências, aliada a uma redução dos custos de manutenção. Dentro deste contexto a Manutenção Centrada em Confiabilidade atende as necessidades identificadas no Hospital das Clínicas.

Ao realizar uma análise nos planos de manutenção, operação e controle do Hospital das Clínicas, verificou-se que o sistema de tratamento de ar em áreas críticas, ou seja, o sistema AVAC tem plano de manutenção semelhante ao sistema de ar condicionado, onde só fornece conforto térmico. Os intervalos das atividades de manutenção do sistema AVAC e AC são na sua maioria idênticos, apesar do sistema AVAC abranger as áreas críticas do hospital, como a Unidade de Medicina Nuclear, e o sistema AC a área de consultórios, que não são consideradas críticas, Quadro 2. As informações foram obtidas por meio do PMOC do HC-UFPE que se encontra nos anexos.

Quadro 2 - Intervalos das manutenções das áreas críticas e não críticas do HC (Continua)

Manutenção Preventiva	Intervalos	
	Sistema AVAC (áreas críticas)	Sistema AC (áreas não críticas)
Limpar ou substituir o filtro de ar.	Mensal e trimestral.	Mensal e trimestral.
Verificar suporte e frestas do filtro de ar.	Trimestral.	Mensal.
Verificar e corrigir ajuste da moldura do filtro de ar.	Trimestral.	-
Limpar a casa de máquinas.	Mensal e trimestral.	-
Inspecionar ruídos e vibrações anormais do gabinete.	Mensal e trimestral.	Mensal.

Fonte: PMOC – HC – UFPE (2021)

Quadro 2 - Intervalos das manutenções das áreas críticas e não críticas do HC (Continuação)

Manutenção Preventiva	Intervalos	
	Sistema AVAC (áreas críticas)	Sistema AC (áreas não críticas)
Verificar vazamento/obstrução/inclinação da drenagem dos condensados.	Trimestral.	Mensal e trimestral.
Testar funcionamento do controle remoto.	-	Mensal e trimestral.
Verificar e limpar o gabinete, se necessário.	-	Mensal.
Remover e limpar frente plástica.	-	Trimestral.
Lavar internamente o gabinete.	Trimestral.	Trimestral.
Limpar grelhas de insuflamento/retorno.	Mensal.	-
Inspecionar ruídos e vibrações anormais dos condensadores.	Mensal e trimestral.	Não se aplica.
Lavar e remover incrustações no condensador.	Não se aplica.	Trimestral.
Inspecionar vazamento de gás.	Trimestral.	Trimestral.
Inspecionar isolamento térmico.	Trimestral.	Trimestral.
Limpar a serpentina do evaporador.	Trimestral.	Trimestral.
Limpar a bandeja do evaporador.	Trimestral.	-
Verificar e ajustar a tensão da correia do ventilador do evaporador.	Trimestral.	-
Medir e registrar a tensão e corrente do compressor.	Trimestral.	Trimestral.
Ajustar e registrar o superaquecimento.	Trimestral.	Não se aplica.
Limpar filtro do variador de frequência dos condensadores.	Trimestral.	Não se aplica.

Fonte: PMOC – HC – UFPE (2021)

Quadro 2 - Intervalos das manutenções das áreas críticas e não críticas do HC (Continuação)

Manutenção Preventiva	Intervalos	
	Sistema AVAC (áreas críticas)	Sistema AC (áreas não críticas)
Verificar vazamentos na serpentina dos condensadores.	Trimestral.	Trimestral.
Verificar limpeza e aperto dos bornes e conexões elétricas dos condensadores.	Trimestral.	-
Verificar vazamento/obstrução/inclinação da drenagem dos condensados.	Trimestral.	Mensal e trimestral.
Testar funcionamento do controle remoto.	-	Mensal e trimestral.
Verificar e limpar o gabinete, se necessário.	-	Mensal.
Remover e limpar frente plástica.	-	Trimestral.
Lavar internamente o gabinete.	Trimestral.	Trimestral.
Limpar grelhas de insuflamento/retorno.	Mensal.	-
Inspecionar ruídos e vibrações anormais dos condensadores.	Mensal e trimestral.	Não se aplica.
Lavar e remover incrustações no condensador.	Não se aplica.	Trimestral.
Inspecionar vazamento de gás.	Trimestral.	Trimestral.
Inspecionar isolamento térmico.	Trimestral.	Trimestral.
Limpar a serpentina do evaporador.	Trimestral.	Trimestral.
Limpar a bandeja do evaporador.	Trimestral.	-
Teste para verificar a atuação do termostato.	Não se aplica.	Trimestral.
Verificar capacitores, relés, placas eletrônicas, fiação do circuito elétrico.	-	Trimestral.

Fonte: PMOC – HC – UFPE (2021)

Quadro 2 - Intervalos das manutenções das áreas críticas e não críticas do HC (Conclusão)

Manutenção Preventiva	Intervalos	
	Sistema AVAC (áreas críticas)	Sistema AC (áreas não críticas)
Verificar todos os contatos (terminais) elétricos, quanto ao aperto e corrosão do circuito elétrico.	-	Trimestral.
Registrar valores da temperatura de retorno do ar (entrada).	Não se aplica.	Trimestral.
Registrar valores da temperatura de insuflação (saída).	Não se aplica.	Trimestral.
Registrar valores das temperaturas de entrada de ar e saída de ar do condensador.	Não se aplica.	Trimestral.
Teste para verificar a atuação do termostato.	Não se aplica.	Trimestral.
Verificar capacitores, relés, placas eletrônicas, fiação do circuito elétrico.	-	Trimestral.
Verificar todos os contatos (terminais) elétricos, quanto ao aperto e corrosão do circuito elétrico.	-	Trimestral.

Fonte: PMOC – HC – UFPE (2021)

Para a manutenção baseada na confiabilidade, conforme já mencionado, o contexto operacional do sistema é relevante, o que não foi observado no PMOC do Hospital das Clínicas, Quadro 2. Na próxima seção é apresentado o plano de manutenção proposto para o sistema AVAC primário da Unidade de Medicina Nuclear, conforme detalhado no Quadro 1 (vide metodologia). É importante ressaltar que os seguintes cenários só acontecem caso o sistema AVAC secundário também esteja em estado de falha ou ocorra um retardo para iniciar sua operação.

