

modelização e simulação financeira de modelos de autoconsumo

COM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS, APLICADO EM BTN

Neste artigo apresenta-se o resultado de um trabalho de dissertação de mestrado (MIEEC-FEUP), em que foram simuladas diversas soluções de legislação de autoconsumo aplicadas em várias configurações de consumo e autoprodução fotovoltaica. O artigo foi revisto após se conhecer a proposta em consulta sobre o Projeto de Decreto-Lei Produção Distribuída de 24/06/2014. Pretende-se, assim, estudar a viabilidade de sistemas de autoprodução fotovoltaica no âmbito deste cenário de legislação.

Cláudio Monteiro (FEUP)
Sara Costa (FEUP)

As componentes financeiras de um sistema de autoconsumo

Os conceitos de autoconsumo integram-se no conjunto de modelos de valorização de autoprodução renováveis, integradas em instalações de consumo. Tem como característica principal a redução de fluxos de energia nas redes, tendo como consequência a redução de perdas no sistema e a redução dos fatores de utilização do sistema elétrico, com possível impacto na geração transporte e distribuição. Para a perspetiva dos consumidores, a autoprodução é uma forma alternativa à energia da rede, podendo ter vantagem económica quando o LCOE (termo em inglês para Custo Nivelado de Produção de Eletricidade, expresso em €/kWh) é inferior ao custo da eletricidade da rede, e tendo um atrativo de carácter ambiental por produzir a própria energia com energia limpa. Adicionalmente, para o consumidor, a autoprodução constitui uma segurança de manutenção do custo da energia para o tempo de vida do sistema. Por motivos de garantia e qualidade da eletricidade, a autoprodução não prescinde da ligação à rede elétrica, o que implica a necessidade de pagamento da disponibilidade dos serviços de rede.

Com este enquadramento passamos a identificar e caracterizar as várias vertentes de fluxo financeiro associado a um sistema de autoprodução:

Custo de produção do sistema fotovoltaico LCOE representa um custo de autoprodução da eletricidade, associado ao investimento feito pelo consumidor, incluindo os custos de equipamento, instalação, manutenção e monitorização. Na prática é como se o consumidor decidisse comprar toda a energia dos próximos 10 anos na forma de investimento inicial no sistema de autoprodução. Note-se que este custo equivalente de eletricidade já inclui o pagamento do IVA na compra do equipamento. O LCOE depende dos custos da tecnologia e instalação, que varia com

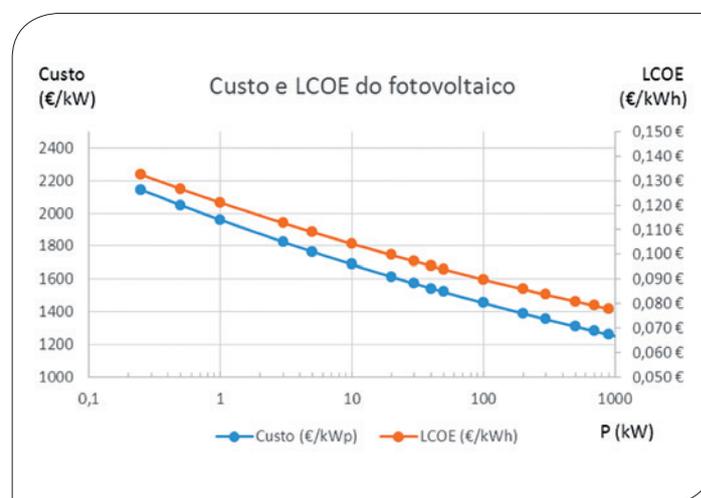


Figura 1 Custo específico e LCOE função da potência do sistema (representação em escala logarítmica).

a dimensão do sistema, sistemas mais pequenos terão custos específicos mais caros (€/kW). Neste trabalho foram definidos os custos de sistema, chave na mão para 2014, incluindo IVA. Na Figura pode observar-se custo específico (€ por kW instalado) e LCOE (€/kWh) para toda a gama de potências de autoprodução. Por exemplo, um sistema de 3 kWp terá um custo de 1825 €/kW e um LCOE de 0,113 €/kWh. Se considerarmos como exemplo um sistema de 100 kW, o custo será 1453 €/kWp e o LCOE será 0,09 €/kWh.

Custo da energia consumida líquida é o custo da energia que resulta da aplicação do tarifário em vigor para o consumo, resultante da insuficiência do sistema de autoprodução para o abastecimento das necessidades do consumidor. Neste custo já está incluído o custo de acesso à rede e de uso geral do sistema, numa perspetiva da energia consumida. Nesta componente o consumidor paga o IVA correspondente à energia consumida líquida. A instalação de uma maior potência de autoprodução permite reduzir a potência líquida consumida. A potência líquida é medida diretamente no contador da instalação, sendo paga ao comercializador de mercado livre. Custo de energia considerado neste artigo é calculado segundo as tarifas regulamentadas pela ERSE para uma instalação BTN-simples de 6,9 kVA.

Proveitos da energia produzida líquida são os proveitos recebidos pela energia injetada na rede que, em algumas horas de maior produção e menor consumo, excede a energia consumida. Esta energia poderá ser valorizada de diversas formas, neste artigo será considerado o modelo de valorização usado na proposta de lei em consulta, sendo um valor indexado a 90% do preço de mercado OMIE. Neste modelo não é considerada a compensação pela redução de perdas na rede. Para a perspetiva do sistema elétrico e do CUR (Comercializador de Último Recurso) este custo da energia adquirida ao autoprodutor terá um custo significativamente mais barato do que a energia não renovável adquirida no mercado. A energia produzida líquida será medida no contador bidirecional da instalação, contabilizando o fluxo de energia líquida injetada na rede. Esta contabilização de energia injetada é gerida pelo CUR, de forma independente do comercializador de mercado livre.

