

## 25º Encontro Técnico AESABESP

# GERENCIAMENTO DA MANUTENÇÃO ELETROMECÂNICA ESTRUTURADA NAS MELHORES PRÁTICAS EM GESTÃO DE PROJETOS

### **Renato Takahashi<sup>(1)</sup>**

Engenheiro de Controle e Automação, Mestre em Engenharia Elétrica, Especialista em Gerenciamento de Projetos, Coordenador de Manutenção Eletromecânica do SeMAE.

### **Waldo Villani Junior**

Engenheiro Civil e Segurança do Trabalho, Especialista em Engenharia Ambiental, Assessor de Gestão Ambiental do SeMAE.

### **Paulo Roberto Paganelli Dodi**

Engenheiro Civil, Gerente de Operação e Manutenção do SeMAE.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Antonio de Godoy 2181 – Jardim dos Seixas – São José do Rio Preto – SP – CEP: 15061-020 - Brasil - Tel: +55 (17) 3211-8100 - e-mail: rtakahashi@semae.riopreto.sp.gov.br.

## **RESUMO**

O estudo de caso aplicado na ETE Rio Preto envolve a aplicação de metodologias baseadas em quatro visões de manutenção (manutenção chão-de-fábrica, engenharia da manutenção, Manutenção Produtiva Total e manutenção centrada em confiabilidade), possibilitando a criação de ferramentas e técnicas, tais como rotinas de manutenção preventivas e preditivas, gestão de grandes intervenções corretivas, gerenciamento de recursos da manutenção e gestão voltada a índice de confiabilidade de sistemas e índice DEFCON (*Defense Condition*). O desenvolvimento das ferramentas e técnicas foi realizado conforme as melhores práticas em Gerenciamento de Projetos do PMI – *Project Management Institute*, considerando os processos de iniciação, de planejamento, de execução e de controle, e as áreas de conhecimento escopo da manutenção, tempo, recursos da manutenção, qualidade, mudanças, riscos e comunicação, resultando em fluxo de processos que direciona a execução das atividades.

Como resultado obteve-se incremento no índice de confiabilidade da planta da ETE Rio Preto possibilitando a implantação de manutenção chão-de-fábrica mais responsável, o desenvolvimento do Plano Estratégico de Aquisições e Contratações para gerenciamento de recursos necessários à manutenção dos sistemas, elaboração dos Índices de Confiabilidade de Sistemas e DEFCON e a definição de metodologia sistemática para implantação de Gerenciamento da Manutenção baseada em práticas do PMI.

**PALAVRAS-CHAVE:** Manutenção Eletromecânica, Gerenciamento de Projetos, Confiabilidade de Sistemas.

## **INTRODUÇÃO**

O conceito amplo de manutenção engloba a reunião de tudo que se utiliza para manter ou conservar algo, objetivando garantir o seu bom funcionamento. Em sentido restrito, pode-se dividi-la nos seguintes tipos: a) Manutenção chão-de-fábrica; b) Engenharia de manutenção; c) Manutenção Produtiva Total (TPM – *Total Productive Maintenance*) e d) Manutenção centrada em confiabilidade.

A manutenção chão-de-fábrica engloba os serviços diretamente ligados a um equipamento, seja para reparar um dano (ação corretiva), prevenir uma falha determinável (ação preventiva) ou antecipar, por meio de diagnósticos, uma eventual falha (ação preditiva) [1]. Na engenharia da manutenção busca-se determinar as causas que levaram um equipamento a um problema crônico ou mau desempenho, acarretando em modificações de seu projeto [4].

O objetivo da Manutenção Produtiva Total (TPM), implementada em 1970 no Japão, é desenvolver uma manutenção com maior eficiência, envolvendo toda a empresa, baseando-se em cinco pilares: (a) eficiência: atividades que melhoram o rendimento dos equipamentos; (b) auto reparo: incorporação de serviços de manutenção a serem realizados pelos operadores; (c) planejamento: organização de todas as ações de manutenção; (d) treinamento: capacitação de pessoal e aumento de habilidades técnicas e (e) ciclo de vida: gerenciamento das fases de vida do equipamento [4].

O termo confiabilidade é definido como a capacidade de um sistema manter seu funcionamento normal em circunstâncias de rotina, hostis ou inesperadas. Dessa forma, a manutenção centrada em confiabilidade é o processo para determinar os requisitos de manutenção visando analisar a criticidade de um equipamento no seu contexto operacional [3].

