

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE

GILBERTO BERRI JUNIOR
CLÁUDIO CAIANI SPANÓ

**DETERMINAÇÃO DE INTERVALO ÓTIMO DE TROCA DE
BATERIAS DE NOBREAKS E DE TEMPO DE SUBSTITUIÇÃO DE
PARQUE INSTALADO**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

Curitiba
2015

GILBERTO BERRI JUNIOR
CLÁUDIO CAIANI SPANÓ

**DETERMINAÇÃO DE INTERVALO ÓTIMO DE TROCA DE
BATERIAS DE NOBREAKS E DE TEMPO DE SUBSTITUIÇÃO DE
PARQUE INSTALADO**

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia de Confiabilidade, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Emerson Rigoni

Curitiba
2015

RESUMO

JUNIOR, Gilberto Berri. SPANÓ, Cláudio Caiani. **DETERMINAÇÃO DE INTERVALO ÓTIMO DE TROCA DE BATERIAS DE NOBREAKS E DE TEMPO DE SUBSTITUIÇÃO DE PARQUE INSTALADO.** Monografia do Curso de Especialização em Engenharia da Confiabilidade do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

Nobreaks são equipamentos eletrônicos utilizados para disponibilizar energia elétrica estabilizada e de forma ininterrupta à carga acoplada a ele. O modo de falha dominante nesse equipamento é causado pelo esgotamento das baterias após superar o número de ciclos de carga e descarga recomendado pelo fabricante. O objetivo deste trabalho é determinar o intervalo ótimo de substituição preventiva de baterias de *nobreaks* de pequeno porte (1,2KVA) e determinar o tempo ótimo de substituição de parque de 1.500 equipamentos com base em histórico de manutenção corretiva e com métodos de análise de dados de vida, de otimização e de crescimento de confiabilidade. São apresentados os modelos de distribuição de falhas dos equipamentos distribuídos em cinco regiões do Estado do Paraná, simulados os diagramas de otimização de manutenção preventiva e analisados os desempenhos de confiabilidade dos *nobreaks* a fim de determinar o tempo ideal de substituição por equipamentos novos. Os resultados da análise foram comparados com as atuais políticas de manutenção preventiva e obsolescência da empresa a fim de otimizar custos com manutenção.

Palavras-chave: Troca de baterias de *nobreaks*. Baterias de *nobreaks*. Análise de dados de vida. Confiabilidade.

ABSTRACT

JUNIOR, Gilberto Berri. SPANÓ, Cláudio Caiani. **DETERMINATION OF UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY BATTERY REPLACEMENT OF GREAT RANGE AND INSTALLED PARK REPLACEMENT TIME.** Monograph of Specialization in Reliability Engineering of Academic Department of Electrical Engineering at Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2015.

Uninterruptible Power Supply is an electronic equipment used to provide stabilized and uninterruptible power to the load. The main failure mode in these equipment is caused by depletion of batteries after overcoming the number of cycles of charge and discharge recommended by the manufacturer. The objective of this article is to determine the optimal preventive replacement interval of batteries of small UPS's (1,2KVA) and to determine the optimal time of overhaul of 1500 equipment based on corrective maintenance logs and through methods of life data analysis, optimization and reliability growth. Distribution failures models will be obtained to equipment of five regions of State of Paraná, optimization flowcharts of preventive maintenance will be simulated and reliability performance of these UPS's will be analysed in order to determine the optimal time for replacement by new equipment. The analysis results will be compared with the current policies of preventive maintenance and obsolescence of the company in order to optimize maintenance costs.

Keywords: UPS battery replacement. UPS batteries. Life data analysis. Reliability.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Amostra de dados da região de Ponta Grossa	3
Tabela 2 - Dados de falhas e suspensões para cada região.....	3
Tabela 3 - Parâmetros das distribuições log-normal.....	5
Tabela 4 - Intervalo ótimo de troca de baterias.....	8
Tabela 5 - Risco de intervenções corretivas.....	8
Tabela 6 – Tempo de overhaul do parque e risco de corretivas associado ao adiantamento.....	9
Tabela 7 – Resumo dos resultados.....	10
Tabela 8 – Resumo dos resultados financeiros.....	10