Custos associados ao uso do sistema elétrico corresponde a custos adicionais para o sistema elétrico, causados pelo sistema de autoprodução, associados a aspetos técnicos de gestão da rede, gestão de informação de registo e contagem, custos fixos de uso global do sistema, custos fixos do uso da rede elétrica. Estes custos são justificados pelos agentes operadores e legisladores do sistema como penalizações pelo impacto na redução de consumo e, conseqüentemente, redução da sustentabilidade. Existem várias alternativas para a inclusão desta penalização. Na formulação da legislação em consulta, optou-se por uma solução de compensação proporcional à potência instalada de autoprodução, adicionalmente existe uma indexação escalonada do valor percentual da penalização relativamente ao nível de penetração de autoprodução no global da potência instalada do Sistema Elétrico Nacional (SEN).

Valorização ambiental da energia verde autoproduzida. Para efeitos de balanço energético a instalação de autoprodução equivale a uma redução e substituição de energia da rede, com consequência para o impacto ambiental resultante de emissões e implicações na dependência energética do país e da Europa. Esta valorização vai também ao encontro das boas práticas em estudo para a fiscalidade verde, a comercialização europeia de energia verde (certificados verdes) e ainda a comercialização de eficiência energética (certificados brancos). Neste artigo avaliamos uma valorização pelo CO₂ evitado, contabilizada na forma de energia autoproduzida ou, em alternativa, em potência instalada de autoprodução. No entanto, a proposta de legislação em consulta nada refere relativamente a esta valorização ambiental, não sendo incluído nas simulações realizadas neste artigo.

Componentes de energia associados a um sistema de autoconsumo

Para este estudo foi considerada uma simulação horária ao longo de um ano, usando como base diagramas de consumo tipo indicados pela ERSE

para “Classe C - clientes com potência contratada inferior ou igual a 13,8 kVA e com um consumo anual inferior a 7140 kWh”. Para o caso exemplo foi considerado um diagrama de consumo com 6,9 kVA de potência contratada, o fator de utilização da potência contratada ($P_{média}/P_{contratada}$) é cerca de 9%, com um consumo anual de 5432 kWh.

Para a simulação da produção foi usada uma série horária de produção real de uma microgeração de 3,45 kW, medido em 2012, tendo produzido neste ano com um desempenho de 1414 kWh/kW, o que é um valor típico para a média nacional. Para este caso de diagrama de produção o fator de utilização da potência de autoprodução ($P_{prod_médio}/P_{prod_instalada}$) é cerca de 16,1%.

Apresentamos na **Figura 2**, para uma instalação de consumo BTN simples de 6,9 kVA, o gráfico onde podem ser observadas a evolução das diversas grandezas de potência medidas ou calculadas para uma gama de potência de autoprodução instaladas, deste 0,24 kW (1 painel, 3,5% da potência contratada) até 7,68 kW (32 painéis, 110% da potência contratada). As grandezas de energia apresentadas no gráfico da **Figura 2** são as seguintes:

- (1) **Energia de consumo (kWh)** – é o consumo total anual, sendo 5433 kWh, independentemente do valor de autoprodução. Com a autoprodução integrada na instalação de consumo, o valor de consumo não poderá ser medido diretamente, apenas poderá ser estimado se medida a autoprodução (2), o consumo líquido (3) e a injetada líquida (4).
- (2) **Energia de autoprodução (kWh)** – é o valor total de produção anual do sistema fotovoltaico. Aumenta proporcionalmente à potência instalada fotovoltaica, assumindo-se neste estudo que não haverá diferenças significativas na eficiência global do sistema para diferentes potências instaladas. Quando a potência instalada de autoprodução é 3,84 kW, cerca de 55% da potência contratada 3,9 kVA, o sistema fotovoltaico produz anualmente uma quantidade de energia igual à energia total de consumo. No entanto, não havendo armazenamento, mais de 63% desta energia é excedente (3425 kWh), tendo de ser injetada na rede, correspondendo à energia injetada líquida (4). Esta componente de energia pode ser medida apenas se existir um contador na instalação de autoprodução.
- (3) **Energia de consumo líquida (kWh)** – é a energia medida na fronteira da instalação de consumo, que integra a instalação de autoprodução, medindo apenas a energia que entra na instalação. Quanto maior a potência instalada de autoprodução menor será o consumo líquido, necessário da rede. No entanto, no limite, a energia consumida líquida poderá chegar a 55% (3250 kWh) da energia consumida total, correspondendo esta energia à fração de consumos noturnos e consumos em dias nublados. A percentagem de consumo líquido poderá ser mais reduzido em casos de perfis de consumo mais concentrados em períodos diurnos.
- (4) **Energia injetada líquida (kWh)** – é a energia medida na fronteira da instalação de consumo, normalmente no mesmo contador bidirecional em que é medido o consumo líquido. A energia injetada é a energia líquida medida nas horas em que a autoprodução é excedente relativamente ao consumo. Até uma fração de potência instalada de autoprodução de 20% (1,4 kW), relativamente à potência contratada (6,9 kVA), a energia injetada é insignificante, a partir de 20% a energia injetada cresce quase proporcionalmente à potência instalada de autoprodução. Em regimes de *netmetering* a energia injetada líquida é subtraída à energia consumida líquida, admitindo-se que ambas as componentes são valorizadas

da mesma forma, independentemente do período horário. Pelo contrário, em modelos de autoconsumo a valorização de ambas as componentes é diferente, com diferenças de valor no período horário, não sendo possível fazer esta compensação ao nível da medição de energia.

