

IMPACTO DA INTRODUÇÃO DE BATERIAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA EM *SMART GRIDS*

Resumo

De forma a não comprometer o conforto ou a qualidade de vida, nos dias de hoje, é obrigatório que a energia elétrica esteja presente. Sendo indispensável, torna-se necessário assegurar que a sua distribuição seja feita da forma mais eficiente possível.

Uma resposta rápida e eficaz a possíveis falhas que ocorram na rede, irá garantir a tal qualidade de serviço desejada. Para isso, a automatização dos processos é uma grande evolução e objetivo de concretização do setor elétrico.

Neste contexto surge o conceito de Smart Grid, que tem como principal objetivo a combinação entre o setor elétrico e a evolução da tecnologia. A par desta característica, estes tipos de redes vêm também trazer evoluções no âmbito ambiental, pois a produção de energia elétrica é feita, maioritariamente, por fontes de energia renovável.

Este projeto incide na análise das vantagens técnicas e económicas da inclusão de equipamentos que detêm capacidades de armazenamento de energia, as Baterias de Armazenamento de Energia (BAE), neste tipo de redes.

Neste estudo foi usado o método do Despacho Económico, que tem como principal objetivo a determinação dos níveis de produção de todas as unidades geradoras do sistema ao mais baixo custo de produção, satisfazendo a carga. Com recurso a este método, foram criados vários cenários de estudo com vista a validar o estudo apresentado neste artigo.

Neste artigo é também realizado um estudo de viabilidade económica destes equipamentos de armazenamento de energia.

I. Enquadramento geral

Tal como é de conhecimento geral, o desenvolvimento do setor energético tomou porções impensáveis, levando a uma enorme dependência do ser humano para com a energia elétrica. Desta forma, é de extrema importância garantir a qualidade de serviço no fornecimento de energia elétrica (menor número de falhas na alimentação possível), garantindo assim a satisfação e a comodidade dos clientes.

Para que a qualidade de serviço seja assegurada, é necessário que as redes para além de conseguirem responder corretamente à exigência da procura, se tornem mais eficientes e seguras.

A eficiência energética pode ser descrita como a relação entre a energia útil de um processo e a energia necessária para ativar esse mesmo processo. Para que esta relação seja cada vez melhor, isto é, para que haja pouco desperdício de energia, surgiram as *Smart Grids* (Figura 1), que integram a evolução da eletrónica e da Tecnologia de Informação e Comunicação (TIC) nos Sistemas Elétricos de Energia (SEE).

Apesar de já existirem certos mecanismos automatizados nas redes elétricas, grande parte das operações das entidades responsáveis são feitas de forma manual e não integrada. Assim, integrando estas recentes tecnologias, o “trabalho humano” reduziria substancialmente, fazendo com que as operações passassem a ser automatizadas, resultando numa utilização mais eficiente da energia [1].

A implementação deste tipo de redes, apesar de se refletir em ganhos claros, necessita de uma preparação prévia das infraestruturas, que por sua vez engloba custos para a sua realização [2]. Com isto, através de um programa europeu, o *Horizon 2020*, foram criados incentivos monetários para possibilitar a sua construção [3].

Para além do melhoramento da qualidade de serviço e da segurança que está adjacente à criação de *Smart Grids*, este tipo de redes tem ainda uma outra grande vantagem porque recorre a fontes de energia renováveis.

Para ser possível proceder ao armazenamento de energia foram criados alguns equipamentos tais como as Baterias de Armazenamento de Energia (BAE's). A sua recente incorporação em *Smart Grids*, veio ainda trazer mais benefícios, tanto a nível técnico como a nível económico [4].

Quanto à vertente económica, tal como sucede nas redes convencionais, os níveis de produção de cada unidade geradora e da própria BAE existente no sistema acarretam custos. Para isso, com a utilização de metodologias de cálculo, denominados por Despachos Económicos, tornou-se possível a minimização desses mesmos custos.

Utilizando essas metodologias, torna-se possível saber quais são os níveis de produção que cada unidade necessita de ter para satisfazer a procura, da forma mais eficiente do ponto de vista económico e técnico.