4.1 APLICAÇÃO DA MCC NO SISTEMA AVAC

Ao mesmo tempo que é realizada a descrição do sistema AVAC, é analisado, nos próximos parágrafos, as causas das falhas e suas consequências para o sistema.

Compressor da unidade condensadora

A parada do compressor traz como consequência o ambiente não refrigerado, com temperatura acima de 22°C e umidificado, com umidade relativa acima de 50%.

Serpentina aletada da unidade condensadora

A serpentina aletada suja dificulta a transferência de calor do refrigerante para o ambiente externo, aumentando a pressão na condensadora e conseqüentemente um aumento excessivo na pressão de descarga, atingindo valores acima de 548 *psig*. O ar externo que passa através da condensadora sai frio e o sub-resfriamento atinge um valor acima de 10°C. Esse alto sub-resfriamento faz com que a queda de pressão na válvula de expansão termostática superalimente a evaporadora. Isso reduz o superaquecimento, para valores abaixo de 5,5°C, o que provoca retorno de líquido no compressor. O óleo é diluído, fazendo com que aumente o atrito entre as peças e ocasione a sua quebra mecânica. À medida que a pressão de descarga aumenta excessivamente na unidade condensadora, atingindo níveis acima de 625 +/- 17 *psig*, o pressostato de alta pressão desaciona o compressor. A pressão reduz, para equalizar as pressões de descarga e sucção, e ao atingir 465 +/- 30 *psig* o compressor é acionado outra vez. A pressão de descarga retorna a aumentar, entrando em curta ciclagem de liga e desliga para proteção do compressor. Diante dos cenários, o ambiente se encontra com temperatura acima de 22°C e umidade relativa acima de 50%.

Já ruptura na serpentina aletada causa o vazamento no interior da unidade condensadora, e a pouca carga de refrigerante oferece menor capacidade de refrigeração. Ocorre um sub-resfriamento abaixo de 5°C, provocando a formação de gás na linha de líquido, o que diminui a capacidade da válvula de expansão termostática. A unidade evaporadora é subalimentada, levando um período maior para refrigerar o ambiente e fazendo com que o superaquecimento fique acima de 11,5°C. Um superaquecimento elevado provoca a carbonização do óleo lubrificante, uma das causas de quebra mecânica do compressor. Devido ao vazamento, a pressão de sucção é abaixo de 124 *psig*. À medida que a pressão de sucção diminui excessivamente na unidade condensadora, atingindo níveis abaixo de 45 +/- 7 *psig*, o pressostato de baixa pressão desaciona o compressor. A pressão aumenta, para

equalizar as pressões de descarga e sucção, e ao atingir 50 +/- 7 *psig* o compressor é acionado outra vez. A pressão de descarga retorna a diminuir, entrando em curta ciclagem de liga e desliga para proteção do compressor. Diante dos cenários, o ambiente se encontra com temperatura acima de 22°C e umidade relativa acima de 50%.

Parada do ventilador da unidade condensadora

A queima do motor ou o capacitor com baixa capacitância trazem como consequência a parada do ventilador. Com o ventilador parado, a unidade condensadora aumenta a pressão de descarga, atingindo valores acima de 548 *psig* e fornecendo um sub-resfriamento acima de 10°C. Esse alto sub-resfriamento faz com que a queda de pressão na válvula de expansão termostática superalimente a evaporadora. Ocorre um baixo superaquecimento, abaixo de 5,5°C, o que provoca retorno de líquido no compressor. O óleo é diluído e isso faz com que aumente o atrito entre as peças, ocasionando a sua quebra mecânica. À medida que a pressão de descarga aumenta excessivamente na unidade condensadora, atingindo níveis acima de 625 +/- 17 *psig*, o pressostato de alta pressão desaciona o compressor. A pressão reduz, para equalizar as pressões de descarga e sucção, e ao atingir 465 +/- 30 *psig* o compressor é acionado outra vez. A pressão de descarga retorna a aumentar, entrando em curta ciclagem de liga e desliga para proteção do compressor. Diante dos cenários, o ambiente se encontra com temperatura acima de 22°C e umidade relativa acima de 50%.

Válvula de expansão termostática

Uma válvula de expansão termostática que permite a passagem de fluido de forma excessiva/reduzida superalimenta/subalimenta a unidade evaporadora, fazendo com que o excesso/redução de refrigerante não esteja compatível com a velocidade da evaporação. O baixo fluxo de refrigerante através da válvula de expansão termostática faz com que o superaquecimento seja muito alto, acima de 11,5° C, a pressão de sucção seja abaixo de 124 *psig* e o sub-resfriamento acima de 10°C. O alto superaquecimento provoca a carbonização do óleo de lubrificação do compressor, levando ao desgaste das partes móveis e a sua quebra mecânica. À

medida que a pressão de sucção reduz excessivamente, atingindo níveis abaixo de 45 +/- 7 *psig*, o pressostato de baixa pressão desaciona o compressor. A pressão aumenta, para equalizar as pressões de descarga e sucção, e ao atingir 50 +/- 7 *psig* o compressor é acionado outra vez. A pressão de descarga retorna a diminuir, entrando em curta ciclagem de liga e desliga para proteção do compressor. Diante dos cenários, o ambiente se encontra com temperatura acima de 22°C e umidade relativa acima de 50%.

Já o grande fluxo de refrigerante através da válvula de expansão termostática faz com que o superaquecimento seja muito baixo, abaixo de 5° C, a pressão de sucção fria e acima de 134 *psig* e o sub-resfriamento abaixo de 5°C. O baixo superaquecimento faz com que o líquido refrigerante entre na linha de sucção, em direção ao compressor e cause retorno de líquido. O resultado disso é a diluição do óleo do compressor, aumentando o atrito entre as peças internas e por fim a quebra mecânica do compressor. À medida que a pressão de descarga aumenta excessivamente, atingindo níveis acima de 625 +/- 17 *psig* devido à alta pressão de sucção, o pressostato de alta pressão desaciona o compressor. A pressão reduz, para equalizar as pressões de descarga e sucção, e ao atingir 465 +/- 30 *psig* o compressor é acionado outra vez. A pressão de descarga retorna a aumentar, entrando em curta ciclagem de liga e desliga para proteção do compressor. Diante dos cenários, o ambiente se encontra com temperatura acima de 22°C e umidade relativa acima de 50%.

