

Análise da viabilidade econômica da substituição de banco de baterias: chumbo-ácido x Ni-Cd, considerando diferentes temperaturas ambiente

Raisa Tatiana Ferreira

Departamento de Engenharia Elétrica (Egresso)
Universidade Federal do Espírito Santo
Vitória, Brasil

Resumo — Este artigo apresenta uma análise técnico-econômica de algumas possíveis opções para uma substituição de um banco de baterias, considerando diferentes faixas de temperatura e a vida útil do empreendimento. As baterias objeto dessa análise são a chumbo-ácido e a níquel-cádmio (alcalina) e o local de instalação considerado é uma plataforma de petróleo, embora a análise seja aplicável também a sistemas de energia renovável. Será determinado, no final do estudo, as condições nas quais a instalação da bateria níquel-cádmio é mais vantajosa, comparada à chumbo-ácido

Palavras-chave — análise técnico-econômica, baterias, temperatura, vida útil.

I. INTRODUÇÃO

Um componente importante em sistemas elétricos são os sistemas de armazenamento de energia, sendo vitais para o atendimento de cargas que não toleram interrupções no fornecimento de energia, ou que devem ser acionadas em caso de corte no fornecimento de eletricidade. Uma opção de armazenamento de energia bastante utilizada são as baterias, formadas por um conjunto de células que convertem energia química em energia elétrica, por meio de reações de oxirredução [1]. Bancos de baterias possuem diversas aplicações, entre elas: UPS (Sistema ininterrupto de energia), sistemas de telecomunicações, iluminação de emergência, sistemas de energia alternativa (geração eólica e fotovoltaica) e sistemas de controle em plataformas de petróleo [2].

Atualmente, o tipo de bateria mais utilizado em aplicações estacionárias é o chumbo-ácido, devido ao seu baixo custo e grande oferta no mercado [2]. Porém, as baterias Níquel-Cádmio apresentam inúmeras vantagens técnicas com relação ao chumbo-ácido, entre elas: maior vida útil e menor sensibilidade a temperaturas mais altas (acima de 30°C). Existem ainda outras tecnologias desse componente disponíveis no mercado, como a bateria de íon de lítio. Por ora, este trabalho tem como foco as duas opções mais empregadas em sistemas de energia: chumbo-ácido e níquel-cádmio.

Há vários fatores que afetam a vida útil de uma bateria, sendo os principais a taxa de descarga, a profundidade de descarga e a temperatura ambiente [3]. A vida útil de uma bateria chumbo-ácido é consideravelmente reduzida em temperaturas acima de 25°C, o que pode acarretar em despesas

extras para o empreendimento [4]. Este artigo visa determinar as condições nas quais é mais vantajosa a instalação de baterias Níquel-Cádmio, levando em consideração a temperatura ambiente e o tempo de vida do empreendimento em questão.

II. BATERIAS

A. Histórico e princípio de funcionamento

A iniciativa de desenvolver um dispositivo para a conversão de energia química em energia elétrica pode ser atribuída ao físico italiano Alessandro Volta, criador da pilha galvânica, por volta do ano 1800. Em 1859, Gaston Planté desenvolveu uma bateria ácida recarregável, composta por placas de chumbo, separadas por tiras de borracha e mergulhadas em ácido sulfúrico [5].

Uma bateria é composta por uma associação de células eletroquímicas, constituídas por um eletrodo positivo (cátodo), um eletrodo negativo (ânodo), normalmente separados por um isolador, e imersos em um eletrólito. Na bateria, ocorrem reações de oxidação e redução (oxirredução), nas quais ocorre a transferência de elétrons. Esses elétrons são transportados do eletrodo negativo para o positivo por meio de um condutor externo, fechando um circuito elétrico. O resultado desse processo é a eletricidade, que pode ser aproveitada para alimentar cargas [5].