II. Modelo do despacho económico aplicado a *Smart Grids*

O Despacho Económico para *Smart Grids* consiste em determinar a potência necessária proveniente das unidades geradoras, bem a potência de saída (ou de entrada) das BAE's e da rede principal em cada período de tempo, com vista à otimização (minimização) dos custos operacionais de geração de energia [5] [6].

A função objetivo da Formulação Matemática do Despacho Económico está representada pela equação (1):

$$\min C = \sum F_k(P_k) + F_{rede}(Prede) + F_{BAE}(P_{BAE}) \quad (1)$$

Relativamente às restrições:

$$\sum P_k + Prede + P_{BAE} - P_{trans} = P_{carga} \quad (2)$$

$$P_{kmin} \leq P_k \leq P_{kmax} \quad (3)$$

$$Prede_{min} \leq |Prede| \leq Prede_{max} \quad (4)$$

$$-P_{max_car} \leq P_{BAE} \leq P_{max_descar} \quad (5)$$

Como a *Smart Grid* se encontra interligada com a rede principal, esta inclui m unidades geradoras e uma BAE.

A equação (2) diz respeito à restrição do equilíbrio de carga e de produção. Na equação (3) está representada a restrição dos limites de produção das unidades geradoras existentes. A equação (4) é referente à restrição de transmissão de energia entre a rede principal e a *Smart Grid*. A restrição da potência da BAE é representada pela equação (5) [7].

Nota: ver Nomenclatura.

III. Simulações e análises

De forma a se poder fazer uma análise prática deste conteúdo, serão apresentados diversos casos de estudo, entre os quais a *Smart Grid* interligada à rede principal e a *Smart Grid* interligada à BAE.

Para cada caso, foi desenvolvido um estudo relativo ao comportamento de cada unidade geradora face à aplicação do método do Despacho Económico (através da utilização de duas ferramentas computacionais – Excel e Matlab) e, no final, um estudo relativo à viabilidade económica da implementação de uma BAE num sistema.

a) Rede de Estudo

Para a realização do problema, é então necessário definir a rede de estudo.

Foi selecionada uma rede de 6 barramentos, 4 unidades geradoras, 4 cargas e ainda uma ligação à rede principal.

A carga apresenta um comportamento dinâmico, isto é, sofre variações ao longo do tempo, mais precisamente ao longo do dia.

A figura 1 mostra a rede em estudo.