Serpentina aletada da unidade evaporadora

A serpentina aletada suja além de dificultar a transferência de calor do ar para o refrigerante, também é um local propício a formação de biofilme, agentes nocivos à saúde humana, devido a umidade. Isso leva a um superaquecimento abaixo de 5,5°C. A serpentina aletada congela e, nessas condições, o gelo isola ainda mais a superfície de transferência de calor. Com isso, tem-se uma linha de sucção fria e pressão abaixo de 124 *psig*. O baixo superaquecimento ocasiona o retorno de líquido no compressor, diluindo o óleo lubrificante e provocando sua quebra mecânica. À medida que a pressão de sucção reduz excessivamente, atingindo níveis abaixo de 45 +/- 7 *psig*, o pressostato de baixa pressão desaciona o compressor. A pressão aumenta, para equalizar as pressões de descarga e sucção,

e ao atingir 50 +/- 7 *psig* o compressor é acionado outra vez. A pressão de sucção retorna a diminuir, entrando em curta ciclagem de liga e desliga para proteção do compressor. Diante dos cenários, o ambiente se encontra com temperatura acima de 22°C e umidade relativa acima de 50%.

Já a ruptura na serpentina aletada faz com que haja o vazamento de refrigerante no interior da unidade evaporadora e a pouca carga de refrigerante oferece menor capacidade de refrigeração. O superaquecimento atinge um valor acima de 11,5°C, provocando a carbonização do óleo lubrificante e a quebra mecânica do compressor, enquanto que o sub-resfriamento atinge um valor abaixo de 5°C, provocando a formação de bolha de gás na linha de líquido. Alto superaquecimento e baixo sub-resfriamento são características de baixa carga de refrigerante. A pressão de sucção é menor que 124 *psig*. À medida que a pressão de sucção diminui excessivamente, atingindo níveis abaixo de 45 +/- 7 *psig*, o pressostato de baixa pressão desaciona o compressor. A pressão aumenta, para equalizar as pressões de descarga e sucção, e ao atingir 50 +/- 7 *psig* o compressor é acionado outra vez. A pressão de sucção retorna a diminuir, entrando em curta ciclagem de liga e desliga para proteção do compressor. Diante dos cenários, o ambiente se encontra com temperatura acima de 22°C e umidade relativa acima de 50%.

Bandeja e dreno

A bandeja suja causando o entupimento do dreno faz com que a drenagem dos condensados seja ineficaz, o que oferece um local úmido propício ao crescimento de mofo no interior da unidade evaporadora, contaminando os demais componentes da unidade e o ar de insuflamento. Isso desencadeia muitos problemas respiratórios, afetando a saúde dos ocupantes.

Ventilador da unidade evaporadora

A folga na correia provocando o escorregamento na polia ou a queima do motor elétrico traz como consequência a parada do ventilador. Com o ventilador parado, o ar frio é confinado na unidade evaporadora, provocando o congelamento da serpentina aletada, o que dificulta a transferência de calor. O resultado disso é

um superaquecimento abaixo de 5,5°C e linha de sucção fria e com pressão abaixo de 124 *psig*. No compressor, o retorno de líquido dilui o óleo lubrificante, provocando sua quebra mecânica. À medida que a pressão de sucção reduz excessivamente, atingindo níveis abaixo de 45 +/- 7 *psig*, o pressostato de baixa pressão desaciona o compressor. A pressão aumenta, para equalizar as pressões de descarga e sucção, e ao atingir 50 +/- 7 *psig* o compressor é acionado outra vez. A pressão de descarga retorna a diminuir, entrando em curta ciclagem de liga e desliga para proteção do compressor. Diante dos cenários, o ambiente se encontra com temperatura acima de 22°C e umidade relativa acima de 50%.

Filtro de ar

O filtro de ar obstruído diminui a vazão de ar para insuflamento (12.200 m³/h). O ar sai da unidade evaporadora frio e é conduzido pelo duto de insuflamento até o ambiente. Como a vazão de ar frio que chega no ambiente é muito baixa, o compressor terá que aumentar seu período de operação para vencer a carga térmica. O filtro de ar entupido provoca a despressurização de ar no ambiente, podendo levar ar sujo de áreas vizinhas para ambientes limpos. No sistema, a pressão de sucção é abaixo de 124 *psig* e o superaquecimento é abaixo de 5,5°C, levando a entrada de líquido no compressor e a diluição do óleo lubrificante, o que causa a sua quebra mecânica. À medida que a pressão de sucção reduz excessivamente, atingindo níveis abaixo de 45 +/- 7 *psig*, o pressostato de baixa pressão desaciona o compressor. A pressão aumenta, para equalizar as pressões de descarga e sucção, e ao atingir 50 +/- 7 *psig* o compressor é acionado outra vez. A pressão de descarga retorna a diminuir, entrando em curta ciclagem de liga e desliga para proteção do compressor. Diante dos cenários, o ambiente se encontra com temperatura acima de 22°C e umidade relativa acima de 50%.

Filtro de ar com frestas

O filtro de ar contendo frestas além de contaminar toda a unidade evaporadora com partículas causando obstrução do dreno dos condensados e propiciando a formação de mofo, sujando ventilador e serpentina aletada, leva contaminantes ao ambiente através dos dutos de insuflamento.

Filtro da tomada de ar externo

O filtro de ar da tomada de ar externo com frestas aumenta a umidade do ar e a formação de mofo, devido a infiltração de chuva. Ocorre também a entrada de partículas, como poeiras entupindo o filtro de ar do sistema. Já o filtro da tomada de ar externo entupido provoca baixa vazão de ar de renovação, o que tende a concentrar e acumular contaminantes nocivos à saúde, saturando o ambiente.

Duto de insuflamento e retorno

Dutos de retorno e insuflamento sujos podem levar contaminantes para o ambiente, contribuindo para entupir filtros de ar. O duto de retorno sujo entope o filtro de ar na entrada da unidade evaporadora. Isso diminui a vazão de ar insuflado nos ambientes. O duto de insuflamento sujo contamina o ambiente e as grelhas, deixando o ar do ambiente sujo.

Tubulação

A tubulação com ruptura além de diminuir a eficiência térmica do sistema, ainda causa umidade. A umidade no sistema provoca uma reação química entre o refrigerante e o óleo, gerando acobreamento e acidez corrosiva. Essa reação atinge a tubulação do sistema e o motor elétrico do compressor. A formação de óxidos decompõe a lubrificação e o refrigerante, causando travamento do motor e sua quebra mecânica.