- (5) **Energia de autoconsumo (kWh)** – é a energia consumida diretamente da autoprodução, representa a energia que deixa de ser adquirida da rede. Esta componente de energia autoconsumida aumenta proporcionalmente com a potência instalada de autoprodução para pequenos valores de fração de potência instalada de autoprodução, inferiores a cerca de 20% (1,4 kW), a partir dos quais o nível de energia autoconsumida satura. Para o perfil de consumo considerado, no limite a autoconsumo poderá atingir um valor máximo de 45% (2170 kWh) do consumo total (5433 kWh). Ou seja, a partir de 20% de fração de potência instalada de autoprodução a energia passa a ser em grande parte injetada na rede, com uma valorização mais baixa.

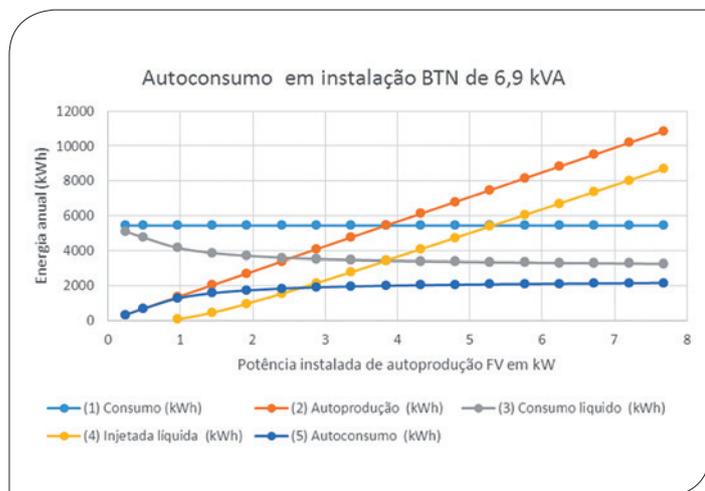


Figura 2 Energia anual de diversas componentes, para uma instalação de consumo BTN de 6,9 kVA, função de diferentes potências de instalação de autoprodução.

Custos e proveitos diretos associados ao sistema de autoconsumo

Com base nos valores de energia de consumo, autoprodução, consumo líquido, produção líquida injetada e autoconsumo, foram simulados os custos anuais associados às várias componentes. Todas as componentes de custo foram calculadas em relação a um ciclo de vida do projeto de 10 anos, mas tendo em conta o valor residual do equipamento aos 10 anos. Para este período de projeto de 10 anos, iniciando em 2014, considerou-se os seguintes parâmetros: taxa de inflação anual de preços no consumidor de 1,5%; taxa de inflação anual de preços de eletricidade de 2,5%; taxa de inflação anual de preços de CO₂ de 5%; taxa de atualização para consumidor doméstico de 8%; IVA de 23%; custo de sistema fotovoltaico LCOE segundo o apresentado na Figura 1.

Com estes parâmetros foram simuladas as diversas componentes de custo para o caso referido, uma instalação BTN simples de 6,9 kVA, tendo sido usados os tarifários transitórios de venda a consumidores finais, apresentados pela ERSE para 2014. As grandezas de custo apresentadas no gráfico da Figura 3 são as seguintes:

- (6) **Fatura anual do consumo total sem autoprodução (€)** – é a fatura que o consumidor pagaria normalmente pela energia consumida total, sem a integração de fotovoltaico. Esta fatura será neste caso 1209€, incluindo o IVA.
- (7) **Fatura anual do consumo líquido com autoprodução (€)** – é a fatura que o consumidor pagaria pela energia consumida líquida, com a integração da autoprodução, incluindo IVA. O valor da fatura é inferior à fatura sem autoprodução, sendo esta diferença maior para potências instaladas de autoprodução superiores. O efeito da redução da fatura é mais acentuado para níveis de integração de autoprodução até cerca de 40% (2,7 kW) da potência instalada (6,9 kW). Este facto deve-se à maior redução por autoconsumo, tendo esta componente mais valor do que a componente de remuneração da energia injetada na rede. Para uma potência instalada de autoprodução de 3,36 kW a fatura de consumo passará a ser 821€, representando uma poupança anual de 388€, ou seja 32% menos do que numa situação sem autoprodução. Esta redução deixa de aumentar para mais elevadas taxas de penetração, podendo no máximo atingir uma redução de 40% da fatura.
- (8) **Remuneração anual da potência injetada líquida (€)** – é a remuneração adicional pela energia excedente injetada na rede elétrica. Esta energia é remunerada a 90% do preço de mercado. Para este exemplo foi considerada a série horária anual de preço de mercado de 2013, com valores médios de 43,64€/MWh e valores médios pesados da potência injetada de 45,26€/MWh. Esta diferença mostra que a energia de mercado tem um valor acima da média nas horas em que injeta na rede. A valorização da potência injetada apenas se nota a partir de 20% de penetração de autoprodução, crescendo de forma aproximadamente linear. Segundo a presente proposta, para o caso estudado com preços OMIE de 2013, a energia ao autoprodutor seria paga a 41€/MWh. O presente estudo considera um crescimento do preço de eletricidade de 2,5% ao ano, ao longo dos próximos 10 anos, resultando numa remuneração aproximada de 59€ anuais por cada kW de autoprodução instalada.
- (9) **Custo de produção de eletricidade (€)** – é a componente de custo associada ao investimento realizado pelo consumidor para adquirir o sistema de autoprodução. Para que esta componente

