

# INDICADORES DE EFICIÊNCIA, EFICÁCIA E EFETIVIDADE DA MANUTENÇÃO

Autor: Iony Patriota de Siqueira (1)

## Resumo

A programação e execução da manutenção fazem parte do planejamento empresarial de qualquer indústria, com reflexos na receita operacional, lucros e demais resultados financeiros. Para avaliar estes aspectos, propõe-se um conjunto de indicadores destinados a mensurar a qualidade dos processos de manutenção. Objetiva-se quantificar a Eficiência, Eficácia, Efetividade, Produtividade e Qualidade das ações da manutenção, sob a ótica do planejamento empresarial. Partindo de definições genéricas destes termos, derivadas da teoria do planejamento, o informe define métodos e fórmulas gerais para sua avaliação, aplicados às atividades de manutenção. A forma genérica e adimensional destes indicadores facilita seu entendimento e generalização a qualquer conjunto de atividades sistemáticas de planejamento. Um estudo de caso ilustra sua aplicação em uma empresa do setor elétrico brasileiro, com mais de 80 instalações de alta e extra-alta tensão. Sugere-se sua extensão a outras áreas de planejamento.

## 1 - Introdução

Um dos grandes desafios da Gestão da Manutenção é conceber sistemas de avaliação que permitam não só o acompanhamento das ações dos diversos programas, mas que forneçam indicadores de qualidade para todo o processo da manutenção, incluindo as fases de programação e execução, e sua contribuição para o desempenho empresarial. Como em toda atividade de planejamento, na programação da manutenção podem ocorrer desvios consideráveis em relação aos planos originais, de curto, médio e longo prazo. Além das incertezas da fase de planejamento, decorrentes do desconhecimento de mecanismos de falhas dos ativos da empresa, outras variáveis, de caráter aleatório, podem impedir o cumprimento das manutenções programadas, ditadas por imprevistos e falhas no sistema de produção. Em especial, a aleatoriedade de muitos mecanismos de falha, principalmente em instalações automatizadas, dificulta a previsão de manutenções preventivas, afetando a qualidade da manutenção.

A descentralização entre as fases de programação e execução, comum nas grandes empresas, também introduz oportunidades de variações nas atividades planejadas e executadas, inexistentes nas pequenas empresas. Mais do que comprometer a produção e aumentar os riscos para os clientes, os

---

<sup>1</sup> Rua José Nunes da Cunha, 5336, Apto 701A- CEP 54440-030 – Bairro de Candeias – Jaboatão - PE - BRASIL Tel.: +55 (081) 34692528 - Fax: +55 (081) 34692528 - e-mail: iony@tecnix.com.br

desvios podem ameaçar o atendimento de metas empresariais, ou compromissos definidos na legislação e regulamentos setoriais, com reflexos no resultado empresarial.

Como toda atividade empresarial, a manutenção deve obedecer a critérios explícitos de Eficiência, Eficácia, Efetividade, Produtividade e Qualidade, que a tornem economicamente atrativa. Embora bastante difundidos na literatura e meio empresarial, estes termos carecem de definições exatas, que facilitem sua aplicação nesta e em outras áreas. Este trabalho propõe definições formais sobre estes termos, visando sua aplicação no ambiente da manutenção. As definições são genéricas, derivadas da teoria do planejamento empresarial, e aplicáveis a qualquer área de atividade empresarial. Em particular, são ilustradas para o planejamento e avaliação das atividades de manutenção.

Com base nas definições originais, propõe-se inicialmente alguns indicadores genéricos, com sua função matemática, para mensurar a Eficiência, Eficácia, Efetividade, Produtividade e Qualidade de qualquer processo de planejamento. A forma adimensional destes indicadores facilita seu entendimento e generalização a qualquer conjunto de atividades. Sua aplicação à manutenção será exemplificada na mensuração dos processos de programação, execução e avaliação de atividades preventivas e corretivas. Para o primeiro processo, Programação, os indicadores avaliarão o grau de aderência entre as atividades programadas e executadas. Para o segundo processo, Execução, serão avaliados os resultados obtidos com a realização da manutenção. Finalmente, no terceiro processo, Avaliação, a qualidade de todo o planejamento será analisada.

A forma de avaliação destes indicadores, baseados em conceitos universais, facilita sua correlação com indicadores tradicionais de desempenho empresarial, e com muitas outras áreas de planejamento. Aplicações típicas incluem o planejamento de intervenções, programas de paradas de máquinas, comissionamento de instalações, etc. O trabalho ilustra ainda a maneira como os indicadores podem ser estratificados por região, linha de produção, responsabilidade técnica, gerencial, por especialidade e equipamentos, facilitando sua avaliação sob diferentes visões. As definições permitem também expressar cada indicador segundo diferentes unidades de medida, tais como tempos de indisponibilidade, receita, lucro, custo, etc. Descrevem-se os conceitos e fórmulas de cálculo de cada indicador, ilustrando sua aplicação no planejamento de manutenção, e na avaliação dos planos de manutenção de equipamentos. O trabalho encerra-se com um estudo de caso de aplicação no planejamento anual de manutenção nas instalações da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF), e com uma proposta de extensão dos conceitos a várias áreas de planejamento empresarial.

## **2 - Conceituação**

O monitoramento de qualquer sistema depende da correta definição de itens de controle e indicadores de resultados, conforme o interesse do avaliador. Quando o sistema observado é o próprio processo de planejamento, os indicadores devem refletir os resultados das etapas de programação e execução de atividades, mas também medir o atendimento aos objetivos do planejamento, todos responsáveis pela qualidade do processo. A figura a

seguir ilustra a composição típica de um processo de planejamento, fracionado nos seguintes subprocessos:

- **Programação** – atividades destinadas à geração de planos necessários ao atingimento dos objetivos do planejamento. A qualidade deste processo será resultante da coerência dos planos de ações com os objetivos do planejamento;
- **Execução** – atividades destinadas à geração dos resultados de acordo com os planos de ação. A qualidade será decorrente da aderência das ações executadas com o objeto do planejamento; e
- **Avaliação** – atividades destinadas à comparação dos resultados obtidos com os objetivos do planejamento, cuja qualidade será fruto da coerência das ações executadas com as ações e objetivos planejados.