Já a falha no isolamento térmico além de diminuir a eficiência térmica do sistema, fazendo com que o compressor opere por mais tempo para vencer a carga térmica, ainda condensa o vapor d'água, formando pingueira na tubulação.

Casa de máquina

A casa de máquina suja ou molhada permite o acúmulo de sujeiras e umidade, entupindo o filtro de ar.

Pressostato de baixa e alta pressão

A falha do dispositivo de proteção do compressor traz consequências a sua operação. A falha no pressostato de baixa pressão pode fazer com que o compressor opere com uma temperatura de sucção extremamente reduzida, levando a queima do motor.

O mesmo acontece quando o compressor trabalha com uma pressão de descarga muito alta e o pressostato de alta pressão não desaciona o compressor. Com a queima do motor elétrico, o sistema deixa de refrigerar e desumidificar o ambiente, ficando com temperatura acima de 22°C e umidade relativa acima de 50%.

Umidostato

O sensor de umidade não atuando não aciona o banco de resistência, que por sua vez não aciona o compressor. O sistema não desumidifica o ar. Um ambiente em que não se há o controle da umidade é mais propício à proliferação de micro-organismos.

Ventilador exaustor

A queima do motor elétrico ou a quebra do equipamento por vibração faz com que ocorra a parada do ventilador exaustor. O resultado da falha é um ambiente úmido e/ou contaminado.

O Quadro 3, apresenta o plano de manutenção proposto para o sistema AVAC, ou seja, as atividades de manutenção preventivas e preditivas (tarefas pró-ativas), e não sendo possível detectar a falha das atividades de manutenção corretiva (tarefas reativas). O Quadro 4, apresenta a descrição das atividades mencionadas no Quadro 3.

Quadro 3 - MCC do sistema de AVAC (Continua)

Compressor da unidade condensadora					
Descrição da função	Falha da função	Modo de falha	Efeitos dos modos de falhas	Tarefa pró-ativa	Tarefa reativa
Bombear vapor superaquecido à uma vazão de 12.200 m ³ /h até sua pressão de condensação dentro das condições normais de operação (pressão de sucção: 124 <i>psig</i> a 134 <i>psig</i> e pressão de descarga: 329 <i>psig</i> a 548 <i>psig</i>).	Incapaz de bombear refrigerante.	Curto circuito nos terminais elétricos do compressor.	Parada do compressor. Ambiente com temperatura acima de 22°C e umidade relativa acima de 50%/ falha com consequência de segurança e operacional.	19 e 20	28
		Compressor travado: capacitor com baixa capacitância.		19 e 20	27
		Queima do motor elétrico por subtensão ou sobretensão.		1	33
Pressostato de baixa pressão					
Descrição da função	Falha da função	Modo de falha	Efeitos dos modos de falhas	Tarefa pró-ativa	Tarefa reativa
Desaciona o compressor quando atinge uma pressão de sucção de 45 +/- 7 <i>psig</i> e reaciona quando essa pressão atinge 50 +/- 7 <i>psig</i> .	Permite que o compressor opere com pressão de sucção inferior a 45 +/- 7 <i>psig</i> .	Pressostato de baixa pressão não desaciona o compressor.	Queima do motor elétrico do compressor. Ambiente com temperatura acima de 22°C e umidade relativa acima de 50%/ falha com consequência de segurança e operacional.	29	31, 33 e 34
Pressostato de alta pressão					
Descrição da função	Falha da função	Modo de falha	Efeitos dos modos de falhas	Tarefa pró-ativa	Tarefa reativa
Desaciona o compressor quando atinge uma pressão de descarga de 625 +/- 17 <i>psig</i> e reaciona quando essa pressão atinge 465 +/- 30 <i>psig</i> .	Permite que o compressor opere com pressão de sucção superior a 625 +/- 17 <i>psig</i> .	Pressostato de alta pressão não desaciona o compressor.	Queima do motor elétrico do compressor. Ambiente com temperatura acima de 22°C e umidade relativa acima de 50%/ falha com consequência de segurança e operacional.	30	32, 33 e 34
Serpentina aletada da unidade condensadora					
Descrição da função	Falha da função	Modo de falha	Efeitos dos modos de falhas	Tarefa pró-ativa	Tarefa reativa
Conter fluido refrigerante para transferência de calor do refrigerante para o ambiente externo, sub-resfriando o vapor superaquecido.	Incapaz de rejeitar calor do refrigerante para o ambiente externo.	Sujeira na serpentina aletada.	Formação de biofilme, agentes nocivos à saúde, e parada do compressor. Ambiente com temperatura acima de 22°C e umidade relativa acima de 50%/ falha com consequência de segurança e operacional.	3	3

Fonte: A autora (2021)

Quadro 3 - MCC do sistema de AVAC (Continuação)

Serpentina aletada da unidade condensadora					
Descrição da função	Falha da função	Modo de falha	Efeitos dos modos de falhas	Tarefa pró-ativa	Tarefa reativa
	Incapaz de conter fluido refrigerante.	Ruptura da serpentina aletada.	Parada do compressor. Ambiente com temperatura acima de 22°C e umidade relativa acima de 50%/ falha com consequência de segurança e operacional.	4 e 5	6
Pressostato de alta pressão					
Descrição da função	Falha da função	Modo de falha	Efeitos dos modos de falhas	Tarefa pró-ativa	Tarefa reativa
Desaciona o compressor ao atingir a pressão de descarga de 625 +/- 17 <i>psig</i> e reaciona quando essa pressão atinge 465 +/- 30 <i>psig</i> .	Permite que o compressor opere com pressão de sucção superior a 625 +/- 17 <i>psig</i> .	Pressostato de alta pressão não desaciona o compressor.	Queima do motor elétrico do compressor. Ambiente com temperatura acima de 22°C e umidade relativa acima de 50%/ falha com consequência de segurança e operacional.	30	32, 33 e 34
Serpentina aletada da unidade condensadora					
Descrição da função	Falha da função	Modo de falha	Efeitos dos modos de falhas	Tarefa pró-ativa	Tarefa reativa
Conter fluido refrigerante para transferência de calor do refrigerante para o ambiente externo, sub-resfriando o vapor superaquecido.	Incapaz de rejeitar calor do refrigerante para o ambiente externo.	Sujeira na serpentina aletada.	Formação de biofilme, agentes nocivos à saúde, e parada do compressor. Ambiente com temperatura acima de 22°C e umidade relativa acima de 50%/ falha com consequência de segurança e operacional.	3	3
	Incapaz de conter fluido refrigerante.	Ruptura da serpentina aletada.	Parada do compressor. Ambiente com temperatura acima de 22°C e umidade relativa acima de 50%/ falha com consequência de segurança e operacional.	4 e 5	6
Ventilador da unidade condensadora					
Descrição da função	Falha da função	Modo de falha	Efeitos dos modos de falhas	Tarefa pró-ativa	Tarefa reativa
Deslocar o ar quente que absorveu calor do refrigerante para o meio externo, reduzindo a temperatura da unidade condensadora.	Incapaz de deslocar ar quente para o meio externo.	Ventilador não parte: baixa capacitância do capacitor.	Parada do ventilador e do compressor. Ambiente com temperatura acima de 22°C e umidade relativa acima de 50%/ falha com consequência de segurança e operacional.	7 e 2	8
		Queima do motor elétrico do ventilador: sobreaquecimento.		3 e 9	10