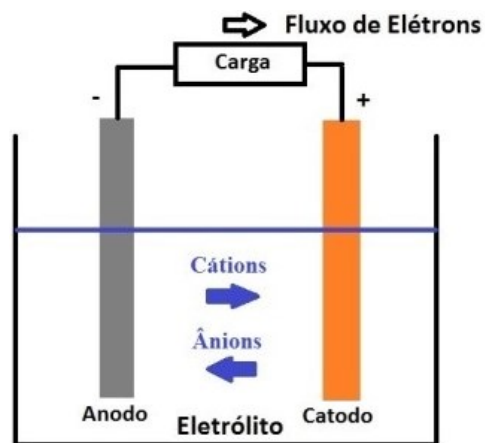
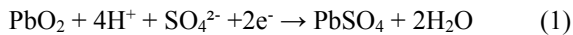


Fig. 1. Esquema de uma célula eletroquímica

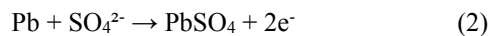
B. Baterias Chumbo-Ácido

Esse tipo de bateria utiliza um cátodo de chumbo metálico, um ânodo de óxido de chumbo, e ácido sulfúrico, como eletrólito [6].

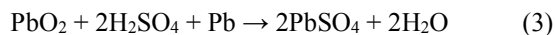
No ânodo, durante o processo de descarga, ocorre a seguinte reação química [6]:



Analogamente, no cátodo:



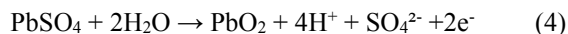
Essas equações podem ser resumidas em uma equação global do processo de descarga, expressa por:



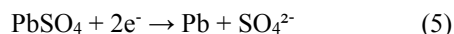
Analisando as equações expostas anteriormente, é possível perceber que o eletrólito participa das reações de oxirredução. No processo de descarga, à medida que é gerado sulfato de chumbo, a densidade do eletrólito diminui, sendo que o oposto ocorre na carga da bateria. Portanto, pode-se afirmar que a densidade do eletrólito é um indicativo do seu estado de carga [7].

Quando uma fonte com uma tensão maior do que a produzida pelas reações acima é conectada nos terminais da bateria, as equações são revertidas – ocorre, então, o processo de carga.

No ânodo [7]:



No cátodo:



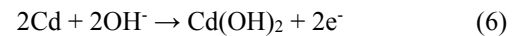
Além dessas reações, durante a carga da bateria também ocorre a eletrólise da água contida no eletrólito, produzindo hidrogênio a partir da placa negativa e oxigênio na placa positiva. Por essa razão, a água perdida nesse processo deve ser reposta periodicamente [7].

As baterias chumbo-ácido podem ser ventiladas ou seladas (reguladas por válvula - VRLA). As baterias seladas não possuem necessidade de reposição de água, pois são projetadas de modo a permitir a recombinação dos gases hidrogênio e oxigênio gerados na eletrólise da água. Porém, elas são mais sensíveis a altas temperaturas [8]. Adicionalmente, a bateria chumbo-ácido também pode sofrer “morte súbita”, devido à corrosão de componentes da estrutura, feitos de chumbo, resultando em falha ou perda severa de performance [9]. Além das aplicações estacionárias, em sistemas de energia, essas baterias também são usadas em veículos e cadeiras de rodas [9].

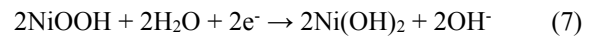
C. Baterias Níquel-Cádmio (alcalinas)

As baterias de Níquel-Cádmio (Ni-Cd) possuem ânodo composto de hidróxido de níquel e cátodo de cádmio, ambos mergulhados em uma solução eletrolítica alcalina, normalmente composta por hidróxido de potássio [10].

Durante a descarga, a seguinte reação ocorrerá no ânodo [11]:



Por sua vez, ocorrerá no cátodo:



A equação global de descarga dessa bateria é dada por:



Analisando as equações expostas acima, percebe-se que o eletrólito não está incluído. Logo, sua densidade é mantida constante durante o processo de carga e descarga da bateria. Diferentemente das baterias chumbo-ácido, o eletrólito das baterias Ni-Cd não participa das reações: ele apenas é utilizado para o transporte de hidroxilas (OH^-). Esse eletrólito não causa a corrosão de componentes da estrutura da bateria: por esse motivo, não há risco de “morte súbita” em baterias Ni-Cd [11]. Outra vantagem dessa tecnologia é a resistência a maiores faixas de temperatura. Por isso, as baterias níquel-cádmio encontram aplicações na área industrial, militar e espacial, onde a citada característica é de bastante relevância [11].