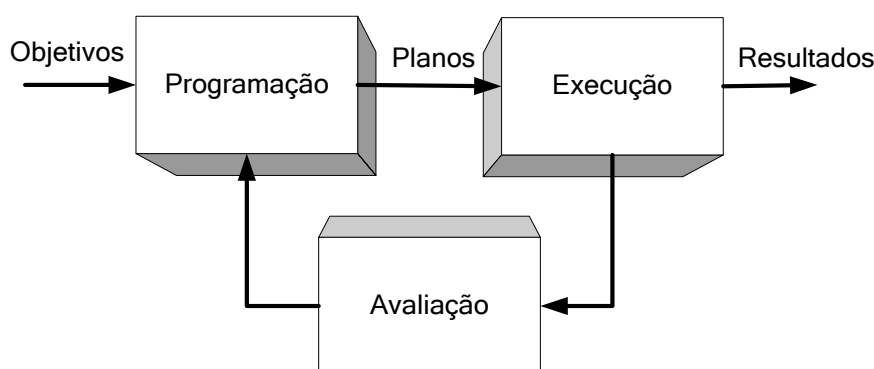


Figura I – Processo de Planejamento

Estes processos podem ser avaliados pelos seguintes fatores de qualidade, desejáveis para o planejamento de manutenção:

- **Eficiência** – Característica do processo de planejamento relacionada à abrangência das ações programadas no universo de ações de planejamento.
- **Eficácia** – Característica do processo de planejamento relacionada à aderência das ações executadas, em relação ao universo de ações de planejamento.
- **Efetividade** – Característica do processo de planejamento relacionada à coerência entre as ações executadas e o plano de ações, no universo de ações de planejamento.
- **Produtividade** – Característica do processo de planejamento associada à relação entre os resultados alcançados e as ações e recursos utilizados para alcançá-los.
- **Qualidade** – Característica do processo de planejamento relacionada à consistência entre as ações programadas e realizadas, com os resultados obtidos.

O universo de ações de planejamento deverá englobar todas as medidas a serem programadas e/ou executadas, e os resultados alcançados, relacionados aos objetivos do planejamento. Para isto, serão adotadas as seguintes definições:

- **Universo de Planejamento** – Conjunto de todas as ações possíveis de programação e execução, de manutenções preventivas e corretivas, em um conjunto de ativos.
- **Período de Referência** – Intervalo de tempo (semana, mês, trimestre, ano, etc.) tomado como referência para efeito de avaliação das etapas de programação e execução do planejamento.
- **Falha Potencial** – Defeito incipiente em um componente ou ativo, que não inviabiliza de imediato sua função, mas que, caso não seja corrigido, poderá evoluir para uma falha funcional.
- **Falha Funcional** – Interrupção da função de um componente ou ativo, que inviabiliza de imediato sua função, até que seja restaurado por uma ação corretiva.
- **Plano de Ação** - Instrumento de planejamento periódico, emitido por entidade normativa de planejamento, contendo o elenco de ações programadas no sistema objeto, para o período de referência.
- **Ações Programadas** – {AP} - Conjunto de manutenções preventivas, constantes do Plano de Ação, para um período de referência, incluindo ações preditivas, restaurações, substituições, inspeções, ensaios, etc.
- **Ações Realizadas** - {AR} - Conjunto de manutenções preventivas efetivamente realizadas no sistema objeto, em um Período de Referência, incluindo ações não programadas mas executadas para correção de Falhas Potenciais.
- **Ações Corretivas** - {AC} - Conjunto de manutenções corretivas realizadas no sistema objeto, em um período de referência, para correções de falhas potenciais ou funcionais. Uma ação corretiva pode ocorrer durante uma manutenção preventiva, quando da identificação de uma falha potencial.

### 3 - Processo de Programação

O processo de programação pode ser visualizado através de um diagrama de Venn (Figura II), representando os conjuntos de ações programadas e realizadas, no universo de planejamento, em um dado período de referência.

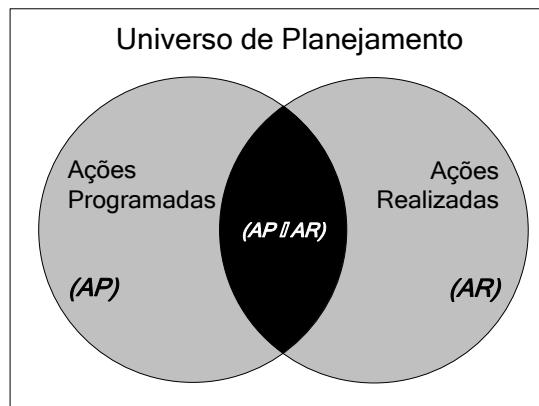


Figura II – Diagrama de Venn da Programação

Em uma situação ideal, os conjuntos  $\{AP\}$  e  $\{AR\}$  seriam idênticos, havendo perfeita correlação das ações executadas com as ações planejadas. Na prática, as imperfeições do processo, de origem internas à programação e execução, ou externas, oriundas do meio ambiente ou de agentes fora do controle do planejador, geram diferenças entre estes conjuntos, reduzindo a qualidade do planejamento.

Para medir a eficiência do processo de programação, será útil associar um universo de referência ao conjunto união dos itens programados e executados,  $\{AP \cup AR\}$ , para avaliação destes indicadores. Propõe-se então que a Eficiência do Planejamento seja medida por um índice de Eficiência Programática ou Normativa, assim definido

$$Eficiência\ Normativa = \frac{AP}{AP \cup AR} \cdot 100\%$$

Este índice traduz a fração da base de planejamento resultante de ações planejadas. Quanto maior for o índice de Eficiência, maior será a coerência entre o Plano de Ação, e o universo de ações de planejamento. Índices de eficiência elevados não significam necessariamente que todas as atividades programadas são executadas, mas que a programação foi eficiente o suficiente para incluir a maioria das atividades do conjunto universo de referência. Nesta e nas demais expressões matemáticas, a referência a um conjunto designará o número de seus elementos, devendo cada elemento ser computado apenas uma vez na soma total de intervenções.

De maneira análoga, a Eficácia do Planejamento será medida por um índice de Eficácia Programática ou Normativa, assim definido

$$Eficácia\ Normativa = \frac{AR}{AP \cup AR} \cdot 100\%$$

Este índice traduz a fração do conjunto universo de referência resultante de manutenções preventivas efetivamente realizadas. Quanto maior for o índice de Eficácia, maior será a aderência entre as ações efetivamente executadas, e o universo de ações de planejamento de manutenção.