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Troca de baterias de <i>nobreak</i> de 1200 VA.....	1
Figura 2 – Ciclos de carga e descarga de baterias.....	2
Figura 3 – Custos com manutenção preventiva e corretiva.....	3
Gráfico 1 – Modelo probabilístico de distribuição de falhas dos nobreaks do parque.....	5
Gráfico 2 – Confiabilidade dos nobreaks do parque.....	6
Gráfico 3 – Taxa de falhas dos nobreaks do parque.....	6
Figura 4 - Diagrama de otimização de periodicidade de troca de baterias.....	7

LISTA DE SIGLAS, acrônimos e Abreviaturas

SUMÁRIO

1. Introdução.....	1
2. Embasamento teórico.....	2
3. Modelos de distribuição de falhas.....	4
4. Determinação da periodicidade ótima de troca de baterias.....	7
5. Determinação do tempo de substituição do parque instalado.....	9
6. Análise dos resultados.....	10
7. Conclusão.....	11
REFERÊNCIAS.....	12

1. Introdução

Segundo a NBR 15014 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003, p.2), *nobreaks* são formados pela “combinação de conversores, chaves e armazenamento de energia por baterias, constituindo um sistema de alimentação de potência capaz de assegurar a continuidade da alimentação à carga, em caso de falha da alimentação de entrada.” No caso estudado, foram analisados *nobreaks* de pequeno porte (1,2 kVA) que possuem duas baterias internas seladas do tipo VRLA de 12V e 7 A.h, conforme figura 1. A carga usual destes *nobreaks* são equipamentos de informática. O modo de falha dominante é causado pelo esgotamento das baterias após superar o número de ciclos de carga e descarga recomendado pelo fabricante destas.

Figura 1 – Troca de baterias de *nobreak* de 1200 VA



Fonte: Autoria própria com equipamento da empresa (2014)

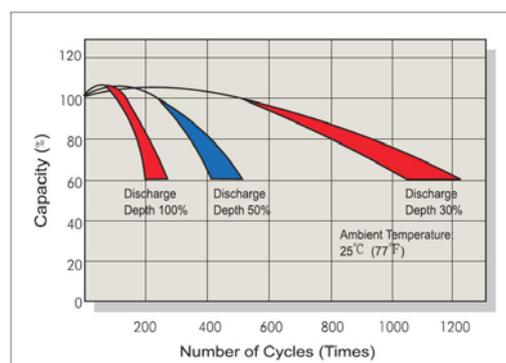
O objetivo deste trabalho é determinar o intervalo ótimo de substituição preventiva de baterias de *nobreaks* e determinar o tempo ótimo de substituição de todo parque de 1.500 equipamentos com base em histórico de manutenção corretiva e com métodos de análise de dados de vida, de otimização e de crescimento de confiabilidade.

Foram obtidos os modelos de distribuição de falhas do parque de equipamentos para cinco regiões do Estado do Paraná (Curitiba, Ponta Grossa, Londrina, Maringá e Cascavel) simulados os diagramas de otimização de manutenção preventiva e analisados os desempenhos de confiabilidade dos *nobreaks* para essas regiões a fim de determinar o tempo ideal de substituição por equipamentos novos. Para os cálculos de confiabilidade, foram utilizados os aplicativos da Reliasoft Weibull++, RENO e RGA. Os resultados da análise foram comparados com as atuais políticas de manutenção preventiva e obsolescência da empresa detentora dos equipamentos a fim de otimizar custos com manutenção. Atualmente, o intervalo de troca de baterias é de 2 anos e o tempo de renovação do parque é de 8 anos.

2. Embasamento teórico

Segundo a NBR 5462 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994, p.3), confiabilidade é “a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo” e falha é “o término da capacidade de um item em desempenhar a função requerida”. Neste artigo, será considerado falha do *nobreak* quando este não mantém a carga estabilizada por um tempo mínimo (tipicamente de 2 a 5 minutos) na ausência de energia elétrica da rede. Essa falha está relacionada com o final da vida útil do par de baterias, tipicamente 200 ciclos de carga e descarga conforme a primeira curva da figura 2.

