



GRUPO DE ESTUDO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E TELECOMUNICAÇÃO PARA SISTEMAS ELÉTRICOS - GTL

OTIMIZAÇÃO DO SEQUENCIAMENTO DE ATIVIDADES PARA SUPORTE À MANUTENÇÃO

**JEFERSON TOYAMA(1); ANDRÉ DA SILVA BARBOSA(1); JEAN CARLOS CARBONERA(1); JOSÉ GUILHERME SCHRAM TAKASE(2)
ITAIPU BINACIONAL(1); UNIOESTE CAMPUS FOZ DO IGUAÇU(2)**

RESUMO

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um método de otimização do sequenciamento dos serviços de manutenção da oficina eletromecânica da Itaipu Binacional. A técnica de otimização foi implementada usando a linguagem R e os resultados apresentados na ferramenta Tableau. O objetivo do algoritmo de otimização é determinar quando as atividades devem ser iniciadas. O resultado do método de otimização proposto foi comparado com a programação realizada de forma manual, avaliando o tempo total de atendimento das pendências bem como a distribuição da carga de serviços nas equipes de manutenção.

PALAVRAS-CHAVE

Otimização; Programação; Manutenção; Tempo de Atendimento; Carga de Serviços

1.0 - INTRODUÇÃO

A Itaipu Binacional é líder mundial em produção de energia limpa e renovável, tendo produzido mais de 2,6 bilhões de Megawatts-hora (MWh) desde o início de sua operação, em 1984. Com 20 unidades geradoras e 14.000 MW de potência instalada, fornece 11,3% da energia consumida no Brasil e 88,1% no Paraguai.

As intervenções por parte das equipes de manutenção nos equipamentos da central requerem a utilização de uma metodologia que consiga programar e executar solicitações de serviços de caráter periódico e aperiódico dentro dos prazos estipulados e armazenar as informações coletadas em campo. Neste contexto, se destacam dentre os vários subsistemas de manutenção os dois principais subsistemas informatizados pertencentes à metodologia, conhecidos como SMP - Sistema de Manutenção Periódica e SMA - Sistema de Manutenção Aperiódica que fazem a gestão completa das solicitações de serviços. O SMA é o subsistema que controla as manutenções preventivas aperiódicas, estudos de melhorias, ensaios, pareceres técnicos, aquisição de equipamentos e componentes bem como serviços de apoio. Para que todos estes procedimentos sejam executados de forma padronizada e seguindo um processo estabelecido existe um formulário digital chamado de SSA – Solicitação de Serviço Aperiódico. A SSA é caracterizada como uma ordem de serviço na qual são registradas as informações necessárias para o controle de todo o processo. Vários fatores devem ser considerados na definição do planejamento das atividades de manutenção, tais como a criticidade dos equipamentos, restrições no desligamento dos equipamentos, disponibilidade da equipe e recursos. Dessa forma, a otimização do sequenciamento das atividades visando obter o menor tempo de atendimento dos serviços se torna um desafio para os supervisores das equipes de manutenção.

Diante desse cenário, este trabalho propõe estudar técnicas de otimização computacionais que possam orientar o planejamento dos serviços de manutenção e implementar um case para analisar o comportamento do método no atendimento dos serviços da oficina eletromecânica, vinculada à Superintendência de Manutenção. A oficina foi escolhida devido a maior parte das atividades executadas serem de natureza aperiódica.

A oficina eletromecânica possui como atribuição programar, executar e controlar a recuperação de componentes e/ou equipamentos eletromecânicos e confeccionar dispositivos, ferramentas especiais e peças para execução das atividades de manutenção.

2.0 - DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA DE OTIMIZAÇÃO

A composição dos dados para implementação do programa de otimização é separada em dois conjuntos, um de informações gerais e outro de disponibilidade da equipe. O primeiro refere-se às ordens de serviços aperiódicas cada qual com suas respectivas semanas de emissão, tempo previsto e criticidade, já o segundo conjunto compete a relação entre as ordens de serviços aperiódicas e as matrículas dos mantenedores, buscando identificar qual deles está alocado e disponível para trabalhar em tal ordem de serviço.

A partir dos dados de ordens de serviço, o programa desenvolvido as utiliza para prover a resolução do problema, buscando uma solução ótima para a organização das atividades de manutenção. O programa é desenvolvido com a linguagem R, que provê um ambiente e bibliotecas para a elaboração de algoritmos de otimização. Neste trabalho, a biblioteca lpSolve foi utilizada, pois disponibiliza uma série de funções em que é possível descrever todos os itens necessários para a resolução, sendo a função objetivo, as variáveis e as restrições do problema. Na definição da função objetivo é possível configurar para uma maximização ou minimização do resultado almejado, sendo neste trabalho utilizada a função de minimização para o tempo de atendimento das ordens de serviço de manutenção.