O Gerenciamento de Projetos baseado no PMI é desenvolvido considerando processos (iniciação, planejamento, execução, controle, encerramento) e áreas de conhecimento (escopo, tempo, custos, qualidade, recursos humanos, comunicação, riscos, aquisições e integração), resultando em um fluxo de processos que direciona para a execução das atividades do projeto [5].

## METODOLOGIA DESENVOLVIDA

A proposta de Gerenciamento de Manutenção baseada em práticas de Gerenciamento de Projetos desenvolvida neste estudo de caso envolve a definição de processos e áreas de conhecimento. Dessa forma, definiram-se os processos e áreas de conhecimento conforme tabela 1.

**Tabela 1 – Processos e Áreas de Conhecimento**

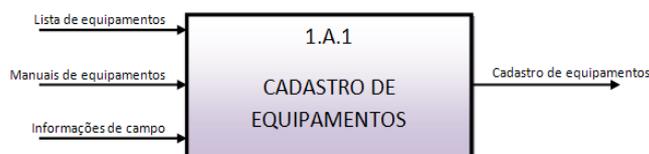
Áreas de Conhecimento	Processos
1 – Gerenciamento do escopo da manutenção	A – Iniciação B – Planejamento C – Execução D – Controle
2 – Gerenciamento dos recursos da manutenção	
3 – Gerenciamento de tempo	
4 – Gerenciamento de qualidade	
5 – Gerenciamento de mudanças	
6 – Gerenciamento de riscos	
7 – Gerenciamento da comunicação	

## PROCESSOS DE INICIAÇÃO

### 1.A.1 – Processo: Cadastro de equipamentos

O ponto inicial para o desenvolvimento de um plano de gestão de manutenção é o reconhecimento das instalações da planta, levantando-se os equipamentos e associando-os às suas unidades de tratamento de esgoto, possibilitando conhecer suas características e o nível de criticidade de sua indisponibilidade no panorama de operação.

Conforme apresentado na figura 1, as entradas deste processo serão a lista de equipamentos, manuais de equipamentos e informações de campo, enquanto que a saída do processo é a reunião de informações dos equipamentos, em uma lista de cadastro única.



**Figura 1 – Processo: Iniciação do Escopo da Manutenção**

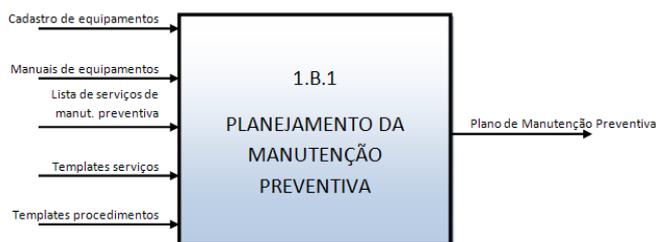
## PROCESSOS DE PLANEJAMENTO

### 1.B.1 – Processo: Planejamento da manutenção preventiva

As rotinas de manutenção são atividades periódicas (diárias, mensais, semestrais, etc) desenvolvidas para as equipes de campo para realização de serviços preventivos e preditivos, dois dos pilares da manutenção chão-de-fábrica.

As rotinas preventivas são prioritariamente diárias, envolvendo verificações e anotações de comportamentos de equipamentos por meio de *checklist*, analisando, dentre outros, sinais de sobreaquecimento em painéis elétricos, necessidade de limpeza de filtros de ar, painéis e salas elétricas, ruídos e vibrações em componentes elétricos, comportamento anormal do sistema elétrico, ruídos e vibrações anormais de máquinas rotativas, necessidade de lubrificação de equipamentos e comportamentos anormais de equipamentos.

Conforme representação na figura 2, as entradas deste processo são: lista de cadastro de equipamentos, manuais de equipamentos, lista de serviços de manutenção preventiva, *templates* de serviços e *templates* de procedimentos. Como saída, obtém-se o Plano de Manutenção Preventiva, que contém todas as informações (serviços, rotinas, procedimentos, equipes, entre outras) necessárias para a realização do objetivo da manutenção preventiva.