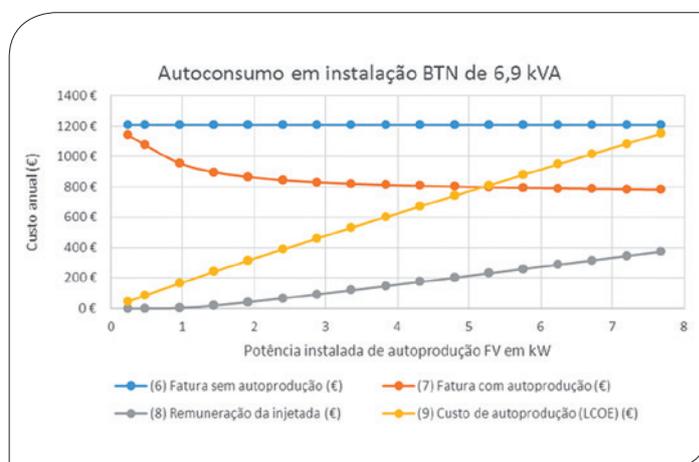


Figura 3 Diversas componentes de custo anual, para uma instalação de consumo BTN de 6,9 kVA, função de diferentes potências de instalação de autoprodução.

possa ser comparada numa base de custo anual, utiliza-se o valor de LCOE, apresentado na **Figura 1**, correspondendo a um custo equivalente da produção tendo em conta o ciclo de vida do projeto, a taxa de atualização para o consumidor doméstico, a degradação de produção do sistema, custos de manutenção e o valor residual do sistema ao fim de 10 anos de vida. Como se pode constatar, este custo de autoprodução é cerca do triplo dos proveitos da venda da produção excedente à rede, o que torna totalmente inviável pensar na solução de autoprodução para venda à rede.

Custos de penalizações adicionais

Adicionalmente aos custos diretos apresentados na secção anterior existem os custos indiretos adicionais para mitigar impactos económicos no sistema elétrico. Nesta secção faremos uma quantificação e comparação de vários modelos de penalização, aplicados ao caso da instalação de consumo BTN de 6,9 kVA, que temos simulado ao longo do artigo. Na proposta de legislação em consulta, esta componente é designada por “compensação”, neste artigo designaremos por “penalização” por considerarmos ser um termos mais apropriado.

Para este caso de estudo considera-se um ajuste dos custos para o ciclo de vida da instalação, tal como nas componentes de custo anteriores. Para este ajuste considera-se uma taxa de inflação média das tarifas de eletricidade de 2,5% ao ano, valor superior ao valor considerado para a taxa média de inflação de preços no consumidor, tendo como consequência custos atualizados 10% superiores aos próprios custos de 2014. Descrevemos de seguida as 4 possibilidades de penalização que poderão vir a ser aplicadas, supondo-se que não poderão ser aplicadas de forma sobreposta. A **Figura 4** apresenta as 4 opções de penalização para os diferentes níveis de penetração de potência instalada de autoprodução.

(10) Penalizações pela redução de contribuição para o Uso Global do Sistema UGS (€) –

é a componente de penalização aplicada diretamente sobre a energia autoconsumida, correspondendo à redução de consumo que se pretende penalizar. Corresponde a uma componente de custos gerais tabelada pela ERSE, para cada opção tarifária. Os valores de penalização apenas tem em conta a componente variável da UGS (€/kWh), para a energia de autoconsumo (5), a componente fixa continua a ser paga na fatura de consumo (7). Como a penalização é aplicada sobre a energia de autoconsumo ela terá um custo incremental mais elevado para pequenos valores de autoprodução, saturando para valores muito elevados. Neste modelo, considerando o valor efetivo de redução de UGS que deixa de ser paga, a penalização poderá atingir no limite 100€ por ano, cerca de 12,5% da fatura de consumo com autoprodução (800€). Este modelo resulta menos penalizador para quem instala maiores frações de autoprodução. Para a sua aplicação é necessário calcular o autoconsumo e, conseqüentemente, medir a autoprodução, requerendo a instalação de um contador no sistema de autoprodução.

(11) Penalizações pela redução de contribuição para o acesso à rede (€) –

este modelo de penalização inclui a componente UGS anterior (10) e inclui adicionalmente uma penalização pelos serviços do operador de rede. Para a simulações considerou-se os valores tabelados pela ERSE, para as tarifas de acesso à rede para 2014. Estes valores são função da opção tarifária e do período horário, sendo mais caro para os períodos de ponta em que os sistemas fotovoltaico produzem mais. É apenas considerada a redução causada pela energia autoconsumida (5), associada à componente variável (€/kWh) na tarifa de acesso à rede, a componente

fixa continua a ser paga na fatura de consumo (7). Na **Figura 4** pode ver-se que a evolução para diferentes valores de penetração da potência instalada de autoprodução é semelhante ao que se observa na penalização de UGS (10). No entanto, os valores e penalização mais que duplica, podendo atingir cerca de 200€ para o caso estudado, ou seja 25% da fatura de consumo (7). A ser aplicado este modelo de penalização, o que parece não vir a acontecer, o autoconsumo seria inviável. Tal como no modelo de penalização UGS (10), será necessária a instalação de um contador na produção encarecendo os custos do sistema.