As restrições utilizadas para o problema apresentado foram:

- Homem-hora máxima por matrícula por semana: essa restrição está relacionada com a disponibilidade de tempo que o colaborador está disponível para as atividades na semana;
- Quantidade de serviços programadas na semana: ocorre quando um serviço ultrapassa os limites de tempo das matrículas em uma semana, sendo assim necessário programar o mesmo serviço para mais semanas;
- Garantia de execução do serviço: consiste em uma variável binária listada para cada semana analisada, em que estará com o valor 1 caso o serviço seja executado na semana.

A função principal de chamada para execução do algoritmo de otimização da biblioteca lpSolve é dada por:

lp ("min", funcao_obj_mult, res, res_dir, res_rhs, int.vec=1:(numero_de_semanas * numero_de_ssas), compute.sens = TRUE)

Considerando que:

- min: indica se a função lpSolve está buscando um valor mínimo ou máximo na função objetivo;
- funcao_obj_mult: a função objetivo retorna um índice que qualifica a solução simulada;
- res: matriz de restrições, dentro dessa variável estão descritas todas as restrições consideradas no problema;
- res_dir: vetor de símbolos de caracteres que fornecem a direção da restrição: igualdade (=), desigualdade (<>), maior (>), menor (<), maior ou igual (>=) e menor ou igual (<=);
- res_rhs: vetor numérico composto dos valores limítrofes do lado direito da restrição previamente definidas;
- int.vec=1:(numero_de_semanas * numero_de_ssas): vetor numérico de comprimento correspondente ao número de variáveis inteiras, este vetor fornece os índices das mesmas e, neste caso, todas as variáveis são inteiras.

As variáveis do problema foram estabelecidas através da combinação entre as semanas disponíveis para realização das ordens e as ordens de serviço já emitidas. Desta forma, foi desenvolvida uma função no programa na linguagem R em que, para uma dada entrada, é possível gerar de modo automático a programação das ordens pendentes de acordo com o tempo disponível. O resultado desta função é uma matriz onde as linhas correspondem a cada ordem de serviço e as colunas correspondem as semanas de programação contidas no período simulado, já a célula contendo o valor 1 corresponde a programação proposta no resultado.

A definição da função objetivo foi baseada na percepção de valor do supervisor da oficina. Após várias simulações foram definidas as equações com maior aderência aos critérios de criticidade e tempo de atendimento das ordens de serviço. A função mais adequada para representar o critério do tempo de atendimento foi a equação quarto grau e para representar a criticidade foi a função linear de primeiro grau. Ambas as equações estão exemplificadas na Figura 1.