Figura 2 – Ciclos de carga e descarga de baterias

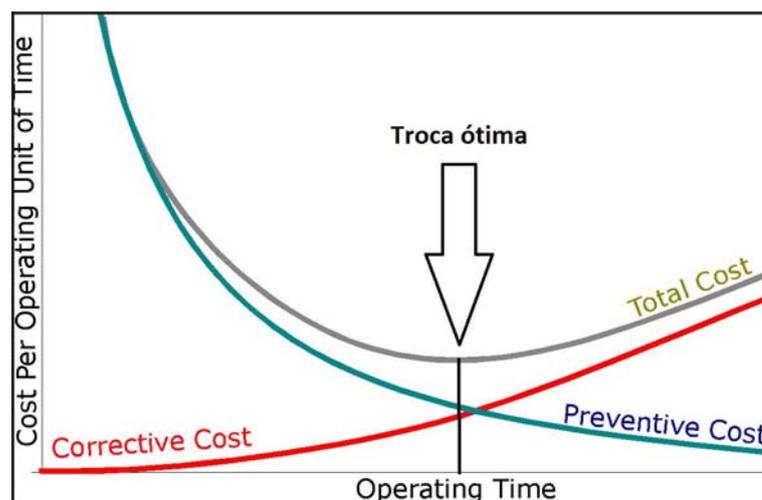


Fonte: CSB Battery (2005, p. 2)

A principal causa de falha nas baterias é “sobrecarga das mesmas e deve-se ao modo de carga do tipo flutuação” (GUN *et al.*, 1997, p. 391). Segundo estes autores (*ibidem*, 1997, p. 391), “incorrekções na compensação de tensão e altas temperaturas de operação somente aceleram a ocorrência de falhas.”

A manutenção preventiva ou planejada de um equipamento, que é realizada antes que a falha ocorra, se justifica quando duas condições forem satisfeitas: (i) se esse equipamento se desgasta com o tempo, ou seja, apresenta taxa de falha crescente e (ii) se o custo da manutenção preventiva for menor que o da manutenção corretiva ou não planejada, que ocorre quando o equipamento quebra. Dessa forma, será possível calcular um tempo ótimo para manutenção preventiva (RELIASOFT, 2002). Na figura 3 é apresentado um gráfico que mostra esse tempo ideal, que é o ponto mínimo da curva do custo total.

Figura 3 – Custos com manutenção preventiva e corretiva



Fonte: Reliasoft (2002, p.3)

De maneira equivalente, o tempo de substituição por equipamento novo também pode ser calculado se o item sofre desgaste com o uso e se o custo do reparo (corretivo ou preventivo) for menor que o custo de substituição ou *overhaul* (RELIAWIKI, 2014).

Com a otimização da política de substituição é possível encontrar um equilíbrio ótimo entre custos crescentes de operação/manutenção e custos decrescentes de depreciação do

equipamento com o objetivo de determinar o custo mínimo total e determinar o momento ideal de troca por equipamento novo (RIGONI, 2014, p.183-184).

3. Modelos de distribuição de falhas

Foram analisados 1.500 *nobreaks* que passaram por pelo menos uma intervenção corretiva, ou seja, tiveram suas baterias trocadas pelo menos uma vez. No caso estudado, a idade atual do parque é de 2.041 dias ou 5 anos e 7 meses aproximadamente. Na tabela 1 é apresentada amostra de 6 *nobreaks* da região de Ponta Grossa sendo que 2 falharam pela segunda vez e 4 falharam apenas uma vez.

Tabela 1 - Amostra de dados da região de Ponta Grossa

Número de série do <i>nobreak</i>	Tempo até a 1° falha (dias)	Tempo até a 2° falha (dias)	Tipo	Tempo entre falhas ou entre falha e suspensão (dias)
54xxxxxx28	281	1110	Falha	829
54xxxxxx41	1212	1923	Falha	711
54xxxxxx12	1730	2041 (fim da análise)	Suspensão	311
54xxxxxx48	1110	2041 (fim da análise)	Suspensão	931
54xxxxxx62	1532	2041 (fim da análise)	Suspensão	509
54xxxxxx24	1049	2041 (fim da análise)	Suspensão	992

Fonte: Autoria própria com dados do histórico de manutenção da empresa (2014)

Na tabela 2, a coluna 'Falhas' mostra o número de *nobreaks* que tiveram duas ou mais trocas durante o ciclo de vida e a coluna 'Suspensões' apresenta a quantidade de equipamentos que ainda não sofreram a segunda troca, ou seja, ainda não falharam pela segunda vez. Cerca de 21,7% dos *nobreaks* do parque já falhou pela segunda vez.