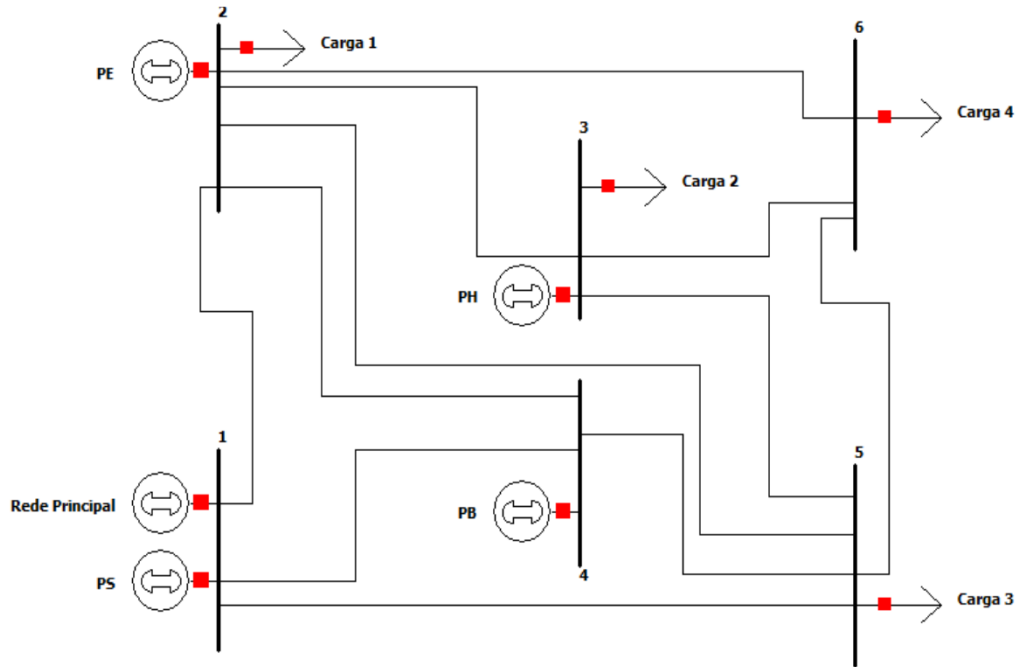


Figura 1. Rede de Estudo

Relativamente às unidades geradoras existentes, o sistema possui uma fonte de produção com base ao recurso Solar (PS), uma fonte de produção com base ao recurso Eólico (PE), uma fonte de produção com base ao recurso Hídrico (PH) e uma fonte de produção com base na cogeração a Biomassa (PB).

Cada unidade possui os respetivos limites, máximo e mínimos, de produção e custos de produção (Tabela 1) [8] [9].

Tabela 1. Características das Unidades da Rede

Unidades Geradoras			
Nome	Limite Mínimo (kW)	Limite Máximo (kW)	Custos de Produção (€)
PS	0	6	0,455
PE	0	12	0,65
PH	0	30	0,195
PB	0	30	0,195
Rede Principal	0	30	0,0231

A BAE, desenvolvida segundo [10], tem o respetivo perfil representado na Figura 2.

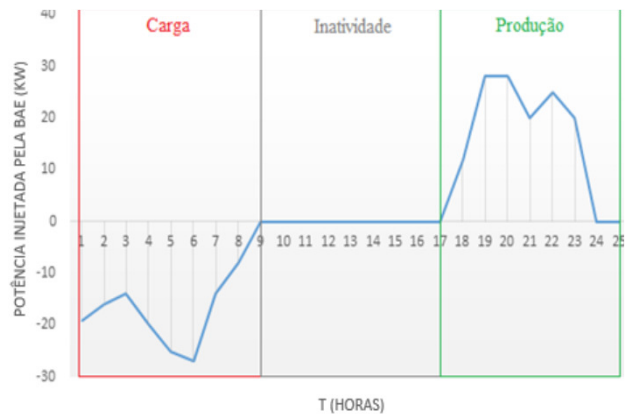


Figura 2. Perfil da BAE

Tal como se pode verificar, a BAE tem três estados possíveis: o período de carga, o período de inatividade e o período de produção.

O primeiro período – carga – refere-se ao período de tempo em que a BAE se encontra a carregar/armazenar energia.

O segundo período – inativo – refere-se ao período de tempo em que a BAE não se encontra nem a produzir nem a consumir.

Por fim, o terceiro período – produção – é para os instantes em que a BAE injeta energia na rede, ou seja, descarrega a energia anteriormente armazenada.

A nível económico, a produção de eletricidade a partir da BAE tem o custo apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Custo de Produção da BAE

Nome	Custos de Produção (€)
BAE	0,00407

Com a definição de todos os componentes da rede já concluída, é agora possível proceder à resolução do problema do Despacho Económico, para os diferentes cenários.

As Figuras 3 e 4 representam, respetivamente, os valores de produção (em kW) de cada unidade geradora e os custos (em €) a si associados para o Cenário 1 – Smart Grid Ligada à Rede Principal.

Para este estudo, foi utilizada a ferramenta computacional *Excel*.

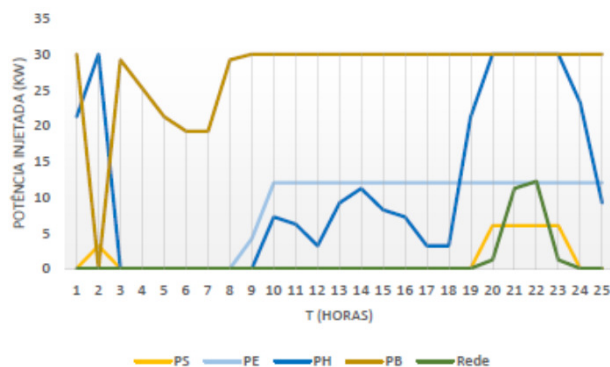


Figura 3. Níveis de Produção das Unidades Geradoras da Smart Grid com ligação à Rede Principal