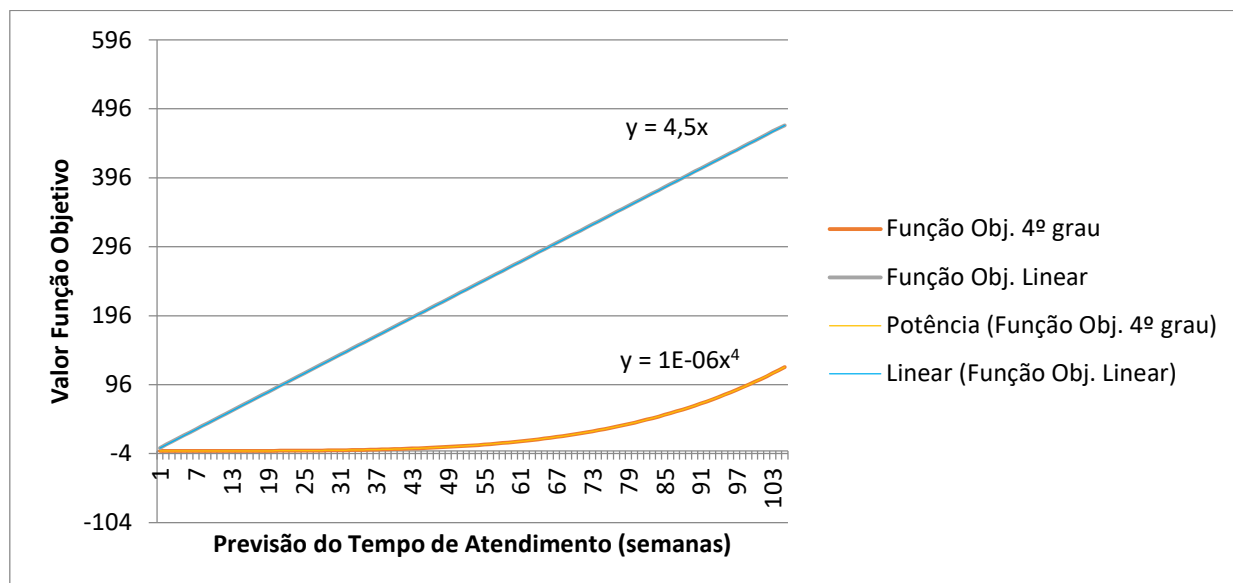


FIGURA 1: Equações da função objetivo

O eixo x do gráfico da Figura 1 representa a previsão do tempo de atendimento em semanas e o eixo y a escala da função objetivo associado ao tempo de atendimento e à criticidade. O principal fator que interfere sobre a qualificação de uma opção de programação se comparado a outra é a inclinação das linhas e não o valor absoluto da função objetivo, no eixo y. Isto é, quanto maior a inclinação maior a variação do valor da função objetivo devido a variação da semana programada, se comparado com os valores subsequentes. A função de quarto grau permite que essa inclinação seja diferente quanto maior for a previsão do tempo de atendimento, e com isso aumenta a competitividade dos serviços mais antigos. A linha na cor laranja caracteriza a equação da função objetivo relacionada à previsão do tempo de atendimento.

A inclinação da equação linear é usada para diferenciar o peso de cada nível de criticidade. A linha azul representa a equação relacionada à maior criticidade do equipamento, onde a “falha acarreta perda de geração da usina”, e a constante da equação é de 4,5. Para a criticidade “falha reduz confiabilidade de geração da usina” é utilizado o valor de 2,5, para a constante da função objetivo. E, por fim, para a menor criticidade do equipamento é utilizado o fator 1. O valor constante da equação da criticidade de 4,5 foi escolhido para igualar a inclinação da equação linear com a inclinação da tangente da equação de quarto grau no tempo de atendimento igual a 104 semanas. Dessa forma, uma solicitação emitida à 2 anos tem o mesmo peso de um serviço de maior criticidade. Isso nivela a competitividade dos serviços antigos e garante que todas as SSAs possam ser contempladas na programação otimizada em determinado momento. A função objetivo global é equivalente ao somatório do resultado da equação de quarto grau e da equação linear.

3.0 - ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados foram comparados com a programação manual em 3 períodos distintos. Cada período é composto pela programação das próximas 3 semanas, ou seja, durante a semana 1 ($S + 1$) o processo deve apresentar os resultados para as próximas 3 semanas: $S + 2$, $S + 3$ e $S + 4$.

No primeiro período foram selecionados 19 serviços para entrar na programação. A equipe disponível neste período conta com 13 empregados. O mapa de alocação é apresentado na Figura 2 e compara a solução otimizada e a programação carregada no sistema no primeiro período.