Tabela 2 - Dados de falhas e suspensões para cada região

Base	Falhas	Suspensões	Falhas e suspensões
Curitiba	32	157	189
Ponta Grossa	43	223	266
Londrina	59	265	324
Cascavel	96	256	352
Maringá	95	274	369
Parque	325	1175	1500

Fonte: Autoria própria com dados do histórico de manutenção da empresa (2014)

O aplicativo Weibull++ “oferece um conjunto de ferramentas para a análise de dados de vida (análise de confiabilidade) utilizando mais de 13 distribuições estatísticas, permitindo diversos tipos de cálculos, gráficos e relatórios.” (RELIASOFT, 2015). Com o tratamento dos dados de falhas pelo aplicativo Weibull++, foram obtidos os parâmetros da distribuição

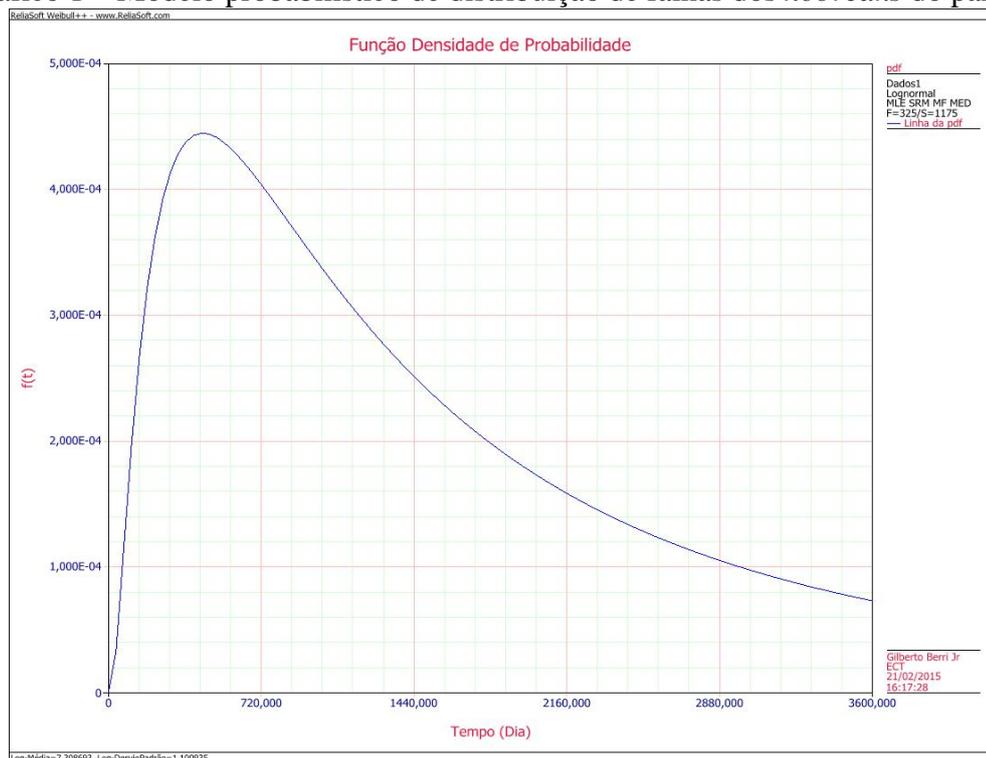
probabilística mais aderente pelo método da máxima verossimilhança. Nesses cálculos foi utilizado limite de confiança bilateral de 90%, ou seja, pode-se afirmar com 90% de probabilidade que os resultados representam a realidade. Na Tabela 3, são apresentados os parâmetros das distribuições por região e no Gráfico 1 é plotada a distribuição do parque. Nos gráficos 2 e 3 são apresentados a confiabilidade e taxa de falha dos *nobreaks* respectivamente.

Tabela 3 - Parâmetros das distribuições log-normal

Base	Média	Desvio Padrão
Curitiba	7,32	1,01
Ponta Grossa	7,32	1,10
Londrina	7,13	0,99
Cascavel	6,95	0,92
Maringá	7,18	0,95
Parque	7,23	1,05