Finalmente, a Efetividade da Programação será medida por um índice de Efetividade Programática ou Normativa, assim definido

$$EfetividadeNormativa = \frac{AP \cap AR}{AP \cup AR} \cdot 100\%$$

Este índice traduz a fração do universo de referência resultante de ações simultaneamente planejadas e executadas. Quanto maior for o índice de Efetividade, maior será a coerência entre as ações executadas e aquelas planejadas, no universo de ações de planejamento. A efetividade depende diretamente da eficiência e eficácia, como comprova a expressão seguinte, derivada das definições anteriores

$$EfetividadeNormativa = EficiênciaNormativa + EficáciaNormativa - 100\%$$

Esta relação pode ser representada pela superfície triangular de um prisma em um espaço tridimensional, cujos eixos correspondem às medidas de Eficiência, Eficácia e Efetividade da programação, conforme figura a seguir:

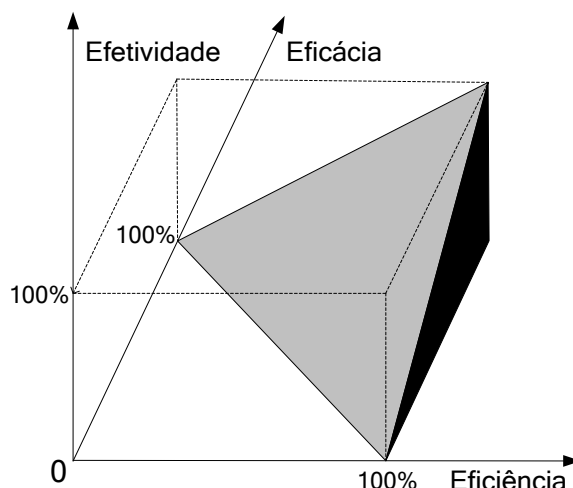


Figura III – Representação Tridimensional

Um ábaco bidimensional também pode ser utilizado, para cálculo direto de qualquer destes valores, em função dos demais, conforme ilustrado na figura a seguir. Partindo de um triângulo isósceles qualquer, desenham-se dois triângulos similares com ângulos e arestas congruentes, em lados opostos, com alturas iguais aos valores de eficiência e eficácia de um plano. A superposição destes triângulos produz um triângulo similar, cuja altura será a efetividade do processo. Note-se a possibilidade desta interseção inexistir, ou seja, a efetividade ser nula, mesmo em um programa com eficiência e eficácia positivas.

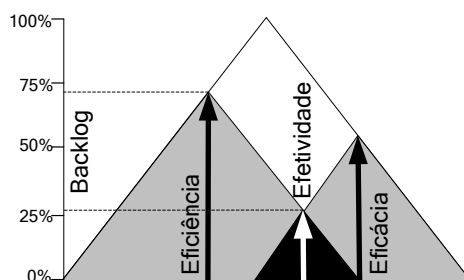


Figura IV – Ábaco de Avaliação

Em uma situação ideal, em um ambiente de planejamento perfeito, todos estes índices terão valores máximos de 100%, ou seja, perfeita coerência entre ações planejadas e executadas.

Outros indicadores tradicionais da manutenção podem ser avaliados utilizando estes conceitos, tais como o nível de descumprimento do programa de manutenção ou o Backlog, como o conjunto de manutenções programadas, mas não realizadas em um período:

$$Backlog = AP - AR$$

ou como um percentual das ações do universo de referência

$$Backlog = \frac{AP - AR}{AP \cup AR} \cdot 100\%$$

É evidente que o Backlog diminuirá com o aumento da efetividade, como demonstra a expressão seguinte, derivada das definições acima, e ilustrado na Figura IV.

$$Backlog = Eficiência Normativa - Efetividade Normativa$$

O Backlog pode ser causado por atrasos na execução da manutenção, ou por imprevisão do processo de programação. Um índice de Imprevisão da Programação pode ser avaliado pelo conjunto de atividades executadas mas não planejadas, definido por

$$Imprevisão Normativa = \frac{AR - AP}{AP \cup AR} \cdot 100\%$$

Pelas expressões anteriores, a imprevisão é o resultado da diferença entre a eficiência e eficácia da programação, ou seja

$$Imprevisão Normativa = Eficácia Normativa - Efetividade Normativa$$

podendo ser relacionada também ao Backlog por

$$Efetividade Normativa = 100\% - Imprevisão Normativa - Backlog$$

Ou seja, o Backlog e a Imprevisão contribuem para reduzir a efetividade da programação em relação ao valor desejado de 100%. Estes indicadores podem

ainda ser avaliados tomando como base não só a quantidade de itens em cada conjunto, mas eventualmente ponderados por taxas de retorno que associem pesos relativos a cada evento, tal como produção interrompida, custo por atividade, recursos humanos por atividade, etc. Neste caso, pode-se também eliminar o fator de conversão percentual (100%), bem como o denominador  $\{AC \cup AR\}$  comum a todos os indicadores, produzindo indicadores totalizados para custeio, produção, recursos, etc., do processo de planejamento. Estes indicadores podem ser estratificados por vários critérios, regionalizados ou especializados, segundo a atividade de execução de manutenção.

#### 4 - Processo de Execução

A execução da manutenção pode ser avaliada pelos mesmos princípios, usando as atividades executivas de manutenção preventiva como Ações Realizadas  $\{AR\}$  e manutenções corretivas como Ações Corretivas  $\{AC\}$ . Neste sentido, pode-se associar as ações corretivas com os resultados desejados da manutenção, uma vez que representam a eliminação de falhas, objetivo principal da manutenção. Assim, o universo de avaliação poderá ser composto dos seguintes conjuntos de eventos, em um período de referência:

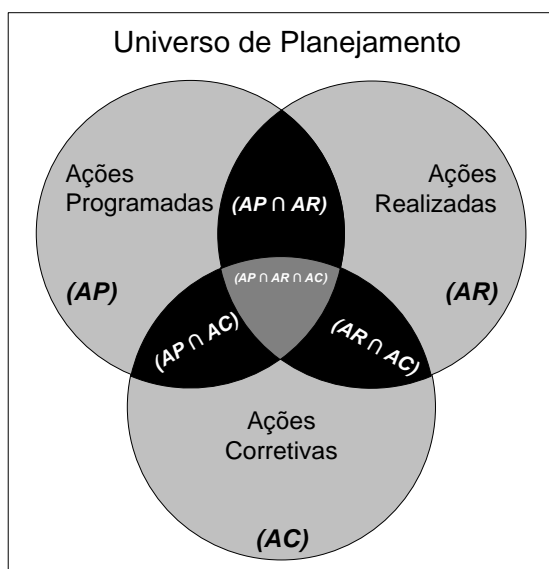


FIGURA V – Diagrama de Venn – Processo de Execução

Os itens de manutenção preventiva poderão incluir todas as ações executivas realizadas, visando evitar falhas funcionais, incluindo aquelas para correção de defeitos identificados em inspeções preditivas. As ações corretivas serão aquelas efetivamente realizadas para correção de falhas, programadas ou não, potenciais ou funcionais, após sua ocorrência ou identificação.