(12) Penalização pela energia autoproduzida (€) –

corresponde a uma taxa aplicada sobre a energia autoproduzida, sendo este o modelo aprovado recentemente em Alemanha onde foi aprovada uma taxa aproximada de 0,01 €/kWh (15% da sobretaxa EEG, aplicada apenas a potências de autoprodução superiores 30 kW) tendo sido rejeitada uma proposta inicial de 0,03 €/kWh. Para este estudo estipulamos um valor intermédio de 0,019 €/kWh, sendo este o valor que garante uma equivalência à penalização UGS (10), para o caso de uma potência instalada de autoprodução correspondente a cerca de 50% da potência contratada (ponto de interceção na **Figura 4**). Por considerar a energia autoproduzida em vez da energia autoconsumida, este modelo penaliza mais as instalações com maior integração de autoprodução e é mais favorável para níveis de integração com pouca injeção na rede. Este aspeto torna este modelo de penalização mais interessante na perspetiva de regulação dos níveis de penetração de autoprodução. Embora equivalente em valores médios de taxação, este é um modelo mais simples e claro do que o modelo (10) e (11), não dependendo da opção tarifária nem do período tarifário. No entanto, por se necessitar de conhecer a energia autoproduzida, continua a ter a desvantagem de necessitar de um contador adicional no sistema de autoprodução.

(13) Penalização pela potência instalada de autoprodução (€) –

este é o modelo adotado na legislação em consulta. Corresponde a uma taxa aplicada sobre a potência instalada. Existe uma relação linear entre a potência instalada e a produção anual da autoprodução, sendo possível criar um modelo equivalente à penalização pela energia autoproduzida (12), sem que seja necessária a instalação de sistemas de contagem, reduzindo indiretamente os custos do sistema e abrindo horizontes para evoluções tecnológicas de integração nas instalações elétricas. Neste estudo foi estipulado

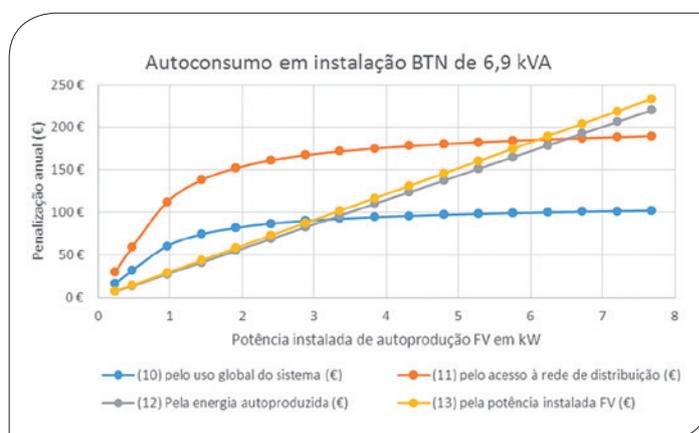


Figura 4 Valor anual de diversos modelos de penalização, para uma instalação de consumo BTN de 6,9 kVA, função de diferentes potências de instalação de autoprodução.

um valor anual de 29 €/kW (12x2,41 €/kW) de autoprodução instalada, o que corresponde ao escalão máximo estipulado na proposta de legislação (50% do V_{CIEG}). Como se pode observar da **Figura 4**, este valor corresponde a uma penalização equivalente ao estipulado em (12) e em (10). Claramente esta seria a melhor opção de penalização a ser integrada na futura legislação de autoconsumo. Adicionalmente tem a grande vantagem de dispensar a necessidade de sistema de contagem no sistema de autoprodução.

Na legislação em consulta adotou-se uma fórmula que transforma a parametrização de “compensação” CIEG, calculada função da energia (kWh), em valores de “compensação” calculada função da potência instalada (kW). Para tal foi considerado um fator de utilização da potência instalada de 1500 horas anuais (kWh/kW). A **Tabela I** mostra os valores resultantes da aplicação desta fórmula para 2014, para diferentes modalidades tarifárias e para os escalões de penetração, >1%(188 MW) e >3%(563 MW) da potência instalada no SEN. Para valores de penetração de autoprodução inferiores a 1% (188 MW), não será aplicada a penalização. Na proposta de lei em consulta, esta penalização apenas é aplicada a potências instaladas superiores a 1,5 kW.

	V_CIEG_2014 (€/kW/mês)	30% V_CIEG até >1%(188MW) (€/kW/mês)	50% V_CIEG >3%(564MW) (€/kW/mês)
MT	3,07	0,92	1,54
BTE	3,41	1,02	1,70
BTN > 20,7 kVA	2,79	0,84	1,40
BTN <= 20,7 kVA	4,82	1,45	2,41

Tabela I Valores de “compensação” para diferentes tarifários calculados segundo as fórmulas da proposta de legislação em consulta.

Valorização pela energia verde autoproduzida

Da mesma forma que são consideradas penalizações pelo impacto económico do autoconsumo, também deverá ser considerado o valor ambiental associado à autoprodução com energia limpa. A valorização deverá ser feita tendo em conta os custos de substituição das emissões devidas à produção de eletricidade no sistema elétrico português, tendo-se considerado neste artigo taxas de emissões médias do sistema

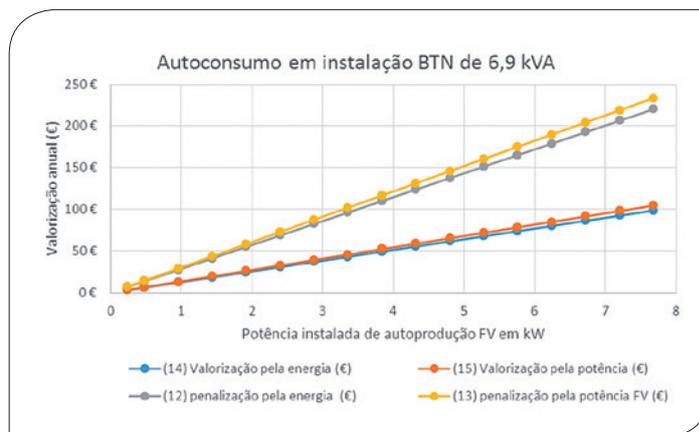


Figura 5 Valor anual de dois modelos de valorização, para uma instalação de consumo BTN de 6,9 kVA, função de diferentes potências de instalação de autoprodução.

elétrico de 254 g/MWh e um custo de CO₂ de 30 €/t, o que corresponde a uma taxa de 7,62 €/MWh. Para ter em conta o ciclo de vida do sistema de autoprodução (período de 2014 a 2024) estipulou-se uma taxa de inflação anual do preço de CO₂ de 5%.

Na **Figura 5** apresenta-se a evolução dos dois modelos de valorização, para o caso que tem vindo a ser estudado neste artigo. Considerou-se um primeiro modelo (14) de valorização ambiental baseado na energia autoproduzida, sendo estipulada a taxa de 7,62 €/MWh como explicado. Esta abordagem de valorização pela energia tem a desvantagem de necessitar de um sistema de contagem na autoprodução. Para evitar o sistema de contagem foi considerado um modelo alternativo (15) de valorização baseado na potência de autoprodução instalada. Para este modelo estipulou-se uma taxa de valorização anual de 11,4 €/kW de autoprodução fotovoltaica instalada, sendo este o valor que equivale a valorização por energia, tal como se pode ver na **Figura 5**.

Na **Figura 5** compara-se os valores de valorização com os de penalização, podendo observar-se que os valores de valorização são cerca de 45% dos valores de penalização máxima (50% do V_{CIEG}). A remuneração da valorização é um valor complementar que poderá chegar ao consumidor por diversas vias, certificados verdes, certificados brancos ou mais adequadamente através de mecanismos de fiscalidade verde atualmente em estudo. Sem esta componente de valorização e admitindo que a componente de penalização é inevitável, será economicamente inviável a autoprodução.

PUB.

5 razões para confiar que o grau de apoio Vulcano é total



www.vulcano.pt



Esta componente de valorização **não está prevista na proposta de legislação em consulta**. Por outro lado, está em consulta a proposta para uma nova legislação de fiscalidade verde que inclui a possibilidade de valorização em habitações por via de redução da coleta de IMI.

Proveitos devidos à instalação da autoprodução

Caracterizados todos os custos e receitas proveniente do sistema de autoprodução, para estudo da viabilidade no âmbito da legislação em consulta, consideraremos apenas as componentes de custo e proveitos integrados no âmbito da proposta de legislação, para um nível de integração de autoprodução inferior a 1% da capacidade do SEN. É usual, quem vende a ideia de autoconsumo fazer os cálculos dos proveitos não referindo o custo do investimento (LCOE). Apresentamos agora, na **Figura 6**, o valor dos proveitos sem considerar o LCOE (16) e considerando o LCOE (17), calculados da seguinte forma:

- Proveitos sem LCOE são calculados como

$$(16) = (6) - (7) + (8) - (13) + (15)$$

- Proveitos com LCOE são calculados como

$$(17) = (6) - (7) + (8) - (13) + (15) - (9)$$

Em que:

- (6) é a fatura anual de consumo para a instalação sem autoprodução;
- (7) é a fatura anual de consumo para a instalação com autoprodução;
- (8) é a remuneração anual pela energia excedente injetada na rede;
- (13) é a taxa de penalização anual pela potência instalada de autoprodução (negativo na figura), nesta simulação terá um valor nulo, por se considerar um nível de integração de autoprodução inferior a 1% da capacidade do SEM;
- (15) é a taxa de valorização ambiental anual pela potência instalada de autoprodução, nesta simulação terá um valor nulo, por não estar contemplada na atual proposta de legislação;
- (9) é o custo anual atualizado do investimento na autoprodução – LCOE (negativo na Figura).

Pode observar-se na **Figura 6** que, sem considerar os custos de produção LCOE (9), os proveitos (16) são tanto maiores quanto maior a potência instalada de autoprodução. No entanto, este crescimento dos proveitos é não linear sendo menos acentuado para níveis de penetração mais elevados. Como exemplo, para uma potência de autoprodução de 3,5 kW os proveitos (16) são cerca de 508€ anuais. Para uma potência de

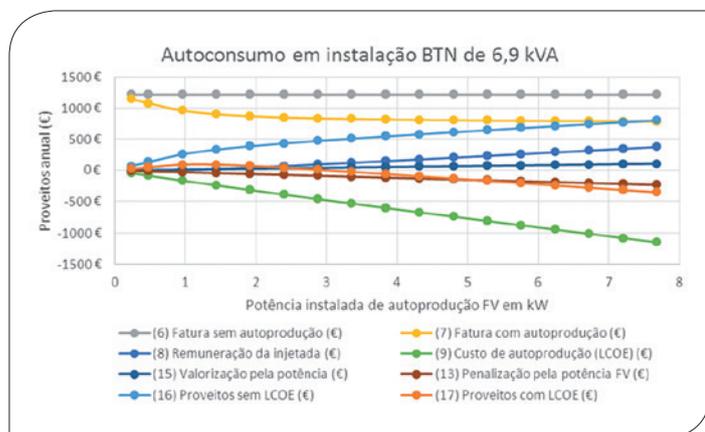


Figura 6 Proveitos anuais, para uma instalação de consumo BTN de 6,9 kVA, função de diferentes potências de instalação de autoprodução.

autoprodução superior a 7,0 kW os proveitos (16) passam a ser superiores à fatura de energia líquida consumida (7) correspondendo a 800€ anuais. São resultados interessantes mas é necessário ter em conta que não inclui os investimentos, representados pelos custos anuais de produção (9).