III. COMPARATIVO ENTRE AS TEMPERATURAS DE OPERAÇÃO: CHUMBO-ÁCIDO E NÍQUEL-CÁDMIO

O aumento da temperatura ambiente é um fator redutor da vida útil de todas as tecnologias de baterias. Como mencionado anteriormente, a vida útil da bateria chumbo-ácido é consideravelmente reduzida para temperaturas acima de 25°C. As baterias Ni-Cd são mais robustas, resistindo melhor ao aumento de temperaturas do ambiente. Adicionalmente, as baterias Ni-Cd também podem operar em temperaturas mais baixas [12].

Na Tabela I, estão as faixas de operação de baterias chumbo-ácido e Ni-Cd, fornecidas por alguns fabricantes [13] [14][15][16]:

TABELA I. TEMPERATURAS DE OPERAÇÃO

Tipo de Bateria:	Temperatura de operação
Chumbo-ácido	-15°C a 45°C (Moura), -20°C a 45°C (Weg)
Ni-Cd (alcalina)	-40°C a 60°C (Interberg), -50°C a 65°C (SAFT)

O aumento de temperatura de operação é traduzido em aumento da velocidade das reações químicas. Nas baterias chumbo-ácido, isso significa que a velocidade de corrosão das estruturas internas também é aumentado. Além disso, há um risco maior de ocorrência de avalanche térmica, processo em

que há aumento da temperatura interna dos componentes, sem que o calor gerado internamente na bateria seja dissipado, causando danos a bateria. Adicionalmente, as baterias chumbo-ácido também são mais sensíveis a baixas temperaturas: sua diminuição resulta na redução da capacidade da bateria, devido ao aumento da densidade/viscosidade do eletrólito, afetando seu desempenho [17]. O eletrólito da bateria chumbo-ácido congela em baixas temperaturas, o que pode danificar o equipamento. As baterias alcalinas resistem melhor ao aumento de temperatura e também podem operar em temperaturas mais baixas, visto que ela não apresenta o mesmo risco do congelamento do eletrólito [18].

Apesar da faixa de operação expostas na tabela acima, uma consulta aos manuais de diversos fabricantes de baterias chumbo-ácido indica como temperatura ideal de operação o valor de 25°C.

IV. ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA

Foi feita uma análise econômica da troca de um banco de baterias de 125 V e capacidade de 150 Ah, considerando como opções disponíveis as baterias chumbo-ácido e as baterias Ni-Cd. Nesta análise foram considerados diferentes cenários de temperatura ambiente e vida restante do empreendimento. O local de instalação escolhido para análise foi uma plataforma de petróleo, no meio de sua vida útil, onde é possível encontrar salas com temperaturas ambiente diferentes de 25°C. Finalmente, foi estabelecida uma taxa de inflação de 3% ao ano, para atualização dos preços dos materiais.

As trocas de baterias são efetuadas no ano zero e no final do ano correspondente ao fim da vida útil da bateria, caso necessário.

Os modelos de referência utilizados para esta análise são:

a) *Bateria chumbo-ácido*: Moura 12MN150 (63 células, com tensão por célula de 2V). Essa é uma bateria selada (VRLA), escolhida devido aos menores custos com manutenção. O gráfico da vida útil da bateria em função da temperatura ambiente pode ser visto a seguir.

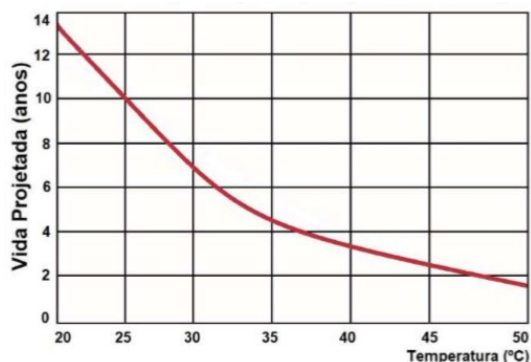


Fig. 2. Vida útil em função da temperatura – bateria chumbo-ácido

b) *Bateria Ni-Cd*: SAFT UP1M 150 (100 células, com tensão por célula de 1,2V). A vida útil para 25°C é estimada em 20 anos, de acordo com o fabricante. A medida que a

temperatura ambiente aumenta, ocorre o decréscimo da vida útil da bateria, conforme gráfico a seguir.

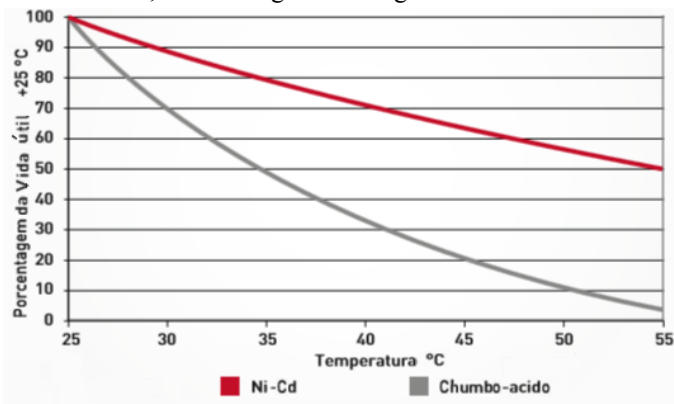


Fig. 3. Vida útil em função da temperatura – bateria alcalina

A escolha dos modelos levou em consideração a facilidade de aquisição no mercado brasileiro e a qualidade do produto. Não há fabricantes nacionais para a bateria Ni-Cd, portanto o modelo escolhido dessa bateria é importado. Após uma pesquisa ao mercado, o preço de aquisição do banco considerado nesta análise, para o ano zero, é de R\$ 12.020,10 para a bateria chumbo-ácido, e € 5875,75, para a bateria Ni-Cd. Foi considerada a taxa cambial €1,00 (euro) = R\$6,47, relativa ao fim da primeira quinzena de setembro do ano de 2020.

B. Para ambientes com temperatura $T=25^{\circ}\text{C}$

Nesse cenário, a vida útil estimada das baterias chumbo-ácido é de 12 anos, e a da bateria Ni-Cd é de 20 anos. Sua respectiva análise econômica pode ser vista na Tabela II.

TABELA II. ANÁLISE ECONÔMICA: $T = 25^{\circ}\text{C}$

Tipo de bateria:	Preço total – vida restante do empreendimento: 20 anos	Preço total – vida restante do empreendimento: 12 anos
Chumbo-ácido	R\$ 29.157,89	R\$ 12.020,10
Ni-Cd	R\$ 38.016,11	R\$ 38.016,11

C. Para ambientes com temperatura $T=30^{\circ}\text{C}$

A vida útil estimada das baterias chumbo-ácido é de 8 anos, e a da bateria Ni-Cd é de 18 anos.

TABELA III. ANÁLISE ECONÔMICA: $T = 30^{\circ}\text{C}$

Tipo de bateria:	Preço total – vida restante do empreendimento: 20 anos	Preço total – vida restante do empreendimento: 12 anos
Chumbo-ácido	R\$ 46.535,53	R\$ 27.246,80
Ni-Cd	R\$ 102.736,00	R\$ 38.016,11
Ni-Cd e Chumbo-ácido (2 anos restantes)	R\$ 58.479,53	-

D. Para ambientes com temperatura $T=35^{\circ}\text{C}$

A vida útil estimada das baterias chumbo-ácido é de 5 anos, e a da bateria Ni-Cd é de 16 anos. Considerando a vida restante do empreendimento de 20 anos e de 12 anos, o preço total de cada tecnologia pode ser visto na tabela IV, a seguir.

TABELA IV. ANÁLISE ECONOMICA: $T = 35^{\circ}\text{C}$

Tipo de bateria:	Preço total – vida restante do empreendimento: 20 anos	Preço total – vida restante do empreendimento: 12 anos
Chumbo-ácido	R\$ 60.835,62	R\$ 42.108,70
Ni-Cd	R\$ 99.020,81	R\$ 38.016,11
Ni-Cd e Chumbo-ácido (4 anos restantes)	R\$ 57.304,84	-

E. Para ambientes com temperatura $T=40^{\circ}\text{C}$

A vida útil estimada das baterias chumbo-ácido é de 3 anos, e a da bateria Ni-Cd é de 14 anos. A análise da viabilidade econômica, para esse cenário, está exposta na Tabela V, a seguir.

TABELA V. ANÁLISE ECONOMICA: $T = 40^{\circ}\text{C}$

Tipo de bateria:	Preço total – vida restante do empreendimento: 20 anos	Preço total – vida restante do empreendimento: 12 anos
Chumbo-ácido	R\$ 111.519,05	R\$ 55.190,92
Ni-Cd	R\$ 95.518,89	R\$ 38.016,11
Ni-Cd e Chumbo-ácido (6 anos restantes)	R\$ 76.064,98	-

Conforme esperado, à medida que a temperatura ambiente aumenta, maior será o número de trocas de bancos de bateria, visto que a vida útil desse equipamento será reduzida. Os resultados demonstram que a instalação de baterias chumbo-ácido para temperaturas acima de 35°C é inconveniente do ponto de vista do preço total. Entretanto, sua aplicação para a temperatura de 25°C e 30°C é economicamente justificável.

A bateria Ni-Cd é vantajosa em cenários com temperatura a partir de 35°C , onde a vida restante do empreendimento é igual ou pouco inferior à vida útil dessa tecnologia, considerando apenas o preço total. Isso implica em apenas uma substituição do banco de baterias, no ano zero. Em situações onde for necessária a substituição das baterias Ni-Cd, sendo que o empreendimento está próximo do fim da vida, pode-se empregar as baterias chumbo-ácido, opção vantajosa nos cenários de temperatura $T=35^{\circ}\text{C}$ e $T = 40^{\circ}\text{C}$ e vida restante do empreendimento de 20 anos.

F. Calculando o VPL – Valor Presente Líquido

Para aprofundar a análise econômica, foi calculado o valor presente líquido (VPL) de cada opção de troca de banco de

baterias. Para esse propósito, foi considerada a taxa básica de juros de 2% ao ano, referente ao mês de setembro de 2020.

- Para ambientes com temperatura $T=25^{\circ}\text{C}$, os resultados podem ser vistos na Tabela VI
- Para ambientes com temperatura $T=30^{\circ}\text{C}$, os resultados podem ser vistos na Tabela VII
- Para ambientes com temperatura $T=35^{\circ}\text{C}$, os resultados podem ser vistos na Tabela VIII
- Para ambientes com temperatura $T=40^{\circ}\text{C}$, os resultados podem ser vistos na Tabela IX

TABELA VI. VPL: $T = 25^{\circ}\text{C}$

Tipo de bateria:	VPL – vida restante do empreendimento: 20 anos	VPL – vida restante do empreendimento: 12 anos
Chumbo-ácido	R\$ 25.533,13	R\$ 12.020,10
Ni-Cd	R\$ 38.016,11	R\$ 38.016,11

TABELA VII. VPL: $T = 30^{\circ}\text{C}$

Tipo de bateria:	VPL – vida restante do empreendimento: 20 anos	VPL – vida restante do empreendimento: 12 anos
Chumbo-ácido	R\$ 39.066,74	R\$ 25.015,94
Ni-Cd	R\$ 88.330,35	R\$ 38.016,11
Ni-Cd e Chumbo-ácido (2 anos restantes)	R\$ 52.343,76	-

TABELA VIII. VPL: $T = 35^{\circ}\text{C}$

Tipo de bateria:	VPL – vida restante do empreendimento: 20 anos	VPL – vida restante do empreendimento: 12 anos
Chumbo-ácido	R\$ 51.807,38	R\$ 37.893,00
Ni-Cd	R\$ 82.454,73	R\$ 38.016,11
Ni-Cd e Chumbo-ácido (4 anos restantes)	R\$ 52.066,91	-

TABELA IX. VPL: $T = 40^{\circ}\text{C}$

Tipo de bateria:	Preço total – vida restante do empreendimento: 20 anos	Preço total – vida restante do empreendimento: 12 anos
Chumbo-ácido	R\$ 92.020,25	R\$ 50.265,19
Ni-Cd	R\$ 81.596,03	R\$ 38.016,11
Ni-Cd e Chumbo-ácido (6 anos restantes)	R\$ 65.983,95	-

Os VPLs da bateria chumbo-ácido e da Ni-Cd, para a temperatura de 35°C e vida restante do empreendimento estimada em 12 anos, são bastante próximos. Neste caso, uma escolha pautada por critérios puramente técnicos é justificável.

G. Refazendo a análise, com uma taxa cambial mais baixa

Alternativamente, foi feita uma análise do preço total, considerando a taxa cambial de €1,00 (euro) = R\$ 5,00, praticada em fevereiro de 2020.

- Para ambientes com temperatura T=25°C, os resultados podem ser vistos na Tabela X
- Para ambientes com temperatura T=30°C, os resultados podem ser vistos na Tabela XI
- Para ambientes com temperatura T=35°C, os resultados podem ser vistos na Tabela XII
- Para ambientes com temperatura T=40°C, os resultados podem ser vistos na Tabela XIII

TABELA X. ANÁLISE ECONOMICA: T = 25°C, €1,00 = R\$ 5,00

Tipo de bateria:	Preço total – vida restante do empreendimento: 20 anos	Preço total – vida restante do empreendimento: 12 anos
Chumbo-ácido	R\$ 29.157,89	R\$ 12.020,10
Ni-Cd	R\$ 28.753,95	R\$ 28.753,95

TABELA XI. ANÁLISE ECONOMICA: T = 30°C, €1,00 = R\$ 5,00

Tipo de bateria:	Preço total – vida restante do empreendimento: 20 anos	Preço total – vida restante do empreendimento: 12 anos
Chumbo-ácido	R\$ 46.535,53	R\$ 27.246,80
Ni-Cd	R\$ 77.705,63	R\$ 28.753,95
Ni-Cd e Chumbo-ácido (2 anos restantes)	R\$ 49.217,37	-

TABELA XII. ANÁLISE ECONOMICA: T = 35°C, €1,00 = R\$ 5,00

Tipo de bateria:	Preço total – vida restante do empreendimento: 20 anos	Preço total – vida restante do empreendimento: 12 anos
Chumbo-ácido	R\$ 60.835,62	R\$ 42.108,70
Ni-Cd	R\$ 74.895,60	R\$ 28.753,95
Ni-Cd e Chumbo-ácido (4 anos restantes)	R\$ 48.042,68	-

TABELA XIII. ANÁLISE ECONOMICA: T = 40°C, €1,00 = R\$ 5,00

Tipo de bateria:	Preço total – vida restante do empreendimento: 20 anos	Preço total – vida restante do empreendimento: 12 anos
Chumbo-ácido	R\$ 111.519,05	R\$ 55.190,92
Ni-Cd	R\$ 72.246,88	R\$ 28.753,95
Ni-Cd e Chumbo-ácido (6 anos restantes)	R\$ 66.802,82	-

Nas tabelas a seguir, encontra-se o cálculo do VPL, para as possíveis opções de aquisição de banco de baterias. Considere-se a taxa básica de juros de 2% ao ano, para a execução dos cálculos.

- Para ambientes com temperatura T=25°C, os resultados podem ser vistos na Tabela XIII
- Para ambientes com temperatura T=30°C, os resultados podem ser vistos na Tabela XIV
- Para ambientes com temperatura T=35°C, os resultados podem ser vistos na Tabela XV
- Para ambientes com temperatura T=40°C, os resultados podem ser vistos na Tabela XVI

TABELA XIII. VPL: T = 25°C, €1,00 = R\$ 5,00

Tipo de bateria:	VPL – vida restante do empreendimento: 20 anos	VPL – vida restante do empreendimento: 12 anos
Chumbo-ácido	R\$ 25.533,13	R\$ 12.020,10
Ni-Cd	R\$ 28.753,95	R\$ 28.753,95

TABELA XIV. VPL: T = 30°C, €1,00 = R\$ 5,00

Tipo de bateria:	VPL – vida restante do empreendimento: 20 anos	VPL – vida restante do empreendimento: 12 anos
Chumbo-ácido	R\$ 39.066,74	R\$ 25.015,94
Ni-Cd	R\$ 63.027,92	R\$ 28.753,95
Ni-Cd e Chumbo-ácido (2 anos restantes)	R\$ 43.081,60	-

TABELA XV. VPL: T = 35°C, €1,00 = R\$ 5,00

Tipo de bateria:	VPL – vida restante do empreendimento: 20 anos	VPL – vida restante do empreendimento: 12 anos
Chumbo-ácido	R\$ 51.807,38	R\$ 37.893,00
Ni-Cd	R\$ 62.365,64	R\$ 28.753,95
Ni-Cd e Chumbo-ácido (4 anos restantes)	R\$ 42.804,75	-

TABELA XVI. VPL: T = 40°C, €1,00 = R\$ 5,00

Tipo de bateria:	Preço total – vida restante do empreendimento: 20 anos	Preço total – vida restante do empreendimento: 12 anos
Chumbo-ácido	R\$ 92.020,25	R\$ 50.265,19
Ni-Cd	R\$ 61.716,15	R\$ 28.753,95
Ni-Cd e Chumbo-ácido (6 anos restantes)	R\$ 56.721,79	-

Com a taxa cambial mais baixa, o preço total da bateria Ni-Cd passa a ser mais vantajoso para a temperatura de operação de 25°C, e vida útil restante do empreendimento de 20 anos.

Esse resultado foi obtido visto que não é prevista uma nova troca de baterias Ni-Cd nesse intervalo, enquanto é prevista uma substituição das baterias chumbo-ácido no futuro. Sendo assim, devido ao fator inflação, o preço pago futuramente não será o mesmo daquele pago no ano zero, equivalente da primeira troca. Com a taxa cambial mais baixa, a tecnologia Ni-Cd torna-se viável. Porém, o cálculo do VPL favorece a bateria chumbo-ácido. Para as temperaturas de 35°C e 40°C, a análise manteve o resultado favorável ao uso das baterias Ni-Cd em situações nas quais a vida restante do empreendimento é igual ou pouco inferior à vida útil dessa tecnologia.

Nos cenários cuja temperatura é igual ou inferior a 30°C, e a vida útil do empreendimento é igual ou menor a 12 anos, o uso de baterias chumbo-ácido é viável, especialmente para a temperatura de 25°C. Em ambientes com temperatura $T = 30^\circ\text{C}$, e vida útil de 12 anos, a diferença do preço total das baterias chumbo-ácido e Ni-Cd é pequena (a tecnologia chumbo-ácido é apenas 5,24% mais barata). Se considerados outros fatores, como custo de manutenção e as particularidades do sistema atendido pelo banco de baterias, há a possibilidade de um resultado diferente nesta análise, para este cenário particular.

H. Considerações sobre o descarte

É importante notar que as tecnologias de baterias estudadas neste artigo contêm metais pesados (chumbo, níquel e cádmio), que podem causar danos ambientais e danos à saúde das pessoas. Seu descarte incorreto pode resultar em poluição do solo e de lençóis freáticos [19]. Além da questão técnica e econômica, o emprego do tipo de bateria adequado contribui para a redução na quantidade gerada desse tipo de resíduo.

V. CONCLUSÃO

A bateria chumbo-ácido é opção de bateria mais barata e disponível no mercado, porém, à medida que a temperatura ambiente aumenta, a viabilidade do seu uso diminui. Sendo assim, as baterias Ni-Cd se mostraram mais vantajosas do ponto de vista técnico-econômico para temperaturas de 35°C e 40°C, enquanto as baterias chumbo-ácido são economicamente viáveis em ambientes com temperatura de 25°C e 30°C, conforme esperado.

Entretanto, a análise econômica foi fortemente influenciada pela taxa cambial praticada atualmente (setembro/2020), visto que as baterias Ni-Cd não são fabricadas em território nacional. Há, por sua vez, diversos fabricantes de baterias chumbo-ácido estabelecidos em solo brasileiro, condição que favorece seu fornecimento. O cenário de desvalorização do Real frente ao Euro e ao Dólar reduziu a viabilidade econômica da bateria Ni-Cd. A cotação dessas moedas estrangeiras em patamares mais favoráveis abriria novas possibilidades para a aplicação dessa tecnologia em território nacional.