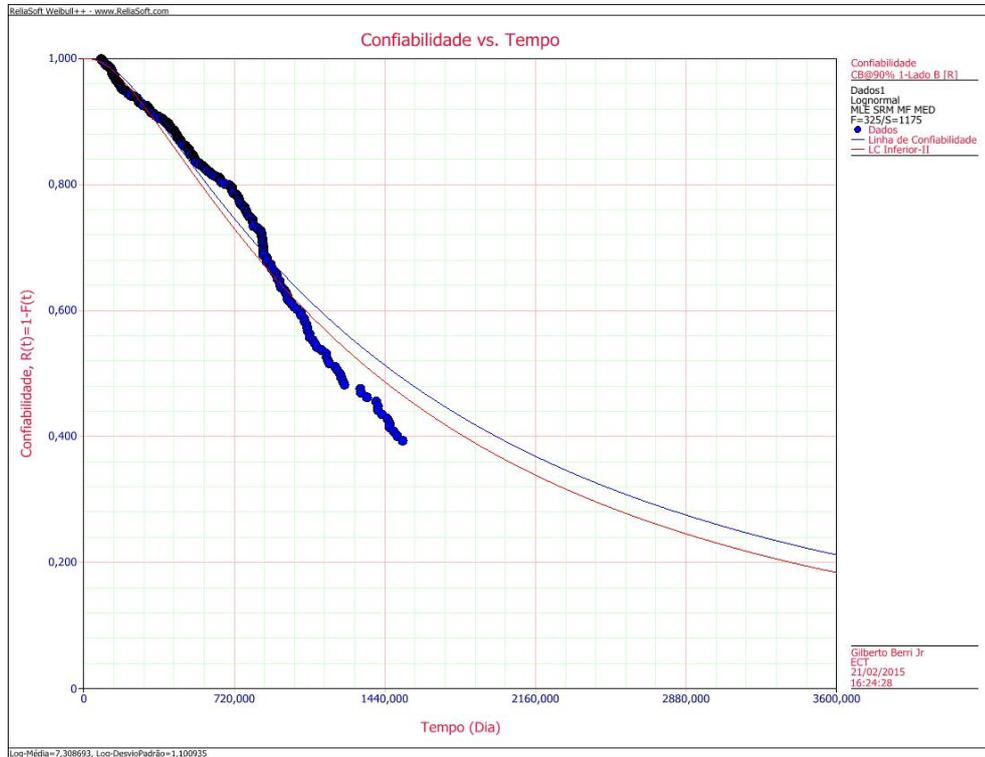
Fonte: Autoria própria com dados do aplicativo Weibull++

Gráfico 1 – Modelo probabilístico de distribuição de falhas dos *nobreaks* do parque



Fonte: Aplicativo da Reliasoft Weibull++

Gráfico 2 – Confiabilidade dos *nobreaks* do parque



Fonte: Aplicativo da Reliasoft Weibull++

Gráfico 3 – Taxa de falhas dos *nobreaks* do parque



Fonte: Aplicativo da Reliasoft Weibull++

4. Determinação da periodicidade ótima de troca de baterias

Com a otimização da manutenção é possível encontrar um balanço ótimo entre manutenção preventiva e manutenção corretiva com o objetivo de reduzir custos (RIGONI, 2014, p.180). O ideal é adiar a preventiva ao máximo para pouco antes da necessidade de uma corretiva. O intervalo ótimo de troca “t” será o tempo que minimizará o Custo/Tempo da equação 1, sendo R(t) a confiabilidade no tempo t, C_{PREVENTIVA} e C_{CORRETIVA} OS custos de preventivas e corretivas respectivamente.

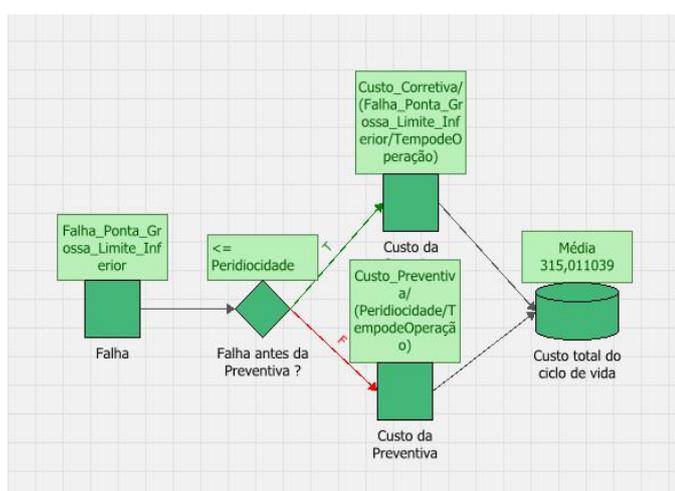
Equação 1 – Modelo matemático de troca ótima preventiva

$$\frac{\partial}{\partial t} \left[\frac{C_{\text{Preventiva}} \times R(t) + C_{\text{Corretiva}} \times [1 - R(t)]}{\int_0^t R(t) dt} \right] = 0$$