Fonte: A autora (2021)

Quadro 3 - MCC do sistema de AVAC (Continuação)

Válvula de expansão termostática					
Descrição da função	Falha da função	Modo de falha	Efeitos dos modos de falhas	Tarefa pró-ativa	Tarefa reativa
Reduzir pressão do refrigerante sub-resfriado para a sua pressão de evaporação e controlar o fluxo de refrigerante que chega na unidade evaporadora.	Fluxo de refrigerante excessivo.	Válvula de expansão termostática emperrada na posição aberta.	Parada do compressor. Ambiente com temperatura acima de 22°C e umidade relativa acima de 50%/ falha com consequência de segurança e operacional.	11	15
		Bulbo termostático mal isolado.		2	14
		Equalizador externo obstruído.		13	16
	Fluxo de refrigerante reduzido.	Válvula de expansão termostática emperrada na posição fechada.	Parada do compressor. O sistema não refrigera e desumidifica o ar. Ambiente com temperatura acima de 22°C e umidade relativa acima de 50%/ falha com consequência de segurança e operacional.	11	15
		Bulbo termostático perdeu a carga.		11	15
	Filtro da tomada de ar externo				
Descrição da função	Falha da função	Modo de falha	Efeitos dos modos de falhas	Tarefa pró-ativa	Tarefa reativa
Filtrar ar de renovação a uma vazão de 2.440 m ³ /h para a unidade evaporadora.	Fornecer ar de renovação não filtrado.	Filtro da tomada de ar externo com frestas.	Aumento da umidade do ar e transporte de poeira para casa de máquina. Despressurização de ar no ambiente devido o filtro de ar da unidade evaporadora entupido/ falha com consequência de segurança e operacional.	18 e 19	18 e 19
	Incapaz de fornecer ar de renovação a uma taxa de 2.440,00 m ³ /h.	Filtro da tomada de ar externo entupido.	Despressurização de ar, ambiente saturado com deficiência de ar de renovação e parada do compressor. Ambiente com temperatura acima de 22°C e umidade relativa acima de 50%/ falha com consequência de segurança e operacional.	17	17
Filtro de ar da unidade evaporadora					
Descrição da função	Falha da função	Modo de falha	Efeitos dos modos de falhas	Tarefa pró-ativa	Tarefa reativa
Filtrar ar para insuflamento numa vazão de 12.200 m ³ /h, evitando sujeiras e	Incapaz de fornecer ar de insuflamento a uma vazão	Filtro de ar entupido.	Despressurização de ar no ambiente e parada do compressor. Ambiente com temperatura acima de 22°C e umidade	17	17

Fonte: A autora (2021)

Quadro 3 - MCC do sistema de AVAC (Continuação)

Filtro de ar da unidade evaporadora					
Descrição da função	Falha da função	Modo de falha	Efeitos dos modos de falhas	Tarefa pró-ativa	Tarefa reativa
multiplicação de agentes nocivos à saúde humana.	de 12.200 m ³ /h.		relativa acima de 50%/ falha com consequência de segurança e operacional.		
	Fornecer ar de insuflamento não filtrado.	Filtro de ar com frestas.	Ar de insuflamento contaminado e sujeira no interior da evaporadora (bandeja, dreno, serpentina aletada e ventilador) / falha com consequência de segurança e operacional.	8 e 19	18 e 19
Serpentina aletada da unidade evaporadora					
Descrição da função	Falha da função	Modo de falha	Efeitos dos modos de falhas	Tarefa pró-ativa	Tarefa reativa
Conter o fluido refrigerante e transferir calor do ar de retorno e renovação para o refrigerante.	Incapaz de absorver calor do refrigerante para o ambiente externo.	Serpentina aletada suja.	Formação de biofilme, agentes nocivos à saúde, e parada do compressor. Ambiente com temperatura acima de 22°C e umidade relativa acima de 50%/ falha com consequência de segurança e operacional.	20	20
	Incapaz de conter fluido refrigerante.	Ruptura na serpentina aletada.	Parada do compressor. Ambiente com temperatura acima de 22°C e umidade relativa acima de 50%/ falha com consequência de segurança e operacional.	21 e 22	23
Bandeja e dreno de condensados					
Descrição da função	Falha da função	Modo de falha	Efeitos dos modos de falhas	Tarefa pró-ativa	Tarefas reativa
Reter a água condensada do vapor d'água na serpentina aletada da unidade evaporadora e drena-lá.	Drenagem ineficaz.	Bandeja suja entupindo o dreno.	Umidade e contaminação da unidade evaporadora e do ambiente devido a formação de biofilme/ falha com consequência de segurança e operacional.	24 e 25	26
Ventilador da unidade evaporadora					
Descrição da função	Falha da função	Modo de falha	Efeitos dos modos de falhas	Tarefa pró-ativa	Tarefas reativa
Aspirar o ar tratado e frio da unidade evaporadora, a uma pressão de 115 mmCA e conduzi-lo	Incapaz de aspirar ar.	Correia do ventilador escorregou da polia.	Parada do ventilador e compressor. Ambiente com temperatura acima de 22°C e umidade relativa acima de 50%/	7 e 39	39

Fonte: A autora (2021)

Quadro 3 - MCC do sistema de AVAC (Continuação)

Ventilador da unidade evaporadora					
Descrição da função	Falha da função	Modo de falha	Efeitos dos modos de falhas	Tarefa pró-ativa	Tarefas reativa
aos dutos de insuflamento à uma vazão de 12.200 m ³ /h.		Queima do motor por baixo isolamento: 1) sujidade; 2) Aquecimento excessivo.	falha com consequência de segurança e operacional.	5, 36 e 37	38
Duto de insuflamento					
Descrição da função	Falha da função	Modo de falha	Efeitos dos modos de falhas	Tarefa pró-ativa	Tarefas reativa
Transporta ar frio tratado de insuflamento (vazão de 12.200 m ³ /h).	Incapaz de insuflar ar tratado.	Duto sujo.	Ar do ambiente contaminado/ falha com consequência de segurança.	40 e 42	40 e 42
Duto de retorno					
Descrição da função	Falha da função	Modo de falha	Efeitos dos modos de falhas	Tarefa pró-ativa	Tarefas reativa
Transporta ar de retorno (vazão de 9.760 m ³ /h) para ser filtrado na unidade evaporadora.	Fornecer ar de retorno muito sujo.	Duto sujo.	Despressurização de ar no ambiente e parada do compressor. Ambiente com temperatura acima de 22°C e umidade relativa acima de 50%/ falha com consequência de segurança e operacional.	41 e 43	41 e 43
Tubulação					
Descrição da função	Falha da função	Modo de falha	Efeitos dos modos de falhas	Tarefa pró-ativa	Tarefas reativa
Conter o fluido, isolando a entrada e saída de calor durante o transporte do refrigerante por todo circuito de refrigeração.	Incapaz de conter o fluido refrigerante.	Vazamento na tubulação.	Umidade e corrosão na tubulação. Parada do compressor. Ambiente com temperatura acima de 22°C e umidade relativa acima de 50%/ falha com consequência de segurança e operacional.	44, 45 e 46	47 e 48
	Incapaz de isolar calor.	Isolamento danificado.	Ambiente com maior tempo para refrigerar/ falha com consequência operacional.	56	56
Casa de máquinas					
Descrição da função	Falha da função	Modo de falha	Efeitos dos modos de falhas	Tarefa pró-ativa	Tarefas reativa
Ambiente limpo que abriga o sistema.	Sistema sujo.	Casa de máquina suja.	Filtro de ar sujo. Ambiente com temperatura acima de 22°C e umidade relativa acima de 50%/ falha com consequência de	49	49

Fonte: A autora (2021)

Quadro 3 - MCC do sistema de AVAC (Conclusão)

Casa de máquinas					
Descrição da função	Falha da função	Modo de falha	Efeitos dos modos de falhas	Tarefa pró-ativa	Tarefa reativa
			segurança e operacional.		
Umidostato					
Descrição da função	Falha da função	Modo de falha	Efeitos dos modos de falhas	Tarefa pró-ativa	Tarefas reativa
Aciona o banco de resistência para aquecimento do ar de insuflamento.	Não aciona o banco de resistência.	Umidostato não atuando.	Ambiente com umidade acima de 50%/ falha com consequência de segurança e operacional.	50	51
Ventilador exaustor					
Descrição da função	Falha da função	Modo de falha	Efeitos dos modos de falhas	Tarefa pró-ativa	Tarefas reativa
Exaustão de ar úmido/ sujo.	Incapaz de realizar exaustão de ar.	Queima do motor por baixo isolamento: 1) sujidade; 2) Aquecimento excessivo.	Parada do ventilador exaustor. Ambiente com ar poluído e/ou úmido/ falha com consequência de segurança e operacional.	54 e 55	53

Fonte: A autora (2021)

Quadro 4 - Descrição das atividades de manutenção propostas (Continua)

Atividade	Descrição da Atividade
1	Medir e registrar a tensão e corrente do compressor, comparando com a nominal.
2	Verificar capacitores, fiação do circuito elétrico, contatos elétricos, quanto ao aperto e corrosão de todos componentes e circuito elétrico.
3	Lavar e remover incrustações na serpentina aletada da unidade condensadora.
4	Verificar vazamentos na serpentina aletada da unidade condensadora.
5	Verificar e eliminar pontos de corrosão na unidade condensadora.
6	Soldar a serpentina aletada da unidade condensadora.
7	Inspecionar ruídos e vibrações anormais da unidade condensadora.
8	Trocar capacitor do ventilador.
9	Limpar o ventilador (carcaça e rotor) da unidade condensadora.
10	Substituir motor ventilador da unidade condensadora.
11	Teste para verificação de atuação da válvula de expansão termostática.
12	Verificar a posição e isolamento do bulbo termostático.
13	Verificar as condições do equalizador externo.
14	Ajustar a posição e isolamento do bulbo termostático.
15	Substituir a válvula de expansão termostática.
16	Substituir o equalizador externo.
17	Limpar ou substituir o filtro de ar.
18	Verificar e ajustar suporte e frestas do filtro de ar.
19	Verificar e corrigir ajuste da moldura.
20	Lavar e remover incrustações na serpentina da unidade evaporadora.
21	Verificar vazamentos na serpentina da unidade evaporadora.
22	Verificar e eliminar pontos de corrosão na unidade evaporadora.
23	Soldar a serpentina da unidade evaporadora.

Fonte: A autora (2021)

Quadro 4 - Descrição das atividades de manutenção propostas (Conclusão)

Atividade	Descrição da Atividade
24	Limpar a bandeja da unidade evaporadora.
25	Verificar vazamento/obstrução/inclinação da drenagem dos condensados.
26	Desobstruir drenagem entupida.
27	Substituir capacitor do compressor.
28	Eliminar oxidação dos terminais do compressor e trocar/aperto dos bornes.
29	Teste nos pressostato de baixa pressão.
30	Teste nos pressostato de alta pressão.
31	Substituir pressostato de baixa pressão.
32	Substituir pressostato de alta pressão.
33	Substituir o compressor.
34	Limpeza do circuito (troca de refrigerante e óleo).
35	Monitorar o desempenho do isolamento do motor elétrico do ventilador.
36	Limpar o ventilador (carcaça e rotor) da unidade evaporadora.
37	Medir e registrar a tensão e corrente do ventilador da unidade evaporadora, comparando com a nominal.
38	Substituir motor ventilador da unidade condensadora.
39	Verificar e ajustar a tensão da correia do ventilador do evaporador.
40	Limpeza de dutos de insuflamento.
41	Limpeza de dutos de retorno.
42	Limpar grelhas de insuflamento.
43	Limpar grelhas de retorno.
44	Inspecionar vazamento de gás na tubulação e realizar o reaperto das conexões.
45	Verificar a qualidade do óleo no visor.
46	Verificar e eliminar pontos de corrosão na tubulação.
47	Soldar tubulação com ruptura.
48	Limpeza do circuito (troca de refrigerante e óleo).
49	Limpar a casa de máquinas.
50	Testar a atuação do umidostato.
51	Substituir umidostato.
52	Lubrificação do ventilador exaustor.
53	Substituir motor ventilador exaustor.
54	Medir e registrar a tensão e corrente do ventilador exaustor, comparando com a nominal.
55	Limpar o ventilador exaustor (carcaça e rotor).
56	Inspecionar e ajustar o isolamento térmico.
57	Substituir ventilador exaustor.

Fonte: A autora (2021)

5 CONCLUSÃO

Os ambientes climatizados são regidos por legislações específicas, as quais têm por objetivo garantir a permanente salubridade do ar e o controle das condições termo-higrométricas, que além de propiciar o conforto dos ocupantes ainda mantem condições ambientais específicas para tratamentos, operação de equipamentos médico-hospitalares e a inibição a proliferação de micro-organismos.

A legislação brasileira abordou a qualidade do ar interior através da manutenção dos sistemas de climatização e conforto térmico através da NBR 13971 (1997). Atualmente está em vigor a NBR 13971/ 2014.

Em agosto de 1998 o Ministério da Saúde sob a gestão de José Serra publica a Portaria nº 3.523 (BRASIL,1998) com o objetivo de reduzir os riscos potenciais para a saúde das pessoas, devido a sua permanência em ambientes climatizados, ao estabelecer um Plano de Manutenção, Operação e Controle-PMOC. Essa Portaria aborda as exigências da limpeza e desinfecção dos sistemas de condicionamento de ar com capacidade igual ou superior a 5,0 TR (tonelada de refrigeração) –15000 kcal/h/60000 BTU/h, e suas verificações periódicas. Estabelece também parâmetros de composição física, química e biológica, bem como das tolerâncias e métodos de controle, dos pré-requisitos dos projetos de instalação e manutenção para tais sistemas.

Para dar cumprimento à Portaria nº 3.523 (BRASIL,1998) a Agência Nacional de Vigilância Sanitária Portaria nº 3.523-ANVISA estabelece em 24 de outubro de 2000 a Resolução nº 176. Em 16 de janeiro a ANVISA promulgou a Resolução nº 9, que deixa claro a necessidade de recolher amostras de ar de qualquer ambiente fechado, antes apenas ambientes com uma área superior a 3.000m² eram obrigados ao controle da qualidade do ar. E também estabeleceu limites máximos de contaminação de agentes biológicos e químicos com risco para a saúde dos ocupantes.

Falhas de manutenção tais como: higienização inadequada dos equipamentos, ausência de limpeza ou substituição de filtros de ar, problemas na regulagem do sistema de renovação de ar, aumenta o risco de infecção em hospitais, embora talvez pequeno quando comparado com as práticas não recomendadas.

A NBR 13971 (2014) não estabelece intervalos para as atividades periódicas de manutenção, transferindo esta decisão para o profissional habilitado responsável pela manutenção do sistema de climatização. A NBR 13971 (2014) prevê atividades de manutenção programadas, ou seja, atividades de manutenção corretivas não são previstas. As atividades de manutenção programadas são aplicáveis a maiorias dos conjuntos e dos componentes dos sistemas de refrigeração, condicionamento de ar, ventilação e aquecimento, não considerando o contexto em que se encontra o sistema de climatização. É razoável que o sistema de climatização de um centro cirúrgico tenha um plano de manutenção diferente da área de consultórios de um hospital. Equipamentos idênticos devem ter prioridades diferentes. Para a NBR 13971 (2014) esta decisão é do profissional habilitado.

O PMOC anexo da Portaria nº 3.523 (BRASIL, 1998) nas suas recomendações de manutenção e controle apenas relaciona as atividades a serem realizadas.

O PMOC do Hospital das Clínicas recomenda atividades de manutenção baseadas no tempo, sendo esses intervalos de tempo para a realização das atividades de manutenção idênticos para o sistema AVAC e AC. Se for assumido que o PMOC recomendado para o sistema AVAC é o apropriado, então a manutenção do sistema AC poderá estar superdimensionada, o que implicaria em um custo maior. Se ao contrário for assumido que o PMOC do sistema AC é adequado, então o planejamento da manutenção do sistema AVAC está subdimensionado, visto que o sistema AVAC é mais complexo do que o sistema AC, o que poderá comprometer a saúde dos ocupantes das áreas consideradas críticas. O que torna urgente um planejamento da manutenção, o qual leve em consideração o contexto operacional que o sistema está inserido.

Concluindo, o presente estudo buscou estruturar uma estratégia de manutenção, conforme sugerida por Moubray (1997), baseada nos modos de falha e seus efeitos sobre as funções requeridas dos componentes do sistema de climatização. Este entendimento possibilitou um planejamento das atividades de manutenção preventiva e preditiva para evitar a ocorrência da falha.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- a) Abordar as métricas da Manutenção Centrada em Confiabilidade na área de climatização hospitalar que servirão de apoio para o processo de tomada de decisão da gestão de manutenção;
- b) Análise dos custos da Manutenção Centrada em Confiabilidade.