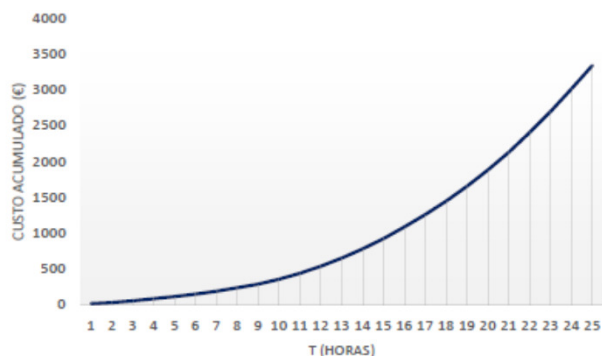


Figura 4. Custos de Produção da Smart Grid com ligação à Rede Principal

Tabela 3. Resultados Obtidos no Cenário 1 - Excel

Valores de Produção e Custos		
Nome	Produção (kW)	Custos (€)
PS	27,19	12,37
PE	196,19	127,53
PH	283,58	55,29
PB	683,19	133,22
Rede Principal	25,79	0,59

Para o Cenário 2 – *Smart Grid* Ligada à BAE, o processo foi maioritariamente igual ao anterior, destacando-se apenas a utilização de mais uma ferramenta, o *Matlab*, de forma a poder ser possível realizar um estudo comparativo entre ambas.

Os respetivos resultados estão apresentados nas Figuras 5 e 6 para a simulação em *Excel*...

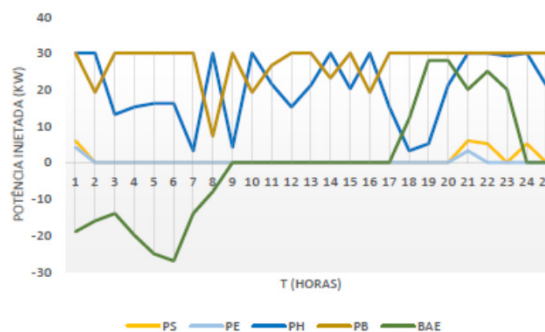


Figura 5. Níveis de Produção das Unidades Geradoras da Smart Grid com ligação à BAE – Simulação Excel

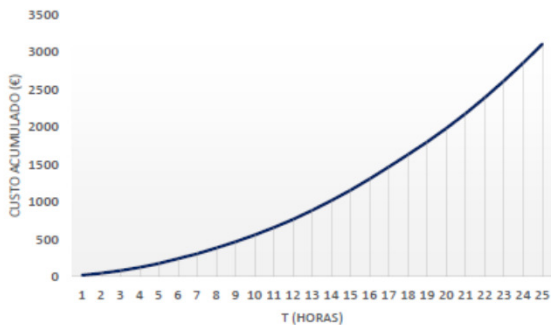


Figura 6. Custos de produção da *Smart Grid* com ligação à BAE – Simulação *Excel*

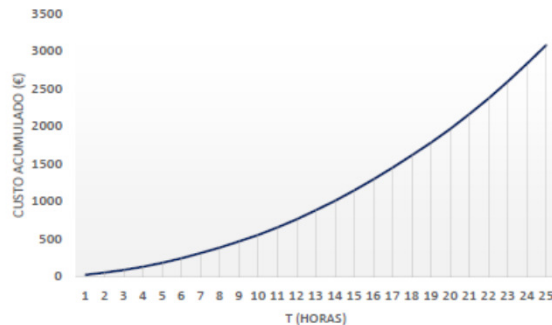


Figura 8. Custos de produção da *Smart Grid* com ligação à BAE – Simulação *Matlab*

Tabela 4. Resultados Obtidos no Cenário 2 - *Excel*

Valores de Produção e Custos		
Nome	Produção (kW)	Custos (€)
PS	22,39	10,19
PE	7,39	4,81
PH	511,57	99,76
PB	684,59	133,49
BAE	Variável	-0,0407

Tabela 5. Resultados Obtidos no Cenário 2 - *Matlab*

Valores de Produção e Custos		
Nome	Produção (kW)	Custos (€)
PS	23,59	10,74
PE	7,39	4,81
PH	609,52	118,86
PB	576,79	112,47
BAE	Variável	-0,0407

... e nas Figuras 7 e 8 para a simulação em *Matlab*.