Fonte: Autoria própria adaptado de Rigoni (2014, p. 187)

Para os cálculos de otimização, foram utilizados custos médios de manutenção preventiva e corretiva praticados no mercado, R\$ 50,00 e R\$ 90,00 respectivamente, descontados custos com baterias, ou seja, esses valores são de mão de obra. O tempo de operação considerado na análise foi de 2.920 dias ou 8 anos. Estas informações estão contidas no diagrama da figura 4.

Figura 4 - Diagrama de otimização de periodicidade de troca de baterias



Fonte: Aplicativo RENO com diagrama adaptado de Costa (2014, p. 121)

O aplicativo RENO permite a criação de fluxogramas “para realizar análises de sensibilidade para avaliar e identificar as variáveis que afetarão o resultado final e automaticamente estimar seus valores ótimos pela execução de múltiplas simulações” (RELIASOFT, 2015).

Com os dados das distribuições de falha de cada região e de informações de custos de manutenção preventiva e corretiva, foi simulado no aplicativo RENO o diagrama da figura 3 e obtido os valores apresentados na tabela 4. A análise de sensibilidade foi feita entre 2 e 3 anos modificando a variável periodicidade com o objetivo de minimizar o custo total do ciclo de vida. Na tabela 4, é observado que, com exceção da região de Cascavel, haveria economia de 30,3% com o adiamento das preventivas em 317 dias.

Tabela 4 - Intervalo ótimo de troca de baterias

Base	Preventiva (limite inferior em dias)	Adiamento (dias)	Economia com adiamento (%)
Curitiba	1047	317	30,3
Ponta Grossa	1047	317	30,3
Londrina	1046	316	30,2
Cascavel	896	166	18,5
Maringá	1046	316	30,2
Parque	1047	317	30,3

Fonte: Autoria própria com dados do aplicativo RENO

Na tabela 5 é apresentada a probabilidade de falha dos *nobreaks* para o tempo ótimo de periodicidade de troca de baterias, ou seja, o risco de ter que realizar uma intervenção não programada (corretiva) e o aumento no risco devido ao adiamento das preventivas quando comparado com a atual política de trocas programadas.

Tabela 5 - Risco de intervenções corretivas

Base	Risco em 2 anos	Risco no tempo ótimo	Aumento do risco (%)
Curitiba	0,2013	0,2971	47,6
Ponta Grossa	0,2199	0,3127	42,2
Londrina	0,2616	0,3754	43,5
Cascavel	0,3177	0,3931	23,7
Maringá	0,2479	0,3676	48,3
Parque	0,2578	0,3736	44,9

Fonte: Autoria própria com dados do aplicativo Weibull++

5. Determinação do tempo de substituição do parque instalado

Para os cálculos de substituição, foram utilizados custos médios de manutenção corretiva e de aquisição de equipamento novo praticados no mercado. No caso analisado, R\$ 90,00 e R\$ 350,00 respectivamente.

O aplicativo RGA “permite realizar análise de sistemas reparáveis, incluindo um método para analisar o comportamento da confiabilidade do sistema durante seu tempo de operação, e assim calcular o tempo ótimo para sua substituição” (RELIASOFT, 2015).

Com amostras aleatórias de cada região, representando 10% do parque, foram calculados no aplicativo RGA pelo método modelo de potência os valores apresentados na tabela 6, que mostram que é possível economia de pelo menos 5,3%, com exceção da região de Ponta Grossa, na qual a renovação do parque deveria ser feita 461 dias antes do previsto.

Tabela 6 – Tempo de *overhaul* do parque e risco de corretivas associado ao adiamento

Base	Overhaul (dias)	Adiamento (dias)	Economia com adiamento (%)	Risco de corretivas (%)
Curitiba	3348	428	14,7	0,1152
Ponta Grossa	2459	-461 (adiantamento)	-15,8 (custo)	0
Londrina	3642	722	24,7	0,2242
Cascavel	3076	156	5,3	0,0728
Maringá	3469	549	18,8	0,1932
Parque	3163	243	8,3	0,0867
Parque sem Ponta Grossa	3361	441	15,1	0,1573

Fonte: Autoria própria com dados do aplicativo RGA

Se os equipamentos da região de Ponta Grossa fossem desconsiderados do parque, a substituição dos equipamentos poderia ser adiada em 16 meses.