REFERÊNCIAS

- ALATRISTA, C. B. en; BAMBARÉN, S. A. de. **Mantenimiento de los Establecimientos de Salud**: Una guía para la mejora de la calidad y seguridad de los servicios. Perú, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro, p. 6. 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro, p. 7. 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13971: Sistema de refrigeração, condicionamento de ar, ventilação e aquecimento – Manutenção programada**. Rio de Janeiro, 1994.
- BLOOM, N. B. **Reliability Centered Maintenance**: Implementation made simple. EUA: McGraw-Hill Companies, 2006.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria nº 3.523, de 28 de agosto de 1998. Aprova regulamento técnico para elaboração de procedimentos de manutenção, inspeção e remoção de sujidade do sistema de climatização para garantir qualidade do ar interior através da implementação do Plano de Manutenção, Operação e Controle – PMOC. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, 31 de agosto de 1998, p. 40-42.
- CARSTENS, L. **O Papel da Gestão da Manutenção na Estratégia de Operações**. 52 p. Dissertação (Mestrado) — Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2007.
- DINÇER, I.; KANOGLU M. **REFRIGERATION SYSTEMS and APPLICATIONS**. 2. ed. Reino Unido: Wiley, 2010.
- FLEMING, P.V.; SILVA, M.F.; FRANÇA, S.R.R.O. Aplicando manutenção centrada em confiabilidade (MCC) em indústrias brasileiras: lições aprendidas. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 19., 1999, Rio de Janeiro, **Anais...**, Rio de Janeiro: UFRG, 1999, 1 CD.
- GT A2.05. **Guia de Manutenção para Transformadores de Potência**. [S.l.], 2013.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: Função Estratégica**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2009.
- LUCATELLI, M. V. **Proposta de Aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade em Equipamentos Médico-Hospitalar**. 2002. Tese (Doutorado) —Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
- MARQUEZ, A. C. **The Maintenance Management Framework**. London: SpringerVerlag, 2002.

MOUBRAY, J. **Reliability-Centered Maintenance**. 2. ed. Woodbine, NJ: Industrial Press Inc., 1997.

NOWLAN, F. S.; HEAPA, H. F. **RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE**. Califórnia: National Technical Information Service, Report No. AD/A066-579, 1978. Qualitymark, 2009.

PMOC- HC- UFPE, 2021.

RAUSAND, M.; HSYLAND, A. **SYSTEM RELIABILITY THEORY: models, statistical methods, and applications**. 2. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2004.

SMITH, A. M.; HINCHCLIFFE, G. R. **RCM-Gateway to World Class Maintenance**. 2. ed. EUA: Butterworth-Heinemann, 2003.

SOEIRO, M. V. de A.; OLIVIO, A.; LUCATO, A. V. R. **Gestão da manutenção**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A, 2017.

VIANA, H. R. G. **PCM: Planejamento e Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

XENOS, H. G. **Gerenciamento da manutenção Produtiva**. Belo Horizonte: Editora de desenvolvimento gerencial, 1998.

**ANEXO A – PLANO MENSAL DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE AR-
CONDICIONADO SPLIT**

MENSAL				
item	Atividade	OK	NA	OBSERVAÇÃO/REGISTRO
1. FILTRO DE AR				
1.1	Limpar ou substituir			
1.2	Verificar suporte e frestas			
2. BANDEJA				
2.1	Verificar vazamento/obstrução/inclinação drenagem de condensado			
3. GABINETE (ACJ) / EVAPORADORA (Split)				
3.1	Verificar e eliminar ruídos anormais e/ou vibrações			
3.2	Testar funcionamento do controle remoto			
3.2	Verificar e limpar se necessário			

Fonte: PMOC – HC-UFPE (2021)

ANEXO B – PLANO TRIMESTRAL DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE AR-CONDICIONADO SPLIT

TRIMESTRAL				
item	Atividade	OK	NA	OBSERVAÇÃO/REGISTRO
1. FILTRO DE AR				
1.1	Limpar ou substituir			
2. BANDEJA				
2.1	Verificar vazamento/obstrução/inclinação drenagem de condensado			
3. GABINETE (ACJ)/ UNIDADE INTERNA (SPLIT)				
3.1	Verificar atuação do termostato e chave seletora			
3.2	Remover e limpar frente plástica			
3.3	Testar funcionamento do controle remoto (SPLIT)			
3.4	Lavar internamente			
4. EVAPORADOR				
4.1	Lavar e remover biofilme com produto biodegradável, registrado no Min. Saúde			
5. CONDENSADOR				
5.1	Lavar e remover incrustações			
5.3	Verificar visualmente vazamentos na serpentina			
6. CIRCUITO ELÉTRICO				
6.1	Verificar capacitores, relés, placas eletrônicas, fiação			
6.2	Verificar todos os contatos(terminais) elétricos, quanto ao aperto e corrosão			
7. MEDIÇÕES (registrar valores)				
7.1	Tensão no compressor, comparando com a nominal			
7.2	Corrente no compressor, comparando com a nominal			
7.3	Temperatura de retorno de ar(entrada)			
7.4	Temperatura de insuflação (saída)			
7.5	Temperaturas de entrada de ar e saída de ar do condensador			
8.Circuito de gás				
8.1	Verificar falhas no isolamento das tubulações			
8.2	Verificar vazamentos de gás (conexões, tubos, etc.)			

Fonte: PMOC – HC-UFPE (2021)

**ANEXO C – PLANO MENSAL DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA DO SISTEMA
AVAC**

MENSAL				
item	Atividade	OK	NA	OBSERVAÇÃO/REGISTRO
1. FILTROS DE AR				
1.1	Limpar ou substituir			
2. CASA DE MÁQUINAS				
2.1	Limpar			
3. GABINETE				
3.1	Inspecionar ruídos e vibrações anormais			
4. INSUFLAMENTO/RETORNO				
4.1	Limpar grelhas			
5. CONDENSADORES				
5.1	Inspecionar ruídos e vibrações anormais			

Fonte: PMOC – HC-UFPE (2021)

**ANEXO D – PLANO TRIMESTRAL DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA DO
SISTEMA AVAC**

item	Atividade	OK	NA	OBSERVAÇÃO/REGISTRO
1. FILTROS DE AR				
1.1	Limpar ou substituir			
1.2	Verificar suporte e frestas			
1.3	Verificar e corrigir ajuste da moldura			
2. CASA DE MÁQUINAS				
2.1	Limpar			
3. GABINETE				
3.1	Inspecionar ruídos e vibrações anormais			
3.2	Inspecionar vazamentos de gás			
3.3	Inspecionar isolamento térmico			
3.4	Verificar entupimento da drenagem			
3.5	Limpar a serpentina e a bandeja do evaporador			
3.6	Verificar e ajustar a tensão da correia.			
3.7	Medir e registrar tensão e corrente compressor			
3.8	Ajustar e registrar o superaquecimento			
4. CONDENSADORES				
4.1	Inspecionar ruídos e vibrações anormais			
4.2	Limpar filtro do variador de frequência			
4.3	Verificar vazamentos na serpentina			
4.4	Verificar limpeza e aperto dos bornes e conexões elétricas			

Fonte: PMOC – HC-UFPE (2021)