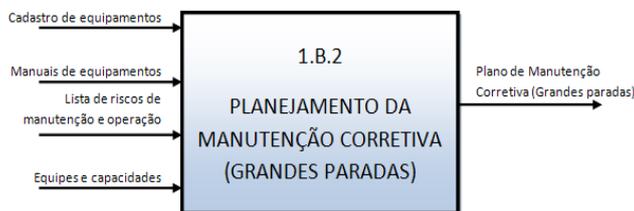


**Figura 2 – Processo: Planejamento da Manutenção Preventiva**

### 1.B.2 – Processo: Planejamento da manutenção corretiva (grandes paradas)

As grandes manutenções são definidas como aquelas em que os riscos operacionais, organizacionais, estruturais e ambientais, quando ocorrem, impactam drasticamente no objetivo final de manutenção. Para minimizar erros durante o período das grandes manutenções, foi criado um plano que considera as ações, equipes, materiais, ferramentas e equipamentos de proteção para sua execução, além de estimativa de prazo das atividades.

Representadas na figura 3, as entradas do processo serão a lista de cadastro de equipamentos, manuais de equipamentos, lista de riscos de manutenção e operação, equipes e capacidades. Como saída, obtém-se o detalhamento do Plano.



**Figura 3 – Processo: Planejamento da Manutenção Corretiva**

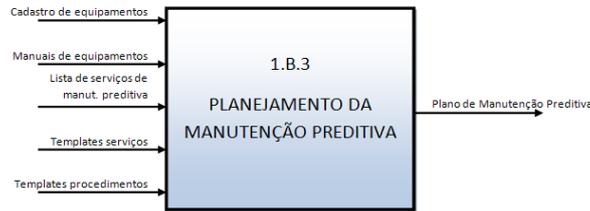
### 1.B.3 – Processo: Planejamento da manutenção preditiva

As rotinas preditivas caracterizam-se por um planejamento mensal, semestral ou anual, utilizando equipamentos de medição, para detecção de problemas futuros, tais como (a) termografia de pontos quentes de sistemas elétricos e equipamentos; (b) análise de vibração dos equipamentos e (c) medição de aterramento elétrico.

Os resultados obtidos refletem na diminuição de ações corretivas e em custos menores. A manutenção ou reparo de algum equipamento, quando necessário, exige um tempo de parada menor, pois as intervenções são

programadas e localizadas em determinada peça ou componente com problema, melhorando a execução da manutenção e prevenindo que outros componentes do equipamento sejam comprometidos, caso ocorra falha.

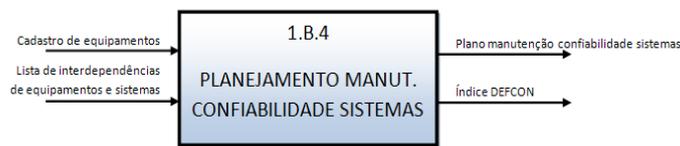
As entradas deste processo são listadas conforme figura 4: lista de cadastro de equipamentos, manuais de equipamentos, lista de serviços de manutenção preventiva, *templates* de serviços e *templates* de procedimentos. A saída é o Plano de Manutenção Preditiva.



**Figura 4 – Processo: Planejamento da Manutenção Preditiva**

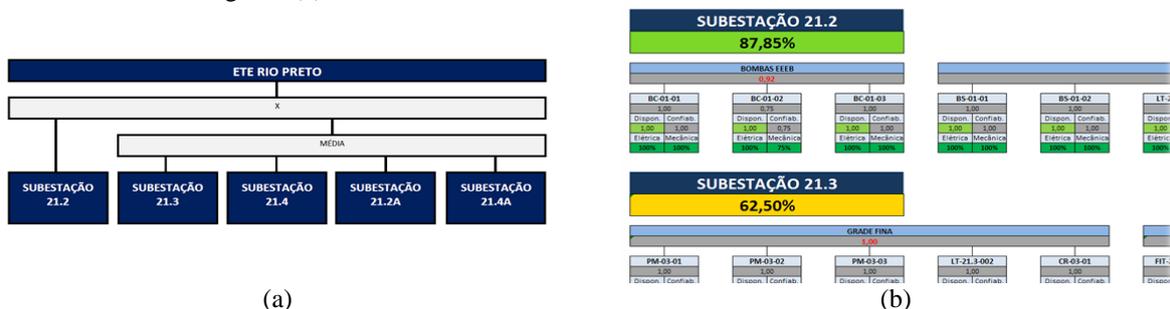
**1.B.4 – Processo: Planejamento manutenção confiabilidade de sistemas**

A definição dos objetos a adquirir e contratar, sobretudo a prioridade de cada um, depende do nível de criticidade em que se encontram as instalações. Em função disso, foi desenvolvida uma ferramenta para analisar a confiabilidade dos sistemas instalados na ETE Rio Preto: o Índice de Confiabilidade de Sistemas. As entradas do processo representado na figura 5 são a lista de cadastro de equipamentos e a lista de interdependências de equipamentos e sistemas, que culminarão em duas saídas: o plano de manutenção por confiabilidade de sistemas e o índice DEFCON.



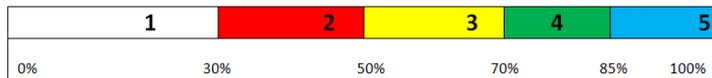
**Figura 5 – Planejamento da Manutenção por Confiabilidade de Sistemas**

Os índices de cada equipamento são calculados em função de sua confiabilidade e disponibilidade em relação à área elétrica ou mecânica e são agrupados de forma a definir um conjunto comum relacionado àquela unidade de tratamento. O nível de criticidade é estabelecido com base nesses conjuntos, que refletem no índice geral de cada subestação elétrica – figura 6(a). O índice geral de confiabilidade é, então, calculado em função da criticidade de cada subestação, sendo a mais crítica aquela em que estão instaladas as bombas de recalque de esgoto bruto, pois qualquer problema nesses equipamentos pode ocasionar uma interrupção de tratamento da ETE Rio Preto – figura 6(b).



**Figura 6 – Árvore de disponibilidade**

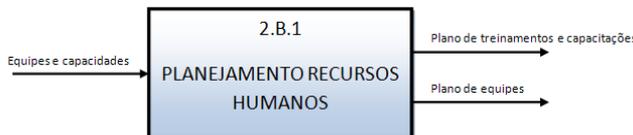
A partir da definição do Índice de Confiabilidade de Sistemas, criou-se o índice DEFCON (Defense Condition), similar ao utilizado pelas Forças Armadas dos Estados Unidos. Assim, a cada percentual do índice de confiabilidade é atribuído um número de índice DEFCON (figura 7). As principais vantagens deste índice são mostrar em um só número qual a situação atual do sistema e disseminar a consciência de condição de defesa ou consciência de “estado de guerra”.



**Figura 7 – Índice DEFCON**

**2.B.1 – Processo: Planejamento recursos humanos**

A gestão dos recursos humanos, representado na figura 8, envolve a prática de reconhecimentos das pessoas, a participação em treinamentos de capacitação técnica e o atendimento às necessidades básicas das equipes.



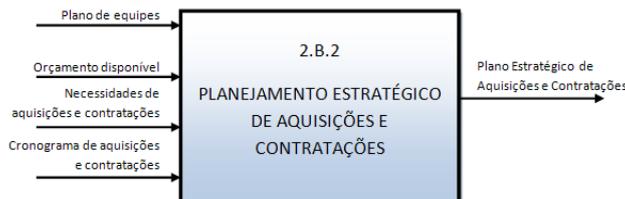
**Figura 8 – Processos da área de recursos humanos e planejamento**

**2.B.2 – Processo: Planejamento estratégico de aquisições e contratações**

Os recursos da manutenção afetam diretamente as ações de chão-de-fábrica e, por isso, devem ser gerenciadas, minimizando problemas com: (a) insatisfação das pessoas e desmotivação de equipes, (b) falta de materiais para execução de serviços, (c) falta de ferramentas e equipamentos de proteção e (d) comunicação entre os setores relacionados à manutenção.

O gerenciamento de recursos materiais engloba o planejamento e a execução de processos para aquisição de materiais e equipamentos e contratação de serviços especializados. Dessa forma, estabeleceu-se a cada início de semestre um Plano Estratégico para Aquisições e Contratações, que considera, dentre outros assuntos, relação de principais aquisições de materiais, de principais contratações de serviços especializados, de principais aquisições de peças sobressalentes e equipamentos reservas, lista de contratos de serviços contínuos, responsável por cada atividade, estimativa de custos, cronograma de execução e *flags* de feedback.

Dessa forma, são entradas do processo da figura 9: plano de equipes, orçamento disponível, necessidades de aquisições e contratações, cronograma de aquisições e contratações.



**Figura 9 – Processos da área de recursos humanos e planejamento**

Como saída, tem-se o Plano estratégico de aquisições e contratações, exemplificado na figura 10.