6. Análise dos resultados

Na tabela 7 é apresentado o resumo dos resultados. O intervalo de troca de baterias pode ser adiado em 10 meses e o de substituição de parque em 8 meses.

Tabela 7 – Resumo dos resultados

Ação	Política da empresa	Tempo ótimo
Intervalo de troca de baterias	2 anos	2 anos e 10 meses
Substituição de parque	8 anos	8 anos e 8 meses

Fonte: Autoria própria

Na região de Cascavel a troca preventiva de baterias seria recomendada 5 meses antes de todo o parque, pois a influência da temperatura e da umidade é mais crítica que nas demais e acelera o desgaste das baterias. Na região de Ponta Grossa a substituição seria recomendada 2 anos antes de todo o parque, pois indústrias nessa região comprometem a qualidade da energia elétrica forçando uma operação mais severa dos *nobreaks*, diminuindo sua vida útil. Portanto, os *nobreaks* do parque não estão submetidos exatamente a mesma condição de uso.

Na tabela 8 é apresentado um resumo dos resultados financeiros supondo R\$ 90,00 o custo da manutenção corretiva, R\$ 50,00 o da preventiva e R\$ 350,00 o de equipamento novo.

Tabela 8 – Resumo dos resultados financeiros

Ação	Economia com adiamento	Gastos extras com corretivas	Saldo
Intervalo de troca de baterias	R\$ 22.725,00	R\$ 15.633,00	R\$ 7.092,00
Substituição de parque	R\$ 79.275,00	R\$ 35.905,00	R\$ 43.370,00

Fonte: Autoria própria

Adiando a troca de baterias em 10 meses e assumindo aumento de 44,9% no risco de corretivas seria possível economizar até R\$ 7.092,00. Durante o ciclo de vida dos equipamentos as baterias são trocadas de 2 a 4 vezes, logo a economia será ainda maior. Adiando a substituição do parque em 8 meses mesmo assumindo risco de 15,7% de

corretivas e troca precoce dos *nobreaks* de Ponta Grossa seria possível economizar até R\$ 43.370,00.

7. Conclusão

Com a utilização dos aplicativos e ferramentas de engenharia de confiabilidade apresentados é possível reduzir custos de manutenção e tomar as melhores decisões durante o ciclo de vida dos equipamentos. No caso analisado, seria possível economizar até R\$ 50.462,00, apenas aumentando a periodicidade de preventivas em 10 meses e adiando a substituição do parque em 8 meses, mesmo assumindo o risco de aumento do número de corretivas. A economia total poderia representar 10% do custo de aquisição de 1500 equipamentos novos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15014: Conversor a semicondutor - Sistema de alimentação de potência ininterrupta, com saída em corrente alternada (nobreak)**. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade**. 1997.

COSTA, Cid Augusto. **Análise e gerenciamento de risco**. Apostila de disciplina, 2014. Curso de pós-graduação em engenharia da confiabilidade, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

RIGONI, Emerson. **Manutenção centrada em confiabilidade**. Apostila de disciplina, 2014. Curso de pós-graduação em engenharia da confiabilidade, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

CSB Battery Co. **GP1272 Spec Sheet**.

Disponível em: <<http://www.csb-battery.com/upfiles/dow01404181908.pdf>> Acesso em: 15 nov. 2014

GUN, Jean-Paul. *et al.* **Increasing UPS battery life: main failure modes, charging and monitoring solutions**.

Telecommunications Energy Conference, 1997. INTELEC 97., 19th International

RELIASOFT. (a) **Optimum preventive maintenance replacement time for a single component**. Disponível em:

<<http://www.reliasoft.com/newsletter/2Q2000/index.htm>> Acesso em: 15 nov. 2014

RELIASOFT. (b) **Plataforma Synthesis** Disponível em:

<<http://www.reliasoft.com.br/products.htm>> Acesso em: 10 jan. 2015

RELIAWIKI. (c) **Optimum Overhaul Example**. Disponível em:

<http://reliawiki.org/index.php/Optimum_Overhaul_Example> Acesso em: 15 nov. 2014