Quando considerados os custos de investimento no sistema de autoprodução (9), os proveitos (17) apresentam valores positivos para valores de potência de autoprodução entre 0,24 kW e 3,0 kW, obtendo-se um proveito máximo anual de 90€ para uma potência de autoprodução de 1,25 kW. Para este exemplo de consumo e modalidade tarifária, a partir de 3,0 kW de autoprodução, a solução de autoconsumo resulta inviável. Esta inviabilidade justifica-se porque parte significativa da energia autoproduzida é excedente sendo injetada na rede com uma valorização baixa.

Tarifas equivalentes da autoprodução

Para uma melhor comparação dos valores custos de energia, apresentamos na **Figura 7** um conjunto de tarifas equivalentes, expressas em (€/kWh), que nos darão uma noção comparativa dos custos e proveitos da autoprodução relativamente a valores de referência a que estamos habituados. Descreveremos de seguida o processo de cálculo e interpretação dessas tarifas equivalentes:

(18) = (6) / (1), é a tarifa equivalente da instalação de consumo antes de integrar a autoprodução, calcula-se dividindo a fatura de consumo (6) pela energia consumida total (1).

(19) = [(7)-(8)+(15)-(13)] / (1), é a tarifa equivalente do consumo da instalação após a integração da autoprodução, mas sem considerar os custos de investimento LCOE. Calcula-se dividindo os custos resultantes (fatura de consumo (7), mais as penalizações (15) não incluída nesta simulação, menos a remuneração pela injetada (8), menos a valorização ambiental (13) não incluída nesta simulação pelo consumo total (1). Esta tarifa pode comparar-se com a tarifa de consumo antes de instalar a autoprodução, mas deve ter-se em conta que não inclui investimento, pelo que reduz sempre que se aumenta a potência instalada de autoprodução. Para uma integração de 3,5 kW de autoprodução a tarifa equivalente com IVA passa de 0,23 €/kWh para 0,13 €/kWh.

(20) = [(7)-(8)+(15)-(13)+(9)] / (1), é a tarifa equivalente dos consumos da instalação após a integração da autoprodução, mas considerando os custos de investimento LCOE, calcula-se da mesma forma que a tarifa anterior (19), mas incluindo o custo de investimento LCOE (9). Esta tarifa é comparável com a tarifa de referência (18), sendo a autoprodução economicamente viável quando (20) for inferior a (18). Podemos observar na Figura que, para o caso considerado de 6,9 kW tarifa simples, é apenas economicamente viável a autoprodução para potências de autoprodução inferiores a 3,0 kW.

(21) = (16) / (2) representa a tarifa relativa aos proveitos da autoprodução, calcula-se dividindo os proveitos anuais sem investimento (16) pela energia autoproduzida (2). Representa uma tarifa de remuneração que pode ser comparável com as anteriores *feed-in-tarif* da microgeração. Podemos observar que os valores poderão ser interessantes se a potência instalada de autoprodução for baixa, mas esta atratividade de tarifa desce rapidamente para os valores de tarifa paga pela injeção na rede (22).

(22) = (8) / (4), representa a tarifa equivalente da energia injetada líquida, calcula-se dividindo os proveitos pela venda à rede (8) pela energia injetada líquida (4). Este valor é cerca de 0,043 €/kWh,

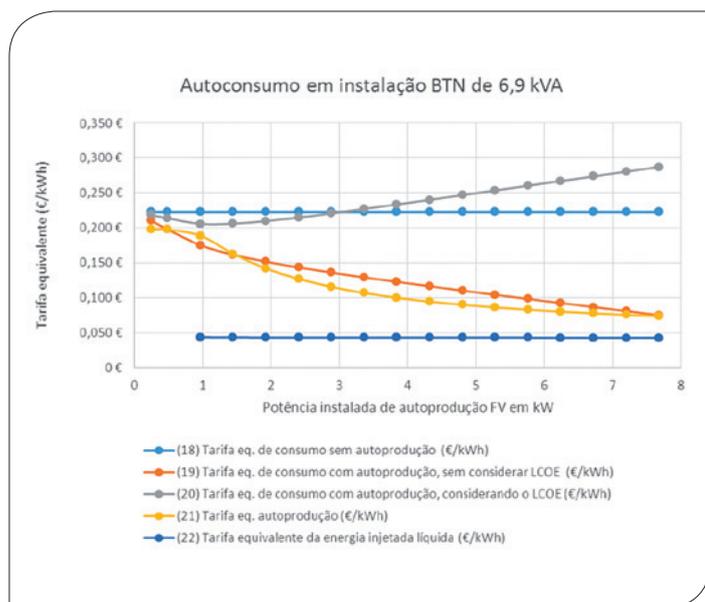


Figura 7 Tarifas equivalentes, para uma instalação de consumo BTN de 6,9 kVA, função de diferentes potências de instalação de autoprodução.

correspondendo a 90% do valor médio de preço de mercado. Este valor é muito inferior ao custo a que qualquer comercializador compra energia em mercado, pois este inclui o preço de energia, perdas, penalizações por desvios e outras taxas e garantias a que o comercializador é obrigado.