Segundo a conceituação já definida, pode-se então definir os índices de Eficiência, Eficácia e Efetividade do Processo de Execução da Manutenção, de maneira análoga ao Processo de Programação. A Eficiência da Execução da Manutenção será medida por um índice de Eficiência Executiva, definido pela expressão:

$$Eficiência\ Executiva = \frac{AR}{AR \cup AC} \cdot 100\%$$



Quanto maior for o índice de Eficiência Executiva, maior será a coerência da execução da manutenção, no universo de ações de planejamento. Uma eficiência de 100% demonstraria que todas as manutenções realizadas eram absolutamente suficientes para correção de defeitos.

A Eficácia do Processo de Execução da Manutenção será medida por um índice de Eficácia Executiva, (ou Produtividade Executiva) assim definido

$$EficáciaExecutiva = \frac{AC}{AR \cup AC} \cdot 100\%$$

Quanto maior for o índice de Eficácia da Execução, maior será a aderência entre as ações corretivas executadas, e o universo de ações executivas de manutenção. Uma eficácia executiva de 100% demonstraria que todas as manutenções realizadas eram estritamente necessárias para correção de defeitos, preventivos ou não. Este índice também afere a Produtividade do processo de execução, ao relacionar os resultados obtidos da manutenção (representados pelas falhas funcionais corrigidas) com o esforço dispendido para sua correção (representado pelas manutenções realizadas). Note-se que o denominador avalia todo esforço realizado na execução, em atividades preventivas e corretivas. O numerador contabiliza o total de defeitos corrigidos pela manutenção. Quanto maior for o índice de Produtividade Executiva, maior será o número de falhas potenciais corrigidas durante a execução da manutenção preventiva, evitando a ocorrência de falhas funcionais, no universo de itens de planejamento. Uma Produtividade Executiva de 100% demonstraria que todas as manutenções preventivas realizadas corrigiram defeitos e evitaram falhas futuras. Ou seja, não houve desperdício na manutenção e todas as atividades foram produtivas.

Finalmente, a Efetividade do Processo de Execução da Manutenção será medida por um índice de Efetividade Executiva, assim definido

$$EfetividadeExecutiva = \frac{AR \cap AC}{AR \cup AC} \cdot 100\%$$

Quanto maior for o índice de Efetividade Executiva, maior será a coerência entre as ações efetivamente executadas e aquelas necessárias para correção de defeitos, no universo de ações de planejamento. Uma efetividade executiva de 100% demonstraria que todas as manutenções executadas eram absolutamente necessárias e suficientes para correção de defeitos, preventivos ou não. A efetividade executiva depende diretamente da eficiência e eficácia executivas, como comprova a expressão seguinte, derivada das definições anteriores

$$EfetividadeExecutiva = Eficiência Executiva + EficáciaExecutiva - 100\%$$

Esta relação pode ser representada também por uma superfície triangular de um prisma em um espaço tridimensional, e por um ábaco bidimensional, similares às Figuras II e III.

Na situação ideal, em um ambiente de manutenção perfeito, todos estes índices terão valores máximos de 100%, ou seja, perfeita coerência entre ações preventivas e corretivas. Esta situação só seria possível com o conhecimento antecipado do instante de ocorrência de cada falha. Também neste caso, os indicadores de manutenção podem ainda ser avaliados tomando como base a quantidade de itens em cada conjunto, ou eventualmente ponderados por taxas de retorno que associem um peso relativo a cada evento, tal como produção interrompida, custo variável, recursos utilizados, etc. Neste caso, pode-se também eliminar o fator de conversão percentual (100%) no numerador e o denominador  $\{AC \cup AR\}$  comum a todos os indicadores, produzindo uma avaliação dimensional do processo de manutenção.

A exemplo do Processo de Programação, pode-se definir também os indicadores de Desperdício e Imprevisão Executivas:

$$DesperdícioExecutivo = \frac{AR - AC}{AR \cup AC} \cdot 100\%$$

$$ImprevisãoExecutiva = \frac{AC - AR}{AR \cup AC} \cdot 100\%$$

que medem a dissonância entre as manutenções preventivas executadas e aquelas realmente necessárias para correção de falhas. Por estas definições tem-se que o desperdício e a imprevisão resultam, respectivamente, da diferença entre a eficiência e eficácia, em relação à efetividade executiva:

$$DesperdícioExecutivo = Eficiência Executiva - Efetividade Executiva$$

$$ImprevisãoExecutiva = Eficácia Executiva - Efetividade Executiva$$

Ou seja, apenas o desperdício e a imprevisão impedem que a efetividade da manutenção atinja o valor desejado de 100%, como demonstra a expressão seguinte, derivada das anteriores:

$$EfetividadeExecutiva = 100\% - DesperdícioExecutivo - ImprevisãoExecutiva$$

## 5 - Processo de Avaliação

O Processo de Avaliação deve medir não apenas a qualidade da execução da manutenção, mas todo o processo de planejamento associado, envolvendo desde a programação, execução e avaliação dos resultados. No processo de programação, interessa ao avaliador medir a exatidão com que o planejador anteviu as falhas futuras que a manutenção deveria corrigir. Propõe-se então que a Produtividade do Processo de Programação da manutenção seja medida por índices complementares de Produtividade e Improdutividade Normativas, definidos pelas expressões:

$$ProdutividadeNormativa = \frac{AC \cap AP}{AC} \cdot 100\%$$

$$ImprodutividadeNormativa = \frac{AC - AP}{AC} \cdot 100\%$$

Estes índices medem as taxas de acertos e erros da programação de manutenção, na antecipação e prevenção de falhas potenciais e funcionais. O numerador contabiliza a quantidade de ações programadas que (se realizadas) corrigiriam previamente falhas futuras. Já o denominador contabiliza o total de falhas no período de referência. Quanto maior for o índice de Produtividade Normativa, maior será o número de acertos do planejador (falhas potenciais programadas para correção) na manutenção preventiva, antecipando-se às falhas funcionais, no universo de itens de planejamento. Uma Produtividade Normativa de 100% demonstraria que todas as manutenções programadas corrigiriam defeitos caso fossem executadas, e evitariam falhas funcionais futuras. A Improdutividade é o complemento da Produtividade, medindo o montante de falhas não previstas na programação, e o desconhecimento do planejador sobre os mecanismos de falha:

$$ProdutividadeNormativa = 100\% - ImprodutividadeNormativa$$

Indicadores de produtividade podem ser definidos de forma idêntica para o processo de execução. Neste caso, interessa ao avaliador medir a exatidão com que o executor corrigiu as falhas futuras antes que ocorressem. Propõe-se então que a Produtividade do Processo de Execução da manutenção também seja medida por índices complementares de Produtividade e Improdutividade Executivas, definidos pelas expressões:

$$ProdutividadeExecutiva = \frac{AC \cap AR}{AC} \cdot 100\%$$

$$ImprodutividadeExecutiva = \frac{AC - AR}{AC} \cdot 100\%$$

Estes índices medem as taxas de acertos e erros da execução da manutenção preventiva, na correção de falhas potenciais e funcionais. O numerador contabiliza a fração de ações preventivas (programadas ou não) realizadas nos itens com falhas potenciais ou funcionais no período de referência. Já o denominador contabiliza o total de falhas no período de referência. Quanto maior for o índice de Produtividade Executiva, maior será o número de acertos do executor (falhas potenciais corrigidas) na manutenção preventiva, antecipando-se às falhas funcionais, no universo de itens de planejamento. Uma Produtividade Executiva de 100% significaria que todas as manutenções preventivas realizadas corrigiram defeitos ou falhas funcionais. A Improdutividade é o complemento da Produtividade, medindo o montante de falhas não previstas na execução da manutenção preventiva, e o desconhecimento do executor sobre os mecanismos de falha:

$$ProdutividadeExecutiva = 100\% - ImprodutividadeExecutiva$$

Finalmente, o indicador proposto para avaliar a qualidade de todo o processo da manutenção estimará o nível de consistência entre todas as ações programadas e executadas, com os resultados obtidos. Define-se pela expressão:

$$Qualidade = \frac{AC \cap AP \cap AR}{AC \cup AP \cup AR} \cdot 100\%$$

Este índice mede a taxa de acerto simultâneo da programação e execução da manutenção, na antecipação e prevenção de falhas potenciais e funcionais. Representa-se pela parte central da Figura V, na interseção dos conjuntos de ações simultaneamente programadas, executadas e corretivas. O numerador contabiliza a quantidade de ações programadas e efetivamente realizadas, que corrigiram previamente falhas funcionais. Já o denominador contabiliza o total de ações programadas, as realizadas preventivamente, e as realizadas após a ocorrência de falhas. Quanto maior for o índice de Qualidade da Manutenção, maior será o número de acertos (falhas potenciais programadas e efetivamente corrigidas) na manutenção preventiva, antecipando-se às falhas funcionais, no universo de itens de planejamento. Um índice de Qualidade de 100% significaria que todas as manutenções programadas foram executadas, corrigiram defeitos (falhas potenciais) e evitaram falhas funcionais futuras, ou, em suma, que não ocorreram falhas funcionais sem a prevenção da manutenção, nem ocorreram manutenções programadas ou executadas desnecessárias.

Os indicadores de qualidade e produtividade podem ser avaliados tomando como base a quantidade de itens em cada conjunto, ou eventualmente ponderados por taxas de retorno que associem um peso relativo a cada evento, tal como produção interrompida, custo variável, recursos utilizados, etc. Neste caso, pode-se também eliminar o fator de conversão percentual (100%), produzindo uma avaliação dimensional do processo de manutenção. A Tabela I resume algumas variáveis e unidades de medida possíveis de uso nestes indicadores, na avaliação de desempenho da manutenção. Para isto é necessário que os dados sejam coletados, conforme indicado nas colunas de Programação, Execução e Avaliação, associando-os às Ordens de Serviço do Sistema de Gestão da Manutenção. A título de exemplo, a Tabela II mostra as fórmulas resultantes para avaliação de indicadores de custo da manutenção, utilizando estes conceitos. Indicadores idênticos podem ser construídos para as demais áreas da Tabela I, utilizando as variáveis adequadas a cada caso.

## **6 - Procedimentos de Avaliação**

A simplicidade destas fórmulas facilita o processo de cálculo, em cada período de avaliação, exigindo entretanto, uma estrutura de coleta de dados coerente com a dimensão do sistema físico, e da especificidade e estratificação desejada dos indicadores. O único instrumento de avaliação necessário são as tradicionais Ordens de Serviço (OS), associadas às ações programadas e/ou executadas, controladas por um Sistema de Gerenciamento de Manutenção (SGM). Além da execução da manutenção, as OS coletam dados dos itens efetivamente realizados, ao final de cada período, podendo conter Informações sobre custo, receita interrompida, tempo, etc.

Tabela I - Tipos de Indicadores de Desempenho

Variáveis	Programação	Execução	Avaliação
Número ou Fração (Percentual)	Número de manutenções programadas	Número de manutenções preventivas realizadas	Número de manutenções corretivas realizadas
Recursos Humanos (HxH)	HxH programados para a manutenção	HxH utilizados em manutenção preventiva	HxH utilizados em manutenção corretiva
Recursos Financeiros	Recursos orçados para o programa de manutenção	Despesas realizadas em manutenção preventiva	Despesas realizadas em manutenção corretiva
Recursos Materiais	Consumo programado de material	Consumo de material em manutenção preventiva	Consumo de material em manutenção corretiva
Produção	Interrupção programada na produção	Produção interrompida na manutenção preventiva	Produção interrompida na manutenção corretiva
Vendas	Redução programada nas vendas	Redução de vendas por manutenção preventiva	Redução de vendas por manutenção corretiva
Receitas	Redução programada nas receitas	Receitas suspensas por manutenção preventiva	Receitas suspensas por manutenção corretiva
Lucros	Redução programada nos lucros	Lucros suspensos por manutenção preventiva	Lucros suspensos por manutenção corretiva
Indisponibilidade	Indisponibilidade dos itens programados	Indisponibilidade por manutenção preventiva	Indisponibilidade por manutenção corretiva
Custos de Material	Custo programado de consumo de material	Custo de material gasto em manutenção preventiva	Custo de material gasto em manutenção corretiva
Custos de Recursos Humanos	Custo programado de recursos humanos	Custo de recursos humanos em manutenção preventiva	Custo de recursos humanos em manutenção corretiva
Custos de Produção	Custo programado de interrupção na produção	Custo de produção suspensa na manutenção preventiva	Custo de produção suspensa na manutenção corretiva
Falhas Humanas	Falhas humanas previstas na programação	Falhas humanas de execução da manutenção preventiva	Falhas humanas de execução da manutenção corretiva