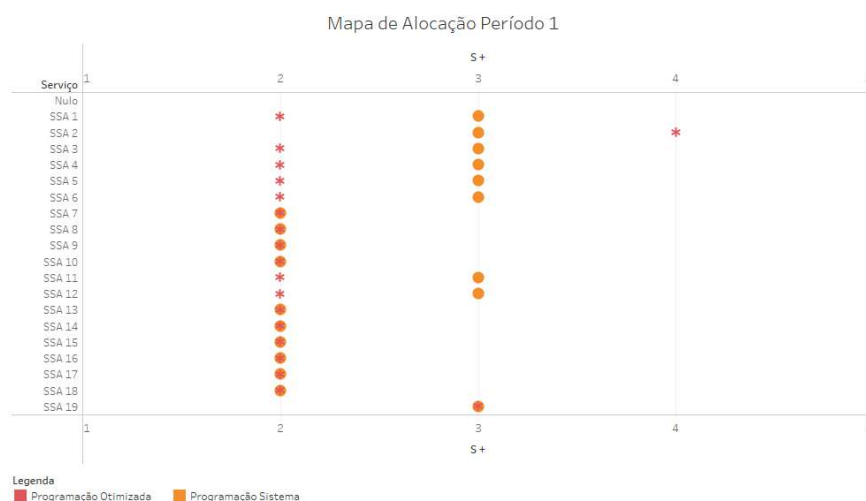


FIGURA 2: Mapa de alocação período 1

No mapa de alocação do primeiro período é perceptível que a solução otimizada recomendou o avanço de várias SSAs da semana S + 3 para a semana S + 2 e uma postergação de serviço da semana S + 3. Isso indica uma baixa alocação de horas disponíveis na semana S + 2 por parte da programação contida no sistema carregada manualmente. A programação das semanas S + 3 e S + 4 possui poucos serviços devido ao fato de o código processar somente os serviços contidos dentro da janela de programação previamente selecionados pelo supervisor. No segundo período foram selecionados 16 serviços para entrar na programação. A equipe disponível neste período conta com 14 empregados. O mapa de alocação abaixo compara a solução otimizada e a programação carregada no sistema no segundo período.

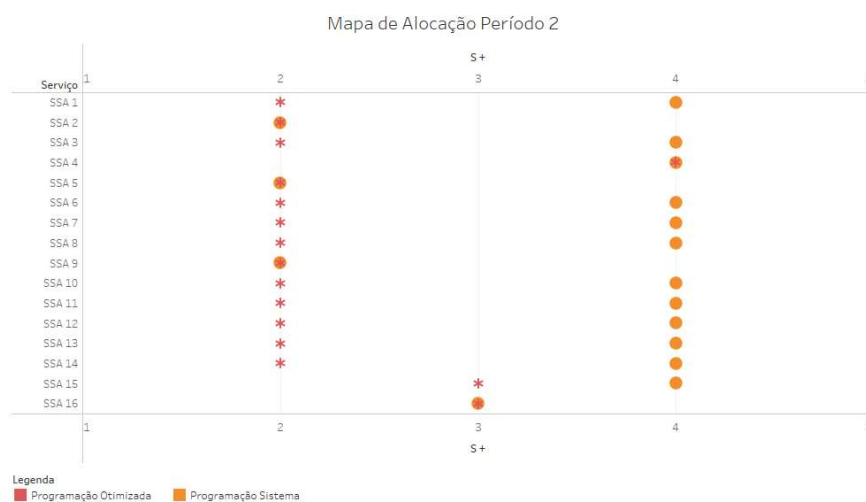


FIGURA 3: Mapa de alocação período 2

No mapa de alocação do segundo período a solução otimizada recomendou o avanço de várias SSAs da semana S + 4 para a semana S + 2. Isso indica uma baixa alocação de horas disponíveis na semana S + 2 por parte da programação contida no sistema.

No terceiro período foram selecionados 18 serviços para entrar na programação. A equipe disponível neste período conta com 18 empregados. O mapa de alocação abaixo compara a solução otimizada e a programação carregada no sistema no terceiro período.

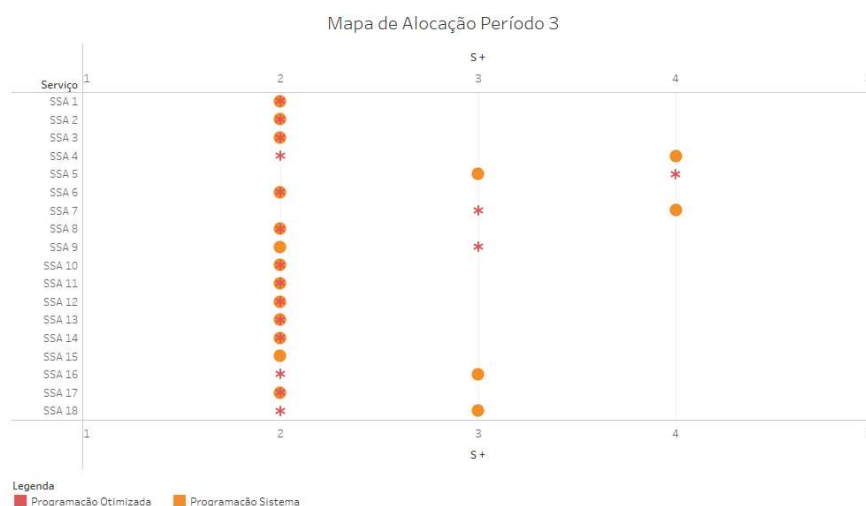


FIGURA 4: Mapa de alocação período 3

No mapa de alocação do terceiro período não houve alterações perceptíveis na quantidade de serviços programados para cada semana, apenas algumas alterações de serviços entre as semanas. Vale destacar que a solução otimizada retirou a SSA 15 da programação do período S + 4. Isto ocorre quando as SSAs competem pelo mesmo recurso e o código de otimização escolhe dentre elas quais devem permanecer na janela. Essa flexibilidade evita que haja sobrecarga de trabalho para um determinado empregado. Esta situação de sobrecarga é analisada na distribuição da Carga de Serviços Programados (CSP) por empregado descrito a seguir.

A solução otimizada para a programação dos serviços selecionados foi comparada com as informações relacionadas à programação carregadas no sistema. O método utilizado comparou os arranjos de programação através de três medidas:

- Carga de serviços programados: Comumente utilizado como um indicador de mercado a carga de serviços demonstra o quanto do Hora-homem disponível está alocado nos serviços programados (1);
- Tempo de atendimento: É a diferença entre a semana prevista de início do atendimento e a semana de emissão da solicitação de serviço, ou seja, o prazo de atendimento total de todos os serviços selecionados;
- Função objetivo: A função objetivo gera um valor que caracteriza cada arranjo de programação que foi testado. Cada arranjo é caracterizado pelo conjunto de SSAs previstas no mapa de alocação. Quanto menor for esse valor melhor é o arranjo testado conforme os critérios selecionados. Dessa forma, foi utilizado o valor da função objetivo para comparar o arranjo otimizado com o arranjo programado no sistema.

3.1 - Carga de serviços programados

A distribuição da carga de serviço por empregado programado no sistema é comparada com o arranjo otimizado nos três períodos. As linhas destacadas em vermelho contidas nas Figuras 5, 6 e 7 representam a faixa de referência onde a carga de trabalho deveria estar posicionada para cada empregado. A carga semanal máxima por empregado é limitada em 80% dos Horas-homem contratados na semana S + 2 e 50% para as demais semanas. Dessa forma, o valor apontado no gráfico de 100% já considera sobra de tempo para eventuais atividades de apoio ou atividades não planejadas.

Com relação a carga de serviços programados no primeiro período, é possível verificar que na semana S + 3 existe uma grande sobrecarga de trabalho para os empregados 5, 7 e 9. Esta situação não é desejada pois pode implicar em atrasos e/ou reprogramações, além de comprometer a credibilidade da programação pela equipe executora.

A carga de trabalho otimizada, para o período 1, ajusta a questão da sobrecarga na semana S + 3 distribuindo as atividades nas semanas S + 2 e S + 4. Aproxima a carga de trabalho da semana S + 2 ao padrão de referência desejado, e na semana S + 4 é perceptível a melhoria da alocação das horas disponíveis de alguns empregados. A Figura 5 contém o gráfico da distribuição da carga de serviço por empregado para o período 1.

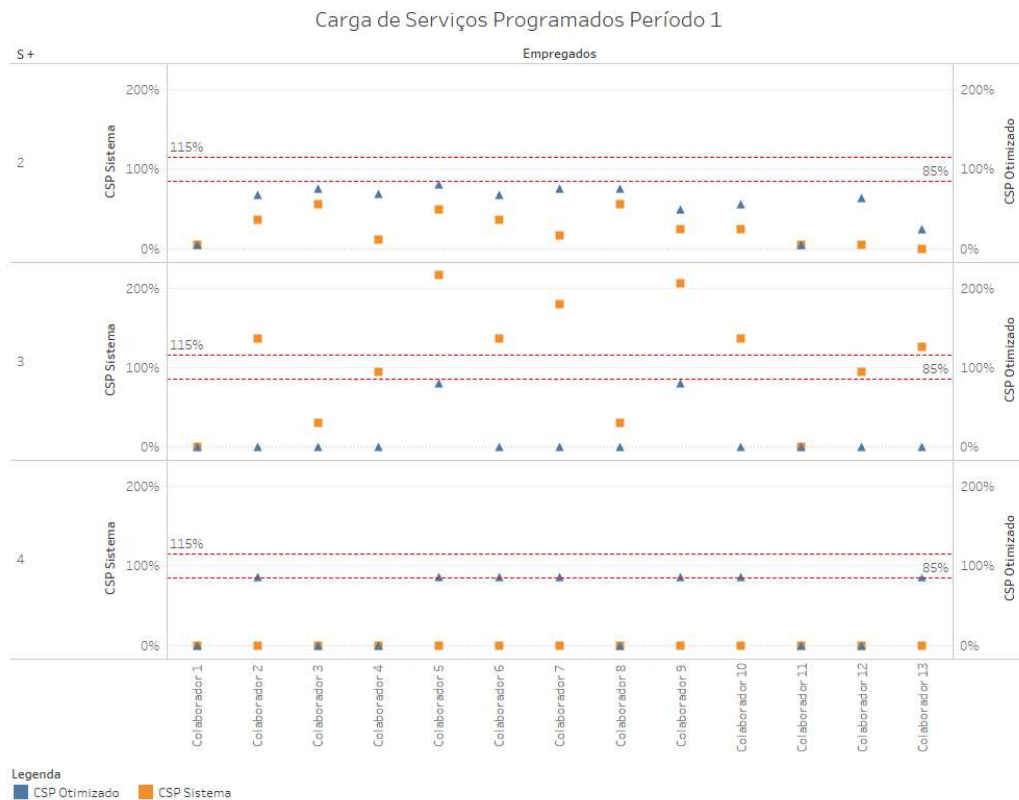


FIGURA 5: Carga de serviços programados período 1

Com relação a carga de serviços programados no segundo período, é possível verificar que na semana S + 4 existe uma grande sobrecarga de trabalho para os empregados 2, 5 e 14; além de uma baixa alocação de horas disponíveis da equipe na semana S + 2. A carga de trabalho otimizada, para o segundo período, ajusta a sobrecarga na semana S + 4 distribuindo as atividades com as semanas S + 2. De modo geral aproxima a carga de trabalho da semana S + 2 ao padrão de referência desejado. Figura 6 contém o gráfico da distribuição da carga de serviço por empregado para o período 2.

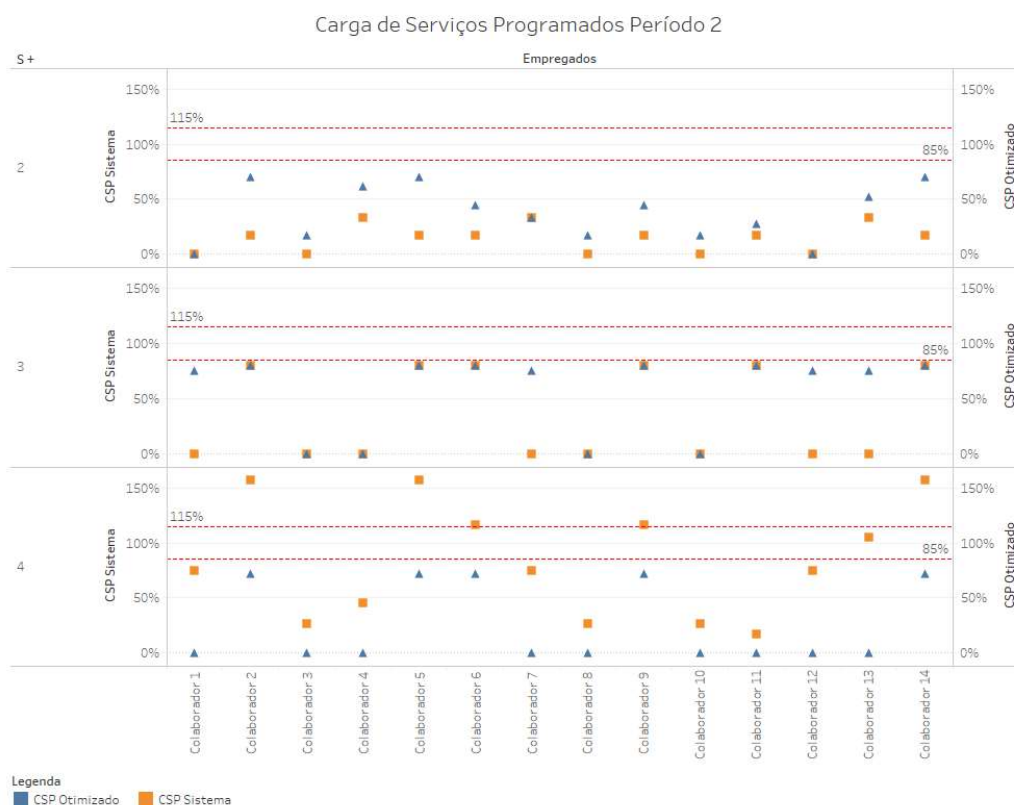


FIGURA 6: Carga de serviços programados período 2

Com relação a carga de serviços obtidos do sistema, no terceiro período, não existe sobrecarga de trabalho. É possível verificar que na semana S + 3 existe uma baixa alocação das horas disponíveis da equipe. A carga de trabalho otimizada, para o terceiro período, apresenta uma pequena melhoria na alocação de trabalho na semana S + 3. Do ponto de vista da carga de trabalho os benefícios obtidos foram limitados, ou seja, segundo os critérios avaliados as duas programações estariam equivalentes. Contudo, neste caso o principal benefício seria a redução do esforço necessário para programação por parte do supervisor se comparado ao esforço necessário quando utilizado o código como apoio. Por fim, é apresentado na Figura 7 o gráfico com a distribuição da carga de serviço por empregado para o período 3.

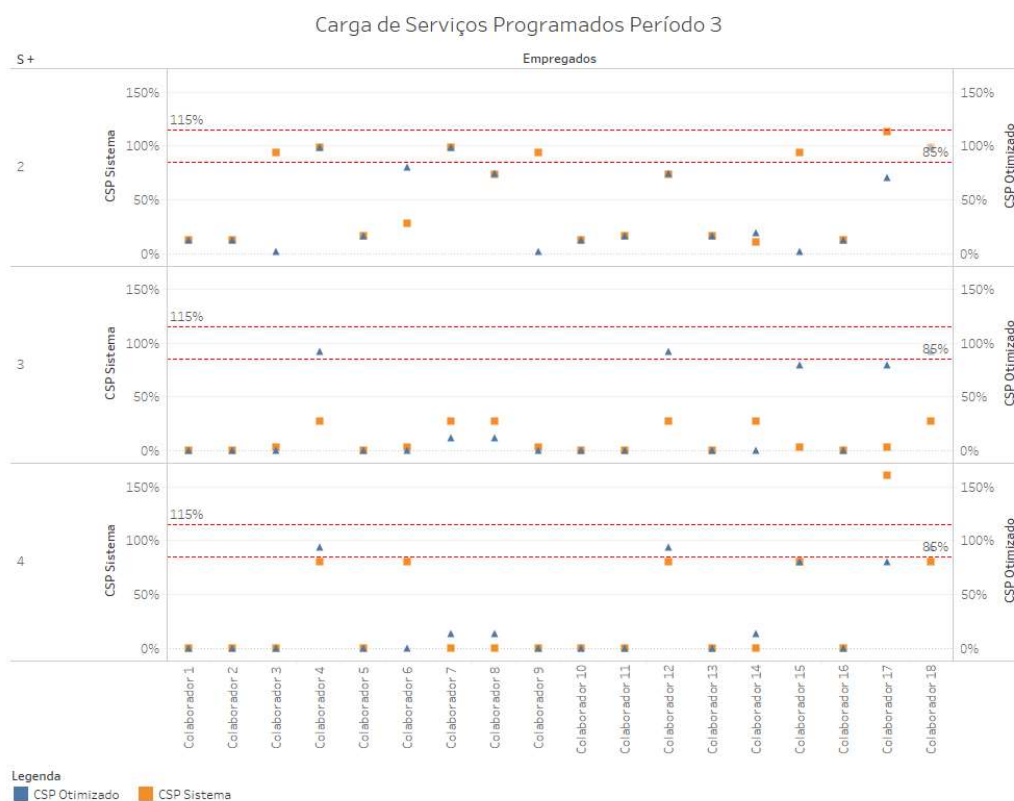


FIGURA 7: Carga de serviços programados período 3

O próximo passo é comparar a solução otimizada utilizando a medição do tempo de atendimento total dos serviços.

3.2 - Tempo de atendimento

A Figura 8 contém os valores do tempo de atendimento para os 3 períodos referente a programação do sistema e a programação otimizada.

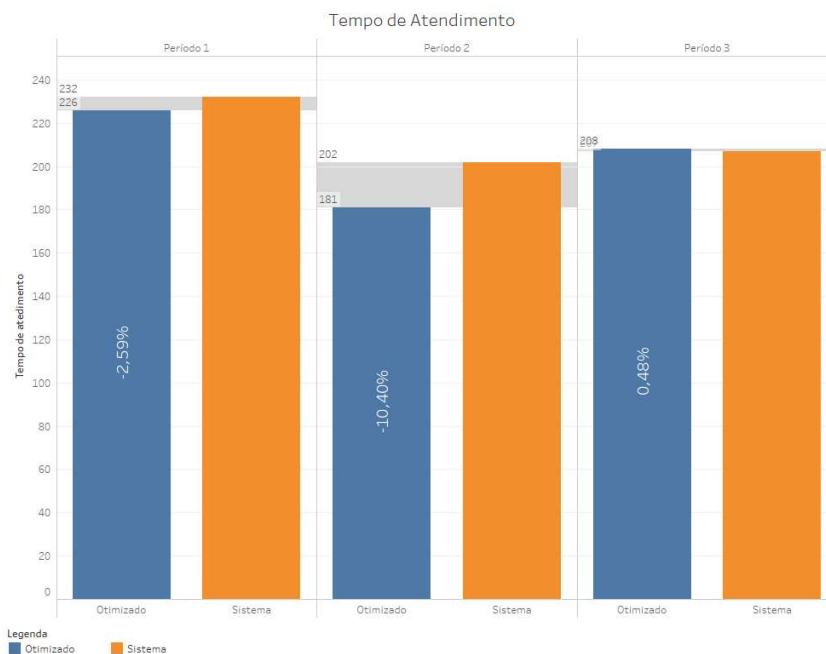


FIGURA 8: Comparativo tempo de atendimento

É possível verificar no primeiro e segundo períodos uma redução no tempo de atendimento das SSAs com a programação otimizada. Já no terceiro período o tempo de atendimento foi ligeiramente maior.

3.3 - Função objetivo

Por fim foi realizada a análise da solução otimizada utilizando como base o valor da função objetivo. É possível verificar na Figura 9 que nos três períodos houve a redução no valor da função objetivo com a programação otimizada.



FIGURA 9: Comparativo função objetivo

O valor da função objetivo é impactado pelo tempo de atendimento e pela criticidade do equipamento onde o serviço será executado. Dessa forma, no terceiro período, apesar de um aumento no tempo de atendimento a redução do valor da função objetivo demonstra a priorização dos serviços relacionados aos equipamentos de maior criticidade.

4.0 - CONCLUSÃO

A otimização proposta demonstrou bom desempenho na função de distribuição da carga de serviços programados, evitando sobrecargas na equipe de trabalho. Espera-se, com o uso da ferramenta, aumentar a credibilidade da programação dos serviços por parte da equipe executora e dessa forma contribuir para a maior previsibilidade das atividades, podendo afetar até mesmo no clima de trabalho junto às equipes.

O código gera a indicação da programação otimizada cumprindo com as restrições rapidamente, e dessa forma contribuiu para a redução do esforço por partes dos supervisores nesta atividade.

A implementação desta ferramenta na rotina da programação deve ser feita progressivamente e como uma recomendação de programação a ser analisada por cada supervisor. A ideia inicial é enviar semanalmente aos supervisores relatórios com a programação otimizada e em seguida desenvolver o automatismo da ferramenta através da integração direta com a base de dados e com as ferramentas de “analytics”. Outra questão que impede a rápida implementação é o impacto sobre o indicador de reprogramação que deve ser avaliado.

Em determinadas situações são necessários alguns ajustes na cultura da carga dos valores de Horas-homem, bem como os critérios para definição das equipes executoras e codificação da situação dos serviços pendentes.

5.0 - BIBLIOGRAFIA

- (1) BRAIDOTTI Junior, J.W. A Governança da Manutenção na Obtenção de Resultados Sustentáveis. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2016.
- (2) LIMA, G.A.C. Modelos de Determinar a Sequência das Tarefas de Manutenção com Foco em Diversos Objetivos. 35º Congresso Brasileiro de Manutenção e Gestão de Ativos, 2020.

DADOS BIOGRÁFICOS



Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná em 2006 e Mestre em Metrologia Científica e Industrial pela Universidade Federal de Santa Catarina em 2009. Especialista em Gerência de Manutenção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná em 2019. Deste 2012 trabalha na Itaipu Binacional.

(2) ANDRÉ DA SILVA BARBOSA

Graduado em Ciência da Computação pela Universidade estadual do Oeste do Paraná, onde possui também mestrado em Engenharia Elétrica e Computação, desenvolvendo trabalho sobre gerenciamento ótimo de microrredes de energia elétrica. Possui 10 anos de experiência no desenvolvimento de soluções para o setor elétrico, envolvendo sistemas de aquisição de dados, monitoramento e visualização. Atua como analista de sistemas da Itaipu Binacional, desenvolvendo projetos de análise, exploração e apresentação de dados, utilizando técnicas e ferramentas na área de ciência de dados. Como objetivo profissional atual pode ser destacada a busca por soluções que otimizem processos, atividades e gestão de equipes.

(3) JEAN CARLOS CARBONERA

Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná em 2006. Deste 2016 trabalha na Itaipu Binacional na Divisão de Manutenção Mecânica das Unidades Geradoras

(4) JOSÉ GUILHERME SCHRAM TAKASE

Aluno de graduação do curso de Engenharia Elétrica na Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Estagiário na Superintendência de Manutenção, da ITAIPU binacional, desde 2020.