Comparação para diferentes opções tarifárias

Aplicando a metodologia descrita a diferentes modalidades tarifárias obtemos os resultados apresentados na **Figura 8**. Nesta Figura compara-se a tarifa equivalente de consumos (20) para diversas modalidades tarifárias de BTN, com potências 3,45 kVA, 6,9 kVA, 10,35 kVA e 20,7 kVA para tarifa simples ou horária. As tarifas são apresentadas como percentagem da tarifa equivalente antes da instalação da autoprodução, sendo estas ligeiramente diferentes para as várias modalidades tarifárias.

Na **Figura 8** pode observar-se que maiores consumos, correspondendo a maiores potências contratadas, aumentarão a área de viabilidade, em que as tarifas apresentam valores inferiores à tarifa de referência (18). Para potências contratadas de 3,45 kVA existe viabilidade para potências de autoprodução até 1,4 kW mas com um ótimo de fatura de 93% para 0,48 kW (com uma redução da fatura de 15€/ano). Para potências contratadas de 10,35 kVA existe viabilidade até potências de autoprodução de 5 kW, com fatura reduzida para 90% com potência autoproduzida 1,9 kW (proveitos de 65 €/ano para tarifa simples e 78 €/ano para tarifa bi-horária). Para potências contratadas de 20,7 kVA existe viabilidade de instalação de autoprodução até 10 kW, podendo reduzir a fatura para 90% se instalar cerca de 4 kW de sistema fotovoltaico. Para modalidades tarifárias bi-horárias, consegue-se uma maior rentabilidade da autoprodução, devido à maior produção em horas de ponta, mas a melhoria é muito pequena relativamente à tarifa simples, inferior a 0,2 c€/kWh. **De uma forma genérica concluímos que, para as condições da proposta de legislação em consulta, em modalidades tarifárias BTN, a instalação de autoprodução fotovoltaica é viável para potências instaladas inferiores a 50% da potência contratada de consumo, sendo ótimo para**

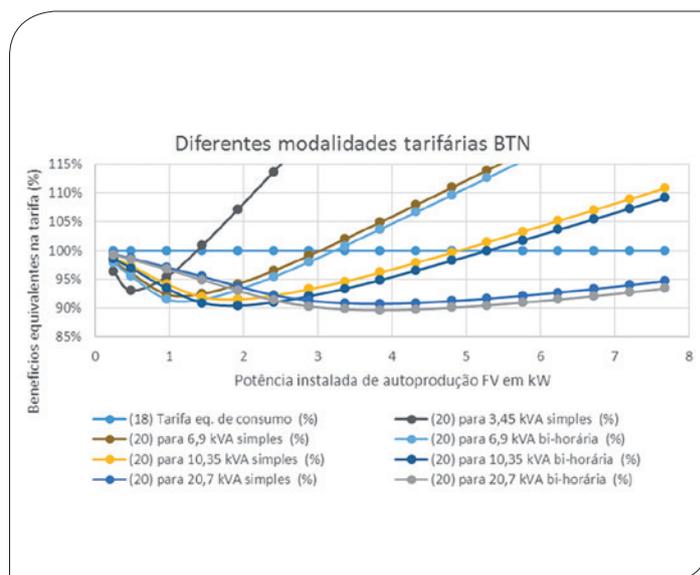


Figura 8 Tarifas equivalentes, representadas percentualmente relativamente à tarifa equivalente antes de instalar autoprodução, para diferentes modalidades tarifárias BTN, função de diferentes potências de instalação de autoprodução.

potências instaladas em torno de 25% da potência contratada. Para este valor ótimo conseguem-se reduções de fatura de eletricidade máximos de 90%.

Aspetos a melhorar na legislação em consulta

De uma forma geral consideramos que a proposta de legislação em consulta constitui uma solução para o setor mas existem aspetos que poderiam ser melhorados e que apresentamos de seguida:

- 1) Simplificação do processo para potências inferiores a 1,5 kW, dispensando inspeção e certificado de utilização. Abaixo de 1,5 kW, poderia também evitar-se complexidade de faturação não sendo paga a energia injetada na rede;
- 2) Remuneração da potência injetada, acima de 1,5 kW, com valores indexados ao OMIE. A penalização de 10% é incoerente e injusta, relativamente às tarifas pagas às grandes renováveis, sendo até mais bem paga a grande produção convencional. Além de injusta, esta discrepância criará desequilíbrios de competitividade a favor dos comercializadores;
- 3) Possibilitar a comercialização livre de energia de autoprodução injetada e isentar a compra e venda da autoprodução injetada do ajuste de perdas. Esta medida abriria novas possibilidades de mercado favoráveis ao autoprodutor. É tecnicamente incorreto o ajuste de perdas em energia autoproduzida;
- 4) Dispensar a instalação de sistema de contagem no sistema de autoprodução. Com a excelente medida de pagar a compensação CIEG função da potência instalada, deixa de ter qualquer utilidade a instalação de contagem na UPAC. Desta forma será possível reduzir ao autoprodutor custos de investimento no sistema de autoprodução e reduzir custos de gestão de informação de contagem ao CUR. Mas mais importante é o facto de possibilitar a inclusão de soluções totalmente distribuídas dentro da instalação de consumo, a contagem na UPAC obriga a um isolamento entre a instalação de consumo e a UPAC. **fm**