Tabela II - Indicadores de Custo

Indicador	Fórmula
<i>Custo da Eficiência Normativa</i>	$\frac{\text{Custo das Ações Programadas}}{\text{Custo das Ações Programadas e/ou Realizadas}}$
<i>Custo da Eficácia Normativa</i>	$\frac{\text{Custo das Ações Realizadas}}{\text{Custo das Ações Programadas e/ou Realizadas}}$
<i>Custo da Efetividade Normativa</i>	$\frac{\text{Custo das Ações Programadas e Realizadas}}{\text{Custo das Ações Programadas e/ou Realizadas}}$
<i>Custo do Backlog</i>	$\frac{\text{Custo das Ações Programadas e Não Realizadas}}{\text{Custo das Ações Programadas e/ou Realizadas}}$
<i>Custo da Imprevisão Normativa</i>	$\frac{\text{Custo das Ações Realizadas e Não Programadas}}{\text{Custo das Ações Programadas e/ou Realizadas}}$
<i>Custo da Eficiência Executiva</i>	$\frac{\text{Custo das Ações Realizadas}}{\text{Custo das Ações Realizadas e/ou Necessárias}}$
<i>Custo da Eficácia Executiva</i>	$\frac{\text{Custo das Ações Necessárias}}{\text{Custo das Ações Realizadas e/ou Necessárias}}$
<i>Custo da Efetividade Executiva</i>	$\frac{\text{Custo das Ações Realizadas e Necessárias}}{\text{Custo das Ações Realizadas e/ou Necessárias}}$
<i>Custo do Desperdício Executivo</i>	$\frac{\text{Custo das Ações Realizadas e Não Necessárias}}{\text{Custo das Ações Realizadas e/ou Necessárias}}$
<i>Custo da Imprevisão Executiva</i>	$\frac{\text{Custo das Ações Necessárias e Não Realizadas}}{\text{Custo das Ações Realizadas e/ou Necessárias}}$
<i>Custo da Produtividade Normativa</i>	$\frac{\text{Custo de Ações Necessárias e Programadas}}{\text{Custo das Ações Necessárias}}$
<i>Custo da Improdutividade Normativa</i>	$\frac{\text{Custo das Ações Necessárias e Não Programadas}}{\text{Custo das Ações Necessárias}}$
<i>Custo da Produtividade Executiva</i>	$\frac{\text{Custo das Ações Necessárias e Realizadas}}{\text{Custo das Ações Necessárias}}$
<i>Custo da Improdutividade Executiva</i>	$\frac{\text{Custo das Ações Necessárias e Não Realizadas}}{\text{Custo das Ações Necessárias}}$
<i>Custo da Qualidade</i>	$\frac{\text{Custo das Ações Necessárias e Realizadas e Programadas}}{\text{Custo das Ações Necessárias e/ou Realizadas e/ou Programadas}}$

As manutenções e reparos ocorridos, mas não planejadas originalmente, deverão ser registrados no SGM como Ordens de Serviço avulsas, aleatórias ou não programadas, ou outro mecanismo de registro, para efeito de avaliação. Os indicadores poderão ser avaliados ao final de cada período de referência, estratificados por centro de manutenção, região, especialidade (Mecânica, Elétrica, Civil, Instrumentação, etc.), e totalizado para a empresa ou unidades de negócio, bem como acumulados em relação ao planejamento anual e plurianual, conforme o interesse da empresa.

## 7 - Estudo de Caso

O método descrito foi utilizado para avaliação do processo de planejamento de intervenções em mais de 80 subestações e usinas da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF) não só para manutenção, mas para todas as atividades que resultassem em acesso ao sistema físico de produção e transmissão. Para isto, foi desenvolvido um software de gerenciamento e acompanhamento do processo, de forma descentralizada, utilizando a rede de longa distância (LAN) da empresa (Figura VI). A Figura VII ilustra o formulário eletrônico de entrada de dados, utilizado pelos programadores de manutenção e demais intervenções no sistema elétrico. O software é um aplicativo desenvolvido em plataforma IBM Lotus Notes, responsável por concatenar todas as informações das 6 Gerências Regionais e centralizá-las no Centro de Operação da empresa (COOS).