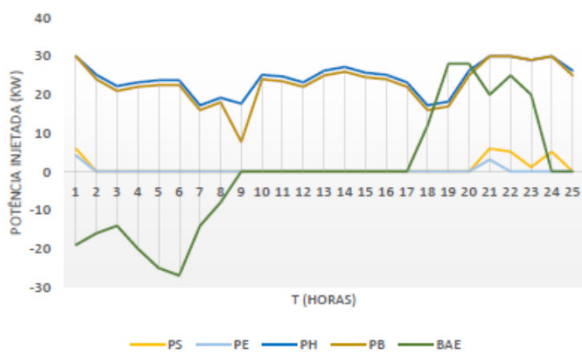


Figura 7. Níveis de produção das unidades geradoras da *Smart Grid* com ligação à BAE – Simulação *Matlab*

b) Comparação dos Valores Obtidos

Pela análise das figuras 3 a 8, comprova-se que para o período inicial os níveis de produção do segundo cenário assumem valores maiores do que os observados no primeiro (isto devido à inclusão da BAE e esta estar na sua fase de carregamento). Por outro lado, quando a BAE entra na sua fase de descarregamento, dá-se uma diminuição brusca dos níveis de produção das unidades geradoras do sistema.

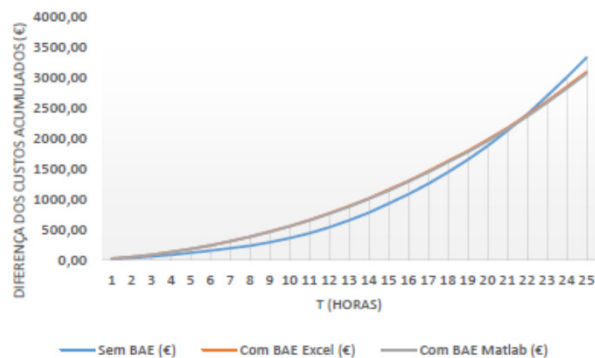


Figura 9. Custos de produção da *Smart Grid* com ligação à BAE – Simulação *Excel*

Numa análise comparativa, pode-se constatar que, tal como era de esperar, a inclusão de uma BAE resulta em custos de produção diários mais baixos (3099,84€/dia – Excel e 3071,99€/dia – Matlab) do que com a rede ligada à rede principal (3339,47€/dia). Em termos percentuais, houve um decréscimo de 7,18% para a simulação no Excel e um decréscimo de 8,01% para a simulação no Matlab.

Em termos dos valores das perdas de transmissão, a inclusão de uma BAE, para além da redução dos custos de produção, reduz ainda, de forma ligeira, as perdas da rede.

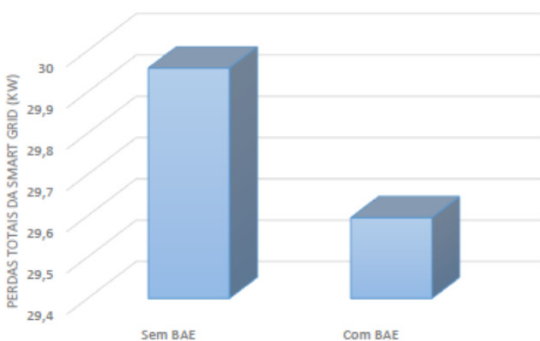


Figura 10. Comparação das Perdas de Transmissão

Analisando a nível numérico, a rede ligada à rede principal possui um valor de perdas de 29,56 kW, enquanto que com a BAE possui um valor de 29,53 kW (redução de 0,01%).

Outro estudo analisado, consiste na observação do comportamento das linhas ao longo de um dia.