Essa análise leva em consideração apenas o preço de aquisição das baterias, a taxa de inflação e a taxa cambial. Outros fatores que também podem influenciar o resultado desse estudo são os custos de manutenção, custos para descarte e o risco de morte súbita das baterias chumbo-ácido, não incluídos nesta análise, devido à ausência de dados. Para

futuros trabalhos, pode-se incluir esses fatores, para um estudo mais completo da viabilidade técnico-econômica dos tipos de baterias citados neste artigo.

Apesar deste artigo utilizar como local de referência uma plataforma de petróleo, seu conteúdo também encontra aplicabilidade em outros ambientes, onde seja necessário o uso de baterias estacionárias, como sistemas de geração de eletricidade a partir de fontes renováveis.

REFERÊNCIAS

- [1] R. L. Carneiro, J. H. A. Molina, B. Antoniassi, A. G. Magdalena, E. M. Pinto. "Aspectos essenciais das baterias chumbo-ácido e princípios físico-químicos e termodinâmicos do seu funcionamento". Revista virtual de química, vol. 9, pp. 889-911, junho de 2017
- [2] M.M. Thackeray. "Batteries: transportation applications," in Encyclopedia of energy, C. J. Cleveland, Elsevier, 2004, pp. 127-139.
- [3] Gauri, M. S. Bisht, P. C. Parit, R. C. Gairola. "The effect of temperature on flooded lead-acid battery performance". International Journal of Advanced Science and Research, vol 3, issue 1, pp 27-29, janeiro de 2018.
- [4] T. M. Layadi, G. Champenois, M. Mohammed, D. Abbes. Lifetime estimation tool of lead-acid batteries for hybrid power sources design, Simulation modelling, practice and theory, vol 54, pp. 36-48, março de 2015
- [5] L. Maria, R. Oliveira, G. H. F. Floriano. Análise da viabilidade técnica e econômica das baterias Lítio-Ar. Santa Rita do Sapucaí, MG: Inatel, 2013
- [6] R. A. Messenger, J. Ventre. Photovoltaic systems engineering, 3rd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2010
- [7] A. J. Salkind, A. G. Cannore, F. A. Trumbure. "Lead-acid batteries", in Handbook of Batteries, 3rd ed, D. Linden, T. B. Reddy, McGraw-Hill, 2001.
- [8] D. Pavlov. Lead-acid batteries: science and technology, 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 2017.
- [9] T. P. J. Crompton. Battery reference book, 3rd ed. Oxford, UK: Newnes, 2020
- [10] D. Akinyele, J. Belikov, Y. Levron. "Battery storage technologies for electrical applications: impact in stand-alone photovoltaic systems". Energies 2017, vol. 10, issue 11, novembro de 2017.
- [11] A. O. Nilsson, C. A. Baker. "Industrial and aerospace Nickel-Cadmium batteries," in Handbook of Batteries, 3rd ed, D. Linden, T. B. Reddy, McGraw-Hill, 2001.
- [12] A. O. Nilsson. "Nickel cadmium batteries in photovoltaic applications," in Energy and the environment: into the 1990s, 1st ed, A. A. M. Sayigh, Pergamon, 1990, pp 146-152.
- [13] I. Pegoretti. Manual técnico: linha estacionária, Moura VRLA, série MVA, 3ª ed. Moura, 2020
- [14] Weg. Baterias VRLA: chumbo-ácidas reguladas por válvula, 1ª ed. Jaraguá do Sul, SC, 2018
- [15] Interberg batteries. KPX Series, ultra high rate of discharge: sintered plate NiCd batteries, 3ª ed. Madrid, 2016.
- [16] SAFT Batteries. Folheto informativo de baterias: elementos, módulos e sistema de baterias industriais de níquel-cádmio, 2ª ed. 2018
- [17] F. Rahman, M. A. Basser, S. Rehman. "Assesment of electricity storage systems," in Solar energy storage, B. Sorensen, Academic Press, 2015, pp 63-114.
- [18] D. Spiers. "Batteries in PV systems," in McEvoy's handbook of photovoltaics, 3rd ed, S. A. Kalogirou, Academic Press, 2018, pp 789-843.
- K. Kelektsoğlu, D. Karali, A. Stavridis, G. Loupa. "Efficiency of air-pollution control system of a lead-acid battery recycling industry". Energies 2018, vol 11, issue 12, dezembro de 2018.