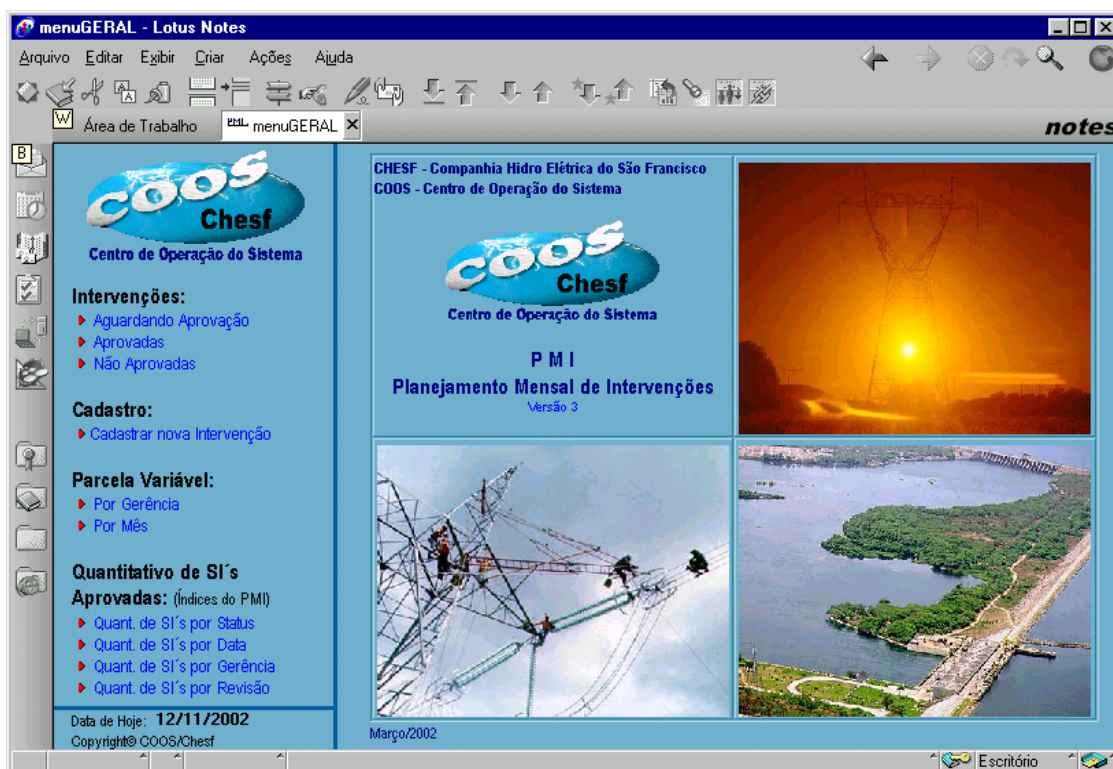


Figura VI – Software de Avaliação


 <b>Chesf - Companhia Hiros Elétrica do São Francisco</b> <b>COOS - Centro de Operação do Sistema</b> <b>GRN - Gerência Regional Norte</b> <small>Companhia Hiros Elétrica do São Francisco</small> <b>SNSF</b>	
<b>Solicitação de Intervenção em Equipamentos da Chesf</b>	
Sigla da Instalação(ões):	FTZ
Equipamento:	02H1
Função:	BANCO CAPACITOR
Condições de Recepção e devolução do equipamento:	DESENERGIZADO ISOLADO E ATERRADO
Descrição da Intervenção:	MP N-3 02H2 E N-4 12H1
Período da Intervenção: Previsto: <início / término>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <input type="text" value="07/01/2003"/> <input type="text" value="08:30"/> </div> <div> <input type="text" value="07/01/2003"/> <input type="text" value="16:30"/> </div> </div>
Realizado: <início / término>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div><input type="text" value=""/> <input type="text" value=""/></div> <div><input type="text" value=""/> <input type="text" value=""/></div> </div>
Situacão da Intervenção: <b>Aguardando início dos Trabalhos</b>	
Condições Atmosféricas impeditivas à realização da intervenção: <input checked="" type="radio"/> Sim <input type="radio"/> Não	
Esta intervenção é pertencente ao PMI? <input type="checkbox"/> Não Pertence.	Esta SI é uma Revisão? <input type="checkbox"/> Sim
Regime da Intervenção: <input checked="" type="radio"/> Contínuo <input type="radio"/> Descontínuo	
Tempo para devolução de Emergência: 02:00	
Tipo da Intervenção: <input checked="" type="radio"/> Preventiva (IP) <input type="radio"/> Corretiva Especial (IE) <input type="radio"/> Corretiva (IC) <input type="radio"/> Urgência (IU)	
Alto risco de desligamento? <input type="checkbox"/> Sim	
Observações Relevantes:	

Figura VII – Entrada de Dados

Para operacionalização deste procedimento, a seguinte rotina foi utilizada no planejamento e execução de manutenções e intervenções, para cada período considerado:

- Os responsáveis por cada intervenção solicitam autorização ao Centro de Operações, utilizando o formulário da Figura VII;
- No Centro de Operação é efetuado o cálculo da receita interrompida associada à intervenção programada
- Após a realização de cada intervenção, esta é cadastrada no software, com os horários inicial e final de realização;
- No Centro de Operações é efetuado o cálculo da receita efetivamente interrompida pela intervenção realizada;
- O Software calcula então os índices de Eficiência, Eficácia e Efetividade de cada período, estratificando-os por centro regional, expressando-os, opcionalmente em receita interrompida, etc.

## 8 - Avaliação

Com a implantação deste sistema em janeiro de 2002, em todas as seis gerências regionais da Chesf, alguns resultados foram observados, através da evolução dos indicadores de eficiência, eficácia e efetividade das intervenções, nas diferentes regiões administrativas da empresa. A figura VIII ilustra os indicadores obtidos no planejamento das intervenções na Gerência Regional Norte, no ano de 2002, envolvendo o estado do Ceará e partes do Rio Grande

do Norte. A implantação do processo de avaliação provocou uma imediata redução no nível de solicitações e de intervenções realizadas, provocada pelos baixos níveis observados em todos os indicadores, em especial no de efetividade das intervenções. O aprimoramento progressivo do processo de planejamento nesta gerência regional resultou no crescimento gradativo de todos os indicadores, no restante do ano.

A figura IX ilustra os indicadores totalizados para todo o sistema elétrico, incluindo instalações de geração e transmissão, no mesmo período (janeiro a novembro de 2002).