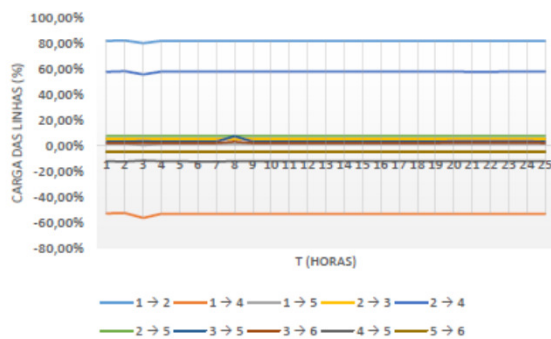


Figura 11. Comportamento das Linhas da Smart Grid com ligação à rede principal

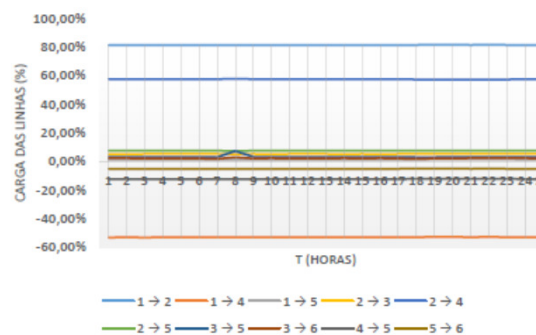


Figura 12. Comportamento das Linhas da Smart Grid com ligação à BAE

Como se pode comprovar, o número total de linhas que se encontra mais próxima da sobrecarga e que se encontra em operação normal de funcionamento, são iguais para os dois cenários, em que 3 delas se encontram acima dos valores médios estabelecidos e as restantes 7 se encontram dentro desses valores.

Relativamente às que se encontram em estado mais crítico, a linha 1-2 é a que apresenta um valor médio percentual mais elevado, de aproximadamente 81% de sobrecarga (tanto para um cenário como para o outro). A linha em melhores condições de funcionamento é a 3-6, com um valor médio de 2% de carga.

Em conclusão, pode-se confirmar que a condição do limite das linhas foi verificada em ambos os cenários, não sendo necessário uma reconfiguração dos componentes da rede.

c) Viabilidade Económica

A viabilidade económica consiste numa análise baseada em projeções e número, que tem como finalidade conseguir saber o potencial de retorno de um projeto e saber, desta forma, se esse mesmo projeto deve ir adiante ou não [11].

Para este estudo foram utilizadas 3 baterias diferentes: uma bateria de chumbo ácido (A), um sistema de acumulador elétrico (B) e um sistema de ar comprimido (C).

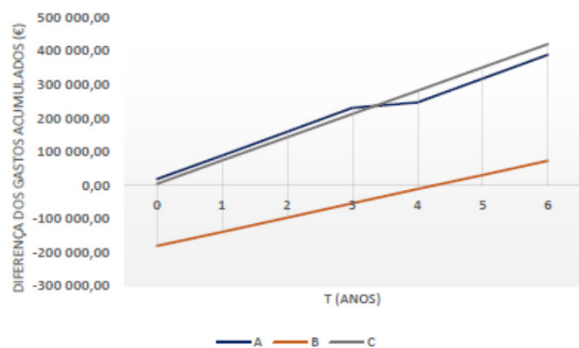


Figura 13. Viabilidade numa Visão de 6 anos

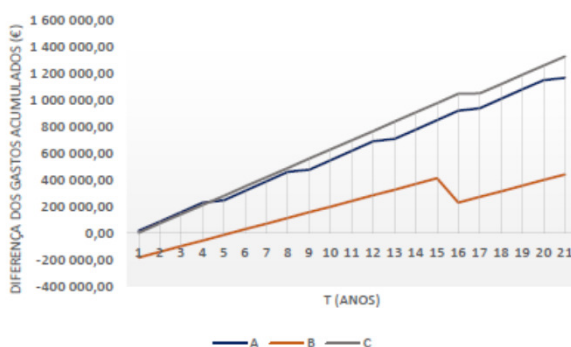


Figura 14. Viabilidade numa Visão de 20 anos

Tendo-se em consideração os respetivos custos dos equipamentos, de operação e manutenção e investimento de cada bateria, foi possível criar a função da diferença entre os gastos acumulados da *Smart Grid* ligada à BAE e da *Smart Grid* ligada à rede principal (para uma visão de 6 e 20 anos).