### 5.B.1 – Processo: Identificação de riscos de manutenção e operação

A definição de riscos de operação e de manutenção (figura 14) é indispensável para que o desenvolvimento dos Planos de Manutenção seja bem sucedido. As entradas deste processo são as listas de pontos críticos de operação e manutenção dos sistemas, envolvendo questões operacionais, de segurança, ambientais e organizacionais.

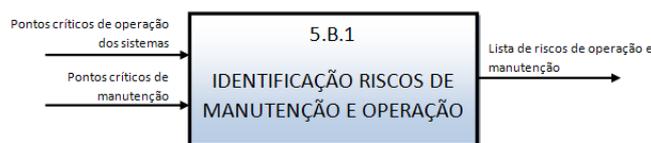


Figura 14 – Processo da área de riscos e planejamento

### 7.B.1 – Processo: Planejamento da comunicação

No processo de planejamento da comunicação (figura 15) são desenvolvidas as formas de transmitir as mensagens a todos os envolvidos com o setor de manutenção. Além disso, deve-se considerar os recursos organizacionais, que envolvem como o setor de manutenção inter-relacionará com os demais setores envolvidos (operação, administrativo, gerências e superintendência), e a lista de reportes necessários.

Dessa forma, estabelece-se um plano de comunicação entre os envolvidos, podendo englobar os diversos meios de transmissão de mensagens: e-mail, telefone, quadro de aviso (*kanban*), documento interno, etc.

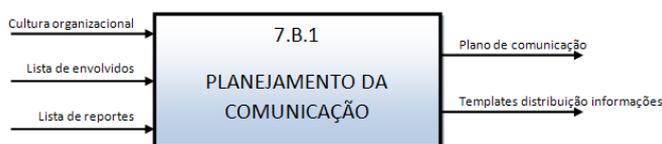


Figura 15 – Processos da área de comunicação e planejamento

## PROCESSOS DE EXECUÇÃO

### 1.C.1 – Processo: Dinâmica – manutenção preventiva

Este processo, representado na figura 16, trata da execução do Plano de manutenção preventiva, tendo como saídas as demandas de serviços realizadas, bem como as informações para manutenções corretivas que forem detectadas a partir das atividades do Plano.

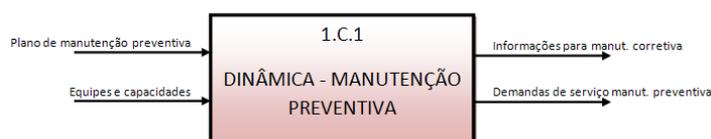


Figura 16 – Processos da área de escopo de manutenção e execução

### 1.C.2 – Processo: Dinâmica – manutenção corretiva

Neste processo representado na figura 17 é colocado em prática o Plano de manutenção corretiva, tendo como saídas, além das demandas de serviços, os resultados da manutenção (equipamento disponível, com restrição, etc) e a lista de lições aprendidas, que deverão ser utilizadas nas próximas ações de manutenção.

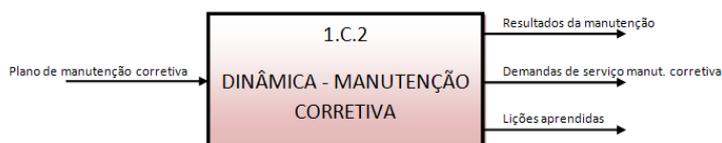
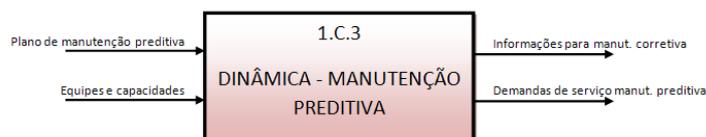


Figura 17 – Processos da área de escopo de manutenção e execução

### 1.C.3 – Processo: Dinâmica – manutenção preditiva

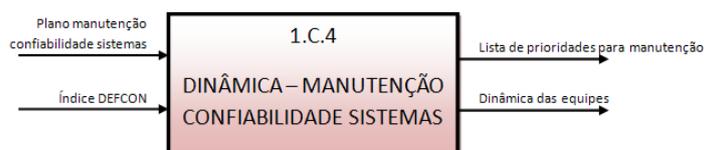
O processo representado na figura 18 tem como entradas o plano de manutenção preditiva e as equipes e capacidades e, como saídas, as demandas de serviços realizadas, bem como informações para manutenções corretivas que forem detectadas.



**Figura 18 – Processos da área de escopo de manutenção e execução**

### 1.C.4 – Processo: Dinâmica – manutenção confiabilidade de sistemas

O processo de execução da manutenção por confiabilidade de sistemas, representado na figura 19, consiste em avaliar os índices de confiabilidade e DEFCON para definição de prioridades de manutenção (meta e método) e alteração de dinâmica e comportamento de equipes.



**Figura 19 – Processos da área de escopo de manutenção e execução**

Observou-se que, de acordo com o índice DEFCON, o comportamento das equipes alterava-se consideravelmente, conforme informações da tabela 2.

**Tabela 2 – Comportamento e dinâmica de equipes de acordo com índice DEFCON**

Índice DEFCON	Comportamentos/Dinâmica
DEFCON 1 (estado de guerra):	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Profissionais com nível de conforto baixíssimo, estresse altíssimo, em prontidão para resolução do(s) problema(s) que ocasionou(aram) a situação.</li> <li>- Planejamento para ações estratégicas do setor fica suspenso.</li> <li>- Decorre de uma quebra inesperada de equipamento, envolvendo ações corretivas que resultam em paradas operacionais prolongadas e custos elevados de materiais e mão-de-obra (horas extras).</li> <li>- As rotinas de manutenção de chão-de-fábrica são suspensas.</li> </ul>
DEFCON 2 (estado de alerta máximo):	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Profissionais com nível de conforto baixo, estresse alto, em prontidão para resolução do(s) problema(s) que ocasionou(aram) a situação, pois qualquer outra falha em equipamento ou subsistema levará à condição anterior.</li> <li>- O planejamento de ações estratégicas do setor é mínimo.</li> <li>- Decorre também de uma quebra inesperada de equipamento, envolvendo ações corretivas que resultam em paradas operacionais prolongadas e custos elevados de materiais e mão-de-obra (horas extras).</li> <li>- As rotinas de manutenção de chão-de-fábrica são mínimas.</li> </ul>
DEFCON 3 (estado de alerta normal):	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Profissionais com nível de conforto moderado, estresse moderado.</li> <li>- A maior parte das ações é voltada para o planejamento estratégico, de modo a evitar falhas no sistema que rebaixem a sua condição.</li> <li>- As ações corretivas são localizadas, os custos envolvidos nas paradas operacionais são minimizados.</li> <li>- As rotinas de manutenção de chão-de-fábrica são predominantes.</li> </ul>
DEFCON 4 (estado de alerta mínimo):	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Profissionais com nível de conforto alto, estresse baixo.</li> <li>- As ações são voltadas para o planejamento estratégico, de modo a evitar falhas no sistema que rebaixem a sua condição.</li> <li>- As ações corretivas são localizadas e mínimas, os custos envolvidos nas paradas operacionais são minimizados.</li> <li>- As rotinas de manutenção de chão-de-fábrica são predominantes.</li> </ul>
DEFCON 5 (estado de paz):	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Profissionais com nível de conforto altíssimo, estresse baixíssimo.</li> <li>- As ações são voltadas para o planejamento estratégico, de modo a evitar falhas no sistema que rebaixem a sua condição, propondo também ações de melhoria.</li> <li>- As ações corretivas são localizadas e mínimas, os custos envolvidos nas paradas operacionais são minimizados.</li> <li>- As rotinas de manutenção de chão-de-fábrica são predominantes.</li> </ul>

### 2.C.1 – Processo: Desenvolvimento de equipes

O processo de desenvolvimento de equipes, esquematizado na figura 20, consiste em executar o planejamento para capacitação e treinamento das equipes, objetivando melhorar o rendimento técnico dos membros da equipe.

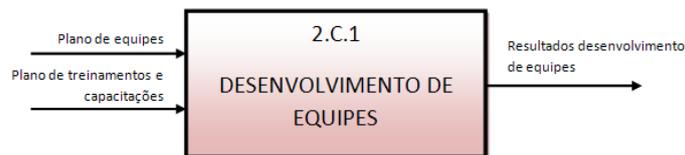


Figura 20 – Processo da área de recursos humanos e execução

### 7.C.1 – Processo: Distribuição das informações

O processo de distribuição das informações, representado na figura 21, consiste em reunir as informações atualizadas que deverão ser transmitidas e os principais envolvidos no Plano de Comunicação e realizar o processo de disseminação das informações.

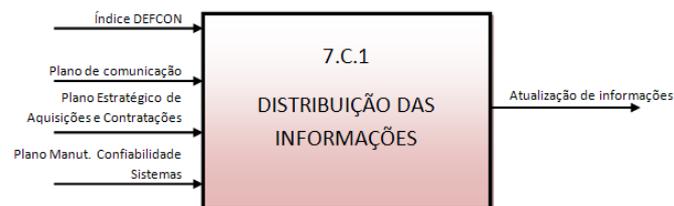


Figura 21 – Processos da área de comunicação e execução

Para disseminação do conhecimento das ferramentas, criou-se um quadro *kanban* (figura 22-a) apresentando os resultados dos índices, tais como índice atual, melhor e pior, índice DEFCON, índice de cada subsistema, melhor índice do mês anterior e meta a ser alcançada no mês.



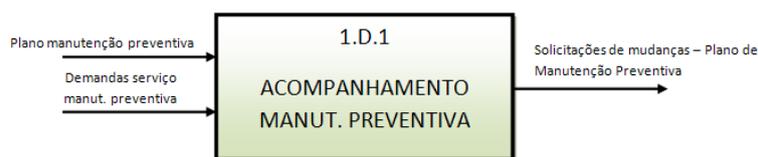
Figura 22 – Kanban para apresentação dos resultados

A definição da meta do mês foi importante para que a equipe envolvida tivesse um objetivo a seguir, estabelecendo, assim, os métodos para alcançá-la, classificando-os em UI (urgente e importante), NUI (não-urgente e importante), UNI (urgente e não-importante) e NUNI (não-urgente e não-importante) representados na figura 22-b.

## PROCESSOS DE CONTROLE

### 1.D.1 – Processo: Acompanhamento manutenção preventiva

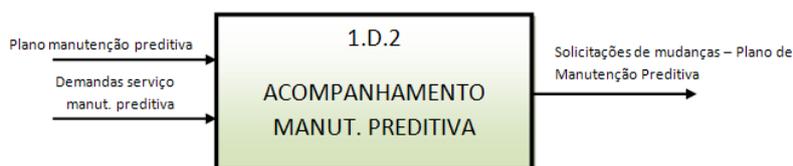
O processo de acompanhamento da manutenção preventiva, representado na figura 23, consiste em contrapor o Plano inicialmente estabelecido e as demandas de serviços geradas, para que o gestor possa analisar se o plano está sendo executado conforme o planejamento ou se há necessidade de mudanças.



**Figura 23 – Processos da área de escopo de manutenção e controle**

1.D.2 – Processo: Acompanhamento manutenção preditiva

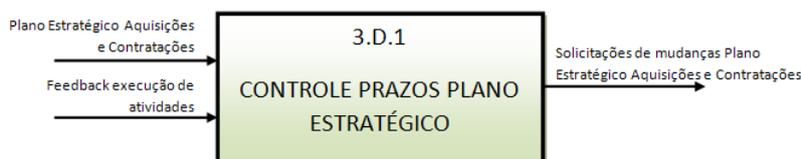
Assim como no processo de acompanhamento de manutenção preventiva, representado na figura 24, contrapõe-se o plano de manutenção preditiva inicialmente estabelecido e as demandas de serviços preditivos geradas, possibilitando análise de atendimento ao plano ou solicitações de mudanças.



**Figura 24 – Processos da área de escopo de manutenção e controle**

3.D.1 – Processo: Controle de prazos do Plano Estratégico de Aquisições e Contratações

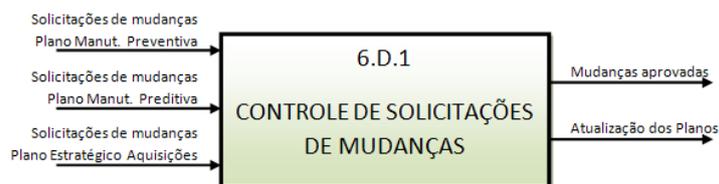
Para que as atividades do Plano Estratégico de Aquisições e Contratações sejam realizadas conforme o cronograma inicial, é necessária a presença de um gestor do plano, profissional que solicitará feedback da equipe sobre andamento de atividades e dificuldades enfrentadas e retornará com ações a serem tomadas com a finalidade de restabelecer a curva de progresso inicial do plano ou com solicitações de mudanças para o Plano (figura 25).



**Figura 25 – Processo da área de tempo e controle**

6.D.1 – Processo: Controle de solicitações de mudanças

O processo de controle de solicitações de mudanças (figura 26) consiste na reunião de todas as solicitações obtidas ao longo do planejamento e execução dos Planos de Manutenção Preventiva, Preditiva e do Plano Estratégico de Aquisições e Contratações para análise e validação de um comitê, resultando em mudanças aprovadas e atualizações dos respectivos Planos.

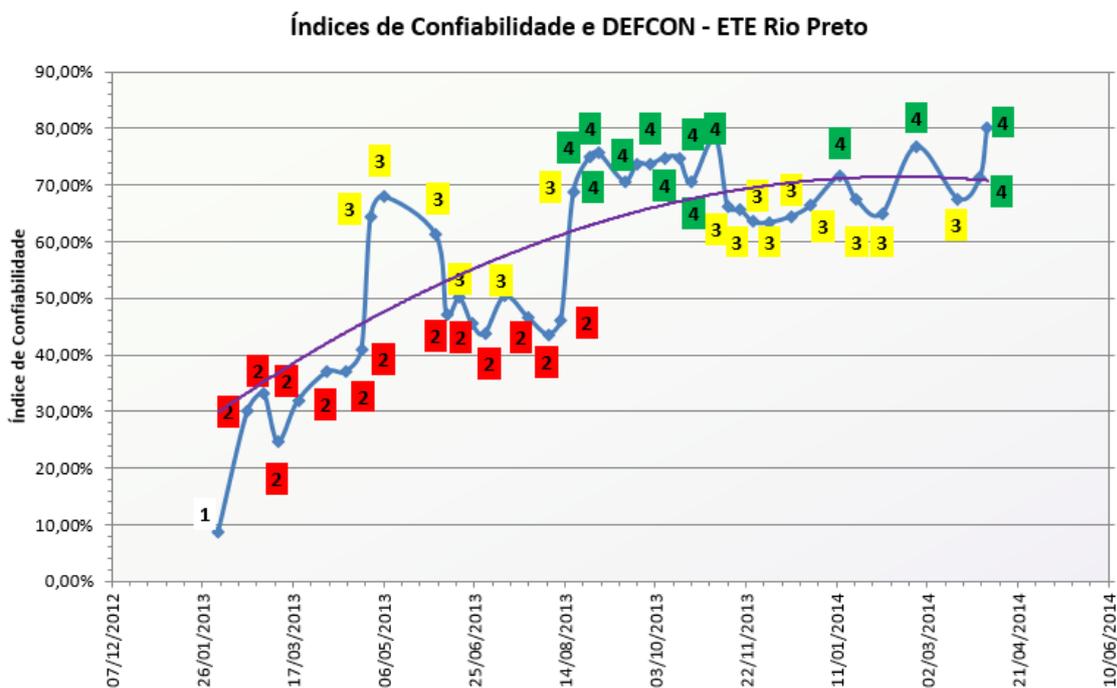


**Figura 26 – Processos da área de solicitações de mudanças e controle**

## RESULTADOS

Como resultado desde a implantação dessa metodologia de Gerenciamento de Manutenção, conforme representado na figura 27, houve um aumento no índice de confiabilidade do sistema ETE Rio Preto, evoluindo de 8,78%, na pior situação medida, em fevereiro de 2013, para 80,06% em abril de 2014, mês em que apresentou melhor situação. Observa-se que o Índice de Confiabilidade é dinâmico, podendo oscilar significativamente em função de manutenções em equipamentos de grande importância para o sistema,

causando vales na curva do gráfico temporal do Índice de Confiabilidade. Assim, a análise de tendência do índice deve ser utilizada para verificação de atendimento aos objetivos estabelecidos a médio e longo prazo, considerando que as outras ferramentas desenvolvidas deverão estar em plena execução e desenvolvimento.



## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. ALMEIDA, M. T.; Manutenção preditiva: confiabilidade e qualidade, Universidade Federal de Itajubá.
2. DA SILVA BUENO, A. A Arte da Guerra: os treze capítulos originais / Sun Tzu, tradução e adaptação de André da Silva Bueno, Jardim dos Livros, São Paulo, 2011.
3. FRANZ, L.A. FMEA – Análise dos Modos de Efeitos de Falhas, 4º Encontro de Manutenção da UFRGS, 2007.
4. GAIDZINSKI, A; CUNHA, E. Excelência na gestão da manutenção através da aplicação dos conceitos da manufatura enxuta.
5. PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (PMI). A Guide to the Project Management Body of Knowledge – PMBoK® Guide 2000 Edition.