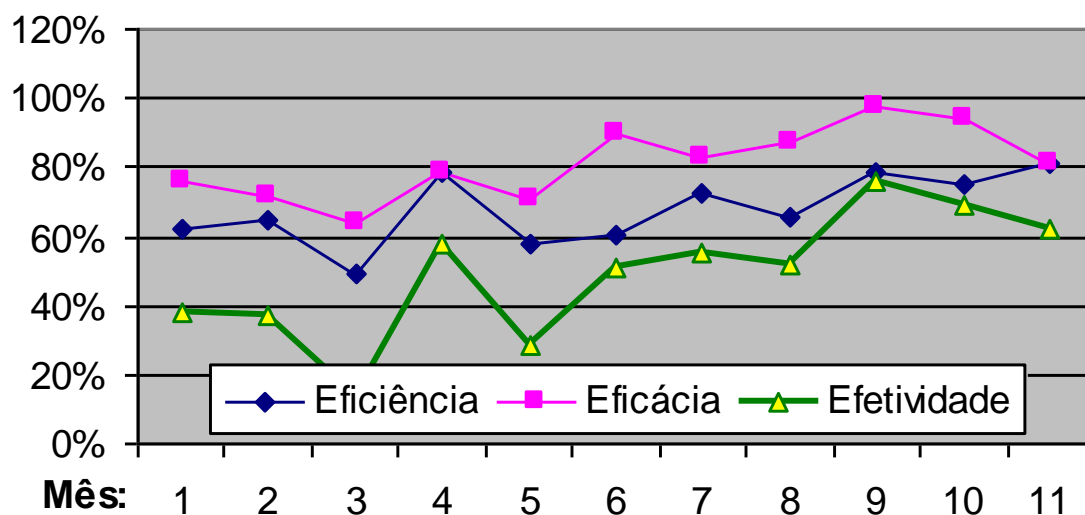


Figura VIII – Resultado da Região Norte

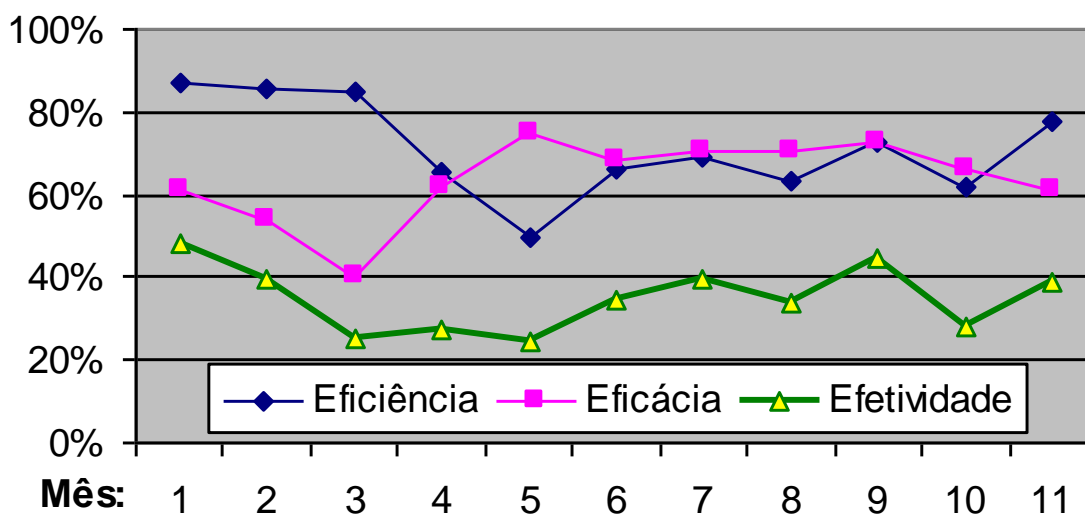


Figura IX – Resultado da Avaliação de 2002

As seguintes observações são derivadas destes gráficos, decorrentes do processo de medição, divulgação e avaliação periódica destes indicadores:

- Nos três primeiros meses imediatamente após a implantação, houve uma redução na realização de intervenções não programadas,



evidenciada pela queda nos níveis de eficácia e efetividade do processo de planejamento.

- Esta queda motivou a revisão no número de solicitações programadas, nos meses subsequentes, resultando na queda do nível de eficiência do processo, mas restaurando a eficácia a níveis acima dos patamares originais.
- Embora tenha havido melhoria global no nível de eficácia das intervenções, à custa da queda na eficiência, é evidente que a efetividade do processo continua estabilizada no nível original inicial, para a empresa como um todo.

Este último resultado evidencia que a simples redução do número de intervenções programadas foi decisivo no aumento médio de 10% na eficácia do processo. Entretanto, observa-se que o nível médio de efetividade da programação permaneceu imutável ao longo do período, estabilizada nos níveis originais, próximos a 40%. Como a efetividade está relacionada essencialmente aos objetivos desejados do planejamento, conclui-se que apenas com uma melhoria da qualidade do processo (planejamento, manutenção, projeto, operação, etc.) subjacente a cada especialidade de manutenção, será possível melhorar a efetividade das intervenções no sistema elétrico. Em especial, as produtividades normativa e executiva só serão melhoradas com o aperfeiçoamento dos métodos de planejamento, com destaque para a pesquisa sobre os modelos de mecanismos de falhas.

## 9 - Conclusões

Fundamentadas nestes resultados, as seguintes conclusões podem ser estabelecidas:

- Indicadores genéricos de eficiência, eficácia, efetividade, produtividade e qualidade da manutenção podem ser definidos com base nos conceitos tradicionais de planejamento empresarial.
- A adimensionalidade dos indicadores propostos, e sua correlação com estes conceitos, facilitam o desenvolvimento de *benchmarks*, e a intercomparação de áreas, mesmo entre distintos setores industriais.
- A simples implantação de um processo de medição e avaliação de indicadores é suficiente para motivar e provocar mudanças na eficiência e eficácia do processo de planejamento de manutenção. Isto reflete o processo de aprendizagem inerente ao ato de medir, ensejando melhorias imediatas evidenciadas pelos indicadores.
- Mudanças mais significativas, relacionadas à melhoria da qualidade ou efetividade dos resultados, só são obtidas com melhorias nos processos de engenharia associados, sejam eles de manutenção, projeto, etc.
- Estas mudanças podem ser implementadas simultaneamente com a definição de padrões de desempenho para cada indicador, e a realização de *benchmarks* com outras indústrias, usando a mesma metodologia de avaliação.
- A generalidade dos conceitos sugerem sua aplicação em muitas áreas de gestão, tais como Treinamento, Planejamento, Marketing, Economia, Gestão de Projetos, Gestão de Empreendimentos, Gestão da Produção, etc. A Tabela III sugere alguns itens de controle de Programação, Execução e Avaliação de várias áreas, para posterior pesquisa.

Tabela III - Atividades de Planejamento

Área	Programação	Execução	Avaliação
Manutenção	Manutenções preventivas programadas	Manutenções preventivas executadas	Falhas ocorridas nos equipamentos e sistemas
Treinamento	Treinamentos programados ou contratados	Treinamentos realizados ou promovidos	Treinamentos necessários ou desejados
Planejamento	Plano de metas e objetivos	Metas e objetivos alcançados	Metas e objetivos necessários ou desejados
Marketing	Plano de vendas e <i>mix</i> de produtos	Oferta real de produtos	Demanda real de produtos
Economia	Orçamento proposto	Realização orçamentária	Demanda de recursos financeiros
Gestão de Projetos	Etapas programadas	Etapas realizadas	Etapas necessárias
Gestão de Empreendimentos	Partes planejadas	Partes construídas	Partes desejadas ou necessárias
Gestão da Produção	Plano de produção e itens planejados	Produção realizada ou itens produzidos	Produção desejada ou itens necessários
Comissionamento de Obras	Obras planejadas	Obras comissionadas	Obras desejadas ou necessárias

## Bibliografia

SIQUEIRA, I.P., Manutenção Centrada na Confiabilidade – Manual de Implementação, ISBN 85-7303-566-8, Editora QualityMark, Rio de Janeiro, 2005.

SIQUEIRA, I.P., Impactos da Manutenção na Disponibilidade e Performance de Sistemas Elétricos de Potência, Seminário Nacional de Geração e Transmissão de Energia Elétrica, Campinas, CIGRÉ, 2001.

SIQUEIRA, I.P., Impact of Protective Apparatus and Maintenance Scheduling on Power System Performance, 4th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems, Rio de Janeiro, ELETROBRAS, 1994.

SIQUEIRA, I.P., Measuring the Impacts of an RCM Program on Power System Performance, IEEE Power Engineering General Meeting, IEEE, San Francisco, California, USA, 2005.

SIQUEIRA, I.P., MENEZES, E.Jr., Itens de Controle de Eficiência, Eficácia e Efetividade da Programação de Intervenções no Sistema Elétrico da Chesf, Seminário Nacional de Geração e Transmissão de Energia Elétrica, CIGRÉ, Uberlândia, MG, 2003.

COUGAR, J.D., KNAPP, Ed., R.W., System Analysis Techniques, John Wiley & Sons, London, 1974

TAVARES, M.C., Planejamento Estratégico – A Opção entre Sucesso e Fracasso Empresarial, Ed. Harbra Ltda., 1991

VASCONCELOS, P., MACHADO A.M.V., Planejamento Estratégico – Formulação, Implantação e Controle, Fundação João Pinheiro, Rio de Janeiro, 1979.