Como se pode verificar, pela análise da Figura 13 e 14, as baterias A e C são as que apresentam condições mais favoráveis de serem aplicadas. Contudo, a bateria C é a preferencial entre estas duas.

Em termos numéricos, tanto para a visão de 6 anos como para a visão de 20 anos, a bateria A e C apresentam viabilidade logo a partir do ano 0. Por outro lado, a bateria C só apresenta viabilidade a partir do ano 4.

IV. Conclusões

Neste relatório foram abordados aspetos teóricos sobre *Smart Grids* e Baterias de Armazenamento de Energia, com principal incidência nas vantagens técnicas e económicas da introdução deste equipamento neste tipo de redes. Tal estudo foi possível graças à utilização de técnicas de otimização, que foi executado na rede de estudo, sob a forma de diversos cenários, desde a conexão/desconexão da *Smart Grid* com uma rede elétrica principal e a inclusão/exclusão de uma Bateria de Armazenamento de Energia.

Através dos respetivos cálculos e simulações, tornou-se evidente que, com a integração destas baterias numa *Smart Grid*, os custos associados à produção de energia elétrica passam a ser mais baixos. A eficiência do sistema torna-se também a ser maior, pois através de uma comparação dos níveis das perdas de transmissão (apesar de não ter assumido grandes diferenças) sofreu uma redução.

Numa análise comparativa dos valores obtidos em cada software (*Excel* e *Matlab*), as diferenças numéricas não são relevantes, tendo-se verificado uma diferença de 27,85 €/dia, que se traduz em 10 165,25 €/ano de custos de produção, ou seja, um valor inferior a uma unidade percentual (0,90%) dos custos totais num ano.

Nomenclatura:

Pk Potência fornecida pela unidade geradora k

Prede Potência fornecida pela rede principal

PBAE Potência fornecida pela BAE

Fk Função do custo da unidade geradora k

Frede Função do custo da rede principal

FBAE Função do custo da BAE

Pcarga Cargas totais

Ptrans Perdas de transmissão

Prede_min Limite inferior da potência da rede

Prede_max Limite superior da potência da rede

Pmax_car Potência máxima de carga da BAE

Pmax_descar Potência máxima de descarga da BAE

Referências

- [1] Liu, X.P., Ding, M., Han, J., Peng, Y., “Dynamic Dispatch for Microgrids Including Battery Energy Storage”, 2nd IEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generating Systems, 2010.
- [2] Energia dos Sonhos, “Revista Controle e Instrumentação”, Edição nº 163, 2010.
- [3] Siemens, “Smart Grid – A Rede Elétrica Inteligente do Futuro”, 2015.
- [4] Horizon 2020, www.ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/secure-clean-and-efficient-energy
- [5] Quanta Technology, “Electric Energy Storage Systems”, 2014.
- [6] Ferreira, J., Vale, Z., Sousa, T., Canizes, B., Puga, J., “Transmission costs allocation based on optimal re-dispatch”, 2011.
- [7] Ferreira, J., Ramos, S., Vale, Z., Soares J., “Transmission expansion planning supported by data mining based methodology”, IEEE Intelligent Systems – AI in Power Systems, vol. 26, no 2, pág. 28-37, 2011.
- [8] Ding, M., Zhang, Y.Y., Mao, M.Q., Yang, W., Liu, X.P., “Operation optimization for microgrids under centralized control”, 2nd IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generating Systems, 2010.
- [9] <http://www.portal-energia.com/microgeracao-em-portugal/>
- [10] Liu, X.P., Ding, M., Han, J., Peng, Y., “Dynamic Economic Dispatch for Microgrids Including Battery Energy Storage”, 2nd IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generating Systems, 2010.
- [11] <http://windlift.wordpress.com/2008/03/01/kite-energy-storage-compressed-air-and-hydraulic-accumulators/>

Curiosidade: