



GRUPO VI

COMERCIALIZAÇÃO, ECONOMIA E REGULAÇÃO DO MERCADO DE ENERGIA ELÉTRICA - GCR

UMA ANÁLISE ECONÔMICA DO COMPORTAMENTO DO PROSSUMIDOR POR MEIO DAS TEORIAS DA PERSPECTIVA E DO COMPORTAMENTO ECONÔMICO

**DIEGO FRAGOSO DANTAS; EVERTHON TAGHORI SICA
IFSC**

RESUMO

O consumidor, sobretudo aquele conectado junto a rede secundária, é afetado pelo crescente desenvolvimento das formas de geração distribuídas e pela evolução das estruturas econômicas de mercado. Assim, é desejável aprofundar as formas de gerenciamento eficiente e de engajamento do prossumidor. Este artigo apresenta uma análise da teoria da perspectiva e do comportamento econômico para interpretação e modelagem, considerando o comportamento e o bem-estar econômico do prossumidor frente à tomada de decisão. Serão explorados a compreensão dos processos de decisão e da economia comportamental, e como essas teorias auxiliam no incentivo e engajamento dos prossumidores sobre o consumo e oferta de energia e gamificação.

PALAVRAS-CHAVE: Prossumidor, Resposta da demanda, Teoria econômica comportamental, Teoria da perspectiva, Engajamento.

1.0 - INTRODUÇÃO

Para um prossumidor, a Resposta da Demanda (DR) pode ser interpretada como uma alternativa econômica de reduzir a demanda no horário de pico ou minimizar contingências ou mesmo para criar ou induzir um novo nicho econômico, como um mercado local. A DR é uma das alternativas econômicas evolutivas em que os consumidores podem se engajar e desempenhar um papel ativo. Nesse sentido, existe uma mudança de papel no qual os consumidores, considerados como agentes econômicos passivos, tornam-se clientes, ou seja, agentes econômicos ativos no mercado de distribuição de energia elétrica – prossumidores. E, considerando o advento da internet das coisas e das redes elétricas inteligentes, as concessionárias de energia podem ter uma atuação maior sobre o comportamento dos prossumidores. Desse modo, o impacto do gerenciamento da DR e o comportamento dos prossumidores poderiam ser modelados, assim como os procedimentos de premiação para determinados períodos e condições que podem ser incorporados em algoritmos de modelagem econômica e previsão de carga.

Os programas econômicos, que influenciam o comportamento dos prossumidores, podem ser planejados e modelados pelo viés econômico neoclássico, pautado na teoria da utilidade esperada. Considerando essa teoria, o processo de escolha do prossumidor sob incerteza é modelado por meio de um conjunto lógico de procedimentos matemáticos baseados em axiomas e preferências monotônicas. Desse modo, os planos de ação e as técnicas de modelagem utilizadas na construção desses programas econômicos consideram que os prossumidores são seres racionais e sempre tomarão decisões que irão produzir resultados ideais. Entretanto, o ser humano é dotado de subjetividades que influenciam o seu processo de decisão. Os planos de ação ou os programas econômicos que negligenciam esta subjetividade podem resultar em decisão racional falaciosa por parte dos prossumidores.

Diante do exposto, este artigo apresenta uma análise da teoria da perspectiva e da teoria de comportamento econômico para interpretação e modelagem, considerando o comportamento e o bem-estar econômico do prossumidor frente à tomada de decisão. Entender o comportamento econômico é um desafio crucial para compreensão sobre o modo de consumo e a resposta econômica da demanda. Neste artigo serão explorados a compreensão dos processos de decisão e da economia comportamental, e como estas teorias auxiliam no incentivo e engajamento dos prossumidores sobre o consumo e oferta de energia e a gamificação. Por fim, são apresentadas análises interpretativas da teoria da perspectiva aplicada ao engajamento do prossumidor e um modelo matemático aproximativo pautado na teoria do comportamento econômico.

A teoria da perspectiva, assim como a teoria econômica comportamental, foi proposta como uma forma de amenizar a lacuna econômica na interpretação e na elaboração do planejamento e da modelagem de programas

econômicos que objetivam, diante de uma estrutura de mercado, conduzir os agentes sociais e econômicos na direção da eficiência e eficácia econômicas. Este artigo pretende contribuir para melhorar as formas de modelagem e procedimentos de premiação de prossumidores de energia elétrica que se caracterizam por heurísticas de decisão.

2.0 - GERENCIAMENTO PELO LADO DA DEMANDA E RESPOSTA DA DEMANDA

Para (1) o GLD é conceituado como sendo ações deliberadas de uma empresa de energia, usualmente pertencente ao segmento de distribuição, no mercado com o objetivo de alterar o consumo de energia do consumidor final. A implementação dessas ações de planejamento através de programas de GLD tem o objetivo de realizar mudanças na curva de carga que resultem em um uso eficiente de recursos e reduzam custos para a empresa de energia e para o consumidor (2). A DR é uma das alternativas evolutivas do GLD em que os consumidores podem se engajar e desempenhar um papel ativo (3). Nesse sentido, existe uma mudança de papel no qual os consumidores, considerados como agentes econômicos passivos, tornam-se clientes, ou seja, agentes econômicos ativos no mercado de distribuição de energia elétrica.

Com o advento da internet das coisas, da revolução industrial 4.0 e das redes elétricas inteligentes, as concessionárias de energia podem ter uma atuação maior sobre a carga dos consumidores. Nesse sentido, os programas de DR, segundo (4), possuem possibilidades de: (i) controle de equipamentos utilitários; (ii) armazenamento de energia; (iii) promoção junto aos consumidores; (iv) melhoria de desempenho – equipamentos e sistemas; e (v) tarifas de incentivo.

Os benefícios dos programas de DR são inúmeros, como por exemplo, aumento da confiabilidade, redução do consumo em horários pré definidos, aumento da eficiência e segurança do sistema e redução nos investimentos em novas instalações (5). Porém, para os programas de DR serem mais precisos é necessário considerar o comportamento do prossumidor. “O impacto do gerenciamento da DR e o comportamento dos consumidores devem ser modelados e previstos pelas regras de preço e procedimentos de premiação para determinados períodos de tempo que podem ser incorporados em algoritmos de modelagem e previsão de cargas.” (6).

O comportamento do consumidor de energia elétrica tem uma analogia ao comportamento da demanda econômica. As escolhas de cada consumidor diante da restrição orçamentária e preço do bem contribuem para determinar uma curva de demanda econômica negativamente inclinada, pois indica que quanto menor for um preço de um bem, maior será a quantidade demandada pelos consumidores. Segunda essa premissa da teoria das escolhas econômicas, a curva de demanda possui essa inclinação devido ao axioma da Utilidade Marginal Decrescente, ou seja, quanto mais o indivíduo consumir de um bem, menos estará disposto a adquirir uma unidade adicional bem consumido (7). Entretanto, segundo (8), essa premissa atende fracamente o bem/serviço “energia elétrica”, pois um preço baixo não necessariamente acarreta em maior quantidade para os consumidores – característica levemente inelástica. Ademais, há necessidade de equilíbrio entre a oferta e demanda de eletricidade para manter a tensão e a frequência do sistema elétrico constantes.

O prossumidor de energia elétrica está diante de uma escolha sob incerteza: participar ou não participar do programa de GLD; ou no caso de um programa de DR, reagir ou não reagir economicamente frente ao sinal de preço. Contudo, os prossumidor conectados em baixa tensão se distinguem dos consumidores conectados em alta tensão, não apenas no nível de potência, mas, sobretudo pelo processo de escolha. A escolha sob incerteza dos prossumidor conectados em baixa tensão pode ser delimitada por heurísticas de decisão, caracterizada como um hiato em que os axiomas e as preferências carecem da racionalidade exigida pela teoria da utilidade.

3.0 – TEORIAS DA ESCOLHA ECÔNOMICA

Segundo (9), “a economia é um estudo da humanidade nas atividades correntes da vida, examina a ação individual e social em seus aspectos mais estreitamente ligados à obtenção e ao uso das condições materiais do bem-estar”. Para (10) a economia é uma ciência que estuda a administração de recursos sejam eles para usos alternativos ou fins competitivos. A economia é classificada como uma ciência social aplicada, porém em que pese os vastos estudos e aplicações ligados a alocação produtiva e dinâmica de recursos, sugiram, também, estudos que uniram a economia neoclássica com a psicologia e que incorporaram premissas consideradas realistas sobre a racionalidade e tomada de decisão (11).

Desse modo, surgiu um campo denominado economia comportamental ou teoria econômica comportamental. Os primeiros estudos iniciaram em meados da década de 50 onde a psicologia buscava descrever de maneira mais realista o processo de decisão dos indivíduos. Mas foi somente na década de 70 que a economia comportamental ganhou destaque quando os psicólogos cognitivos deram início ao estudo do processo de decisão e comportamento dos agentes intervenientes envolvidos (*stakeholders*) e com isso começaram a relacionar tais estudos ao campo da economia

3.1 – Teoria econômica comportamental

Richard Thaler é um economista que contribuiu expressivamente para a economia comportamental. Em união com Cass R. Sunstein, escreveu o livro intitulado *“Nudge: Improving Decisions, about Health, Wealth and Happiness”*. O livro trouxe o conceito de Nudge que consiste na ideia de como um empurrão ou um gatilho pode influenciar a decisão de um consumidor. Segundo os próprios autores, “uma cutucada ou orientação é qualquer aspecto da arquitetura de escolhas que altera o comportamento das pessoas de maneira previsível sem proibir nenhuma opção nem mudar significativamente seus incentivos econômicos” (12). A ideia é induzir e não coagir, a fim de que determinado objetivo seja alcançado.

A teoria *nudge* pode ser aplicada em diversas áreas, desde gestão de negócios, políticas públicas, propaganda e até mesmo em programas de GLD ou de DR que objetivam influenciar o modo de consumo de energia. Na Califórnia, um grupo de pesquisadores em conjunto com uma concessionária de energia, propuseram a seguinte averiguação: “se a eficácia de um estímulo social é atenuada pelo recebimento anterior de um estímulo social distinto” (13). O estudo ocorreu de forma aleatória com 42.100 domicílios que foram divididos em 4 grupos. Cada grupo recebeu estímulos diferentes, como por exemplo, ligações em horários de pico com solicitação de redução de consumo em determinado horário e posteriormente uma segunda ligação onde era informado a posição em que ele ficou em relação ao uso de energia naquele período em comparação com as outras residências. Um segundo grupo recebia cartas onde constava um gráfico que mostrava o gasto de energia da residência em comparação com os seus vizinhos. O terceiro grupo recebia ambos e o quarto grupo não recebia nenhum estímulo. Os resultados mostraram que o grupo que recebeu os dois incentivos reduziram o consumo em 6,8%, valor superior ao somatório dos resultados individuais, contudo, foi descrito que “seria ingênuo acreditar que essa dinâmica iria se manter para qualquer combinação possível de incentivos” (13).

A Opower é uma empresa americana que oferece uma plataforma de engajamento de clientes para serviços públicos ao incorporar técnicas da ciência comportamental em seus softwares. Um dos programas pilotos consistia em coletar dados dos medidores de energia quando o cliente assinava a plataforma. Com tais dados eram desenvolvidos incentivos aos clientes a fim de que os mesmos reduzissem seu consumo de energia nos dias de pico. Os resultados mostraram que mesmo sem avisos de alteração de preços na energia, a redução do consumo foi de 3% e este número subiu para 5% em determinados períodos do ano. Os resultados foram definidos como excelentes considerando o ceticismo elevado em relação a coisas novas (14).

Na França foi utilizado o conceito de gamificação no mercado de energia elétrica. A gamificação consiste basicamente em utilizar características da teoria dos jogos, para engajar, motivar comportamentos e facilitar o entendimento de determinado assunto. Esse projeto durou 3 anos, tinha como objetivo reduzir o consumo de energia nos horários de pico. O aplicativo disponibilizado fornecia informações sobre o consumo de energia e como poderia ser reduzido. Participando do programa, o consumidor recebia pontos pela redução e podia alocá-los para alguma instituição de caridade que receberia um pagamento da concessionária de energia. Os resultados mostraram que das 140 famílias que participaram do programa, 80% reduziram seu consumo no horário de pico (14). Ressalta-se que a teoria dos jogos se distingue da teoria das escolhas (teoria da decisão), pois considera que os consumidores (interpretado como jogadores) atuam em um ambiente interativo de mercado em que o *payoff* não é fixo, mas, sim, dependente da decisão dos outros consumidores presentes neste mesmo ambiente (7).

De acordo (3), a gamificação é descrita como um meio de aumentar a relação dos consumidores residenciais com o sistema de energia. Entretanto, existem ressalvas, pois devido ao limite (relativamente pequeno) de alguns períodos de interação gamificada, não é possível identificar se os consumidores continuarão a reduzir seu consumo após a finalização do programa. Em (15), por exemplo, é apresentado um caso no qual após a finalização do programa, alguns clientes consumiram até mais energia do que antes, mostrando assim a incerteza sobre se os usuários sustentarão seus comportamentos.

O estudo apresentado em (3) propôs um modelo econômico comportamental para identificar os requisitos de mudança de comportamento relacionados à energia utilizando o modelo método transteórico em conjunto com a gamificação. Esse modelo econômico comportamental classifica cinco categorias de elementos de design de jogos que são mais comumente usados e que podem engajar e incentivar os consumidores: (i) fornecimento de informações; (ii) sistema de recompensa; (iii) conexão social; (iv) interface de usuário; e (v) status de desempenho.

- Fornecimento de informações - as informações auxiliam o prosumidor entender o seu perfil e comportamento em relação ao consumo de energia. Dicas, mensagens e estatísticas provenientes de dados extraídos de medidores inteligentes, são uma forma de apresentar como o prosumidor utiliza a energia e auxiliá-lo em como economizar.(3).
- Sistema de recompensa – ao prover recompensas baseadas no comportamento e no consumo de energia pode incentivar e potencializar a aderência ao programa. Pode ser concedido créditos (16), descontos na fatura de energia, prêmios, ofertas e cupons para algum restaurante, shows, etc..

- Conexão social - a utilização da gamificação permite que seja criado entre os prossumidores uma conexão social, seja ela na forma de competição, colaboração ou comunidade (17). O prossumidor pode comparar seu desempenho energético com outros prossumidores e com isso alterar seu comportamento. Nos jogos on-line pode existir certa colaboração, onde os problemas são compartilhados em prol de uma causa que pode formar uma comunidade com o objetivo de redução do consumo no horário de pico (3).
- Interface de usuário - a interface do aplicativo tem um peso relevante no papel de envolvimento do prossumidor e consequentemente nos resultados, ao permitir que o consumidor tenha o controle de determinadas configurações, pode-se obter aceitação e engajamento, visto que o próprio usuário possui autonomia para controlar suas ações e alinhar com seus objetivos (3).
- Status de desempenho - o status de desempenho do comportamento pode engajar o prossumidor. A utilização de pontos, emblemas e níveis busca alterar a maneira como o usuário interage com o aplicativo (16). Qualquer premiação fornecida, é um estimulante para o usuário interagir cada vez mais com o aplicativo (3).

Diante disso, o uso da gamificação pode incentivar os prossumidores na mudança do seu comportamento de consumo e fornecimento de energia. São inúmeras maneiras de se relacionar com o consumidor final que irá gerar resultados tanto de forma individual como para a sociedade. Para que os usuários se envolvam constantemente e de uma forma que isto se torne um hábito, é necessário que eles entendam os benefícios das suas escolhas. É necessário que compreendam que os benefícios não são apenas para as concessionárias, mais sim para ele próprio e para a sociedade. O não entendimento dos valores da suas escolhas, acarretará em resultados insatisfatórios para o programa de DR.

Diversos estudos demonstram métodos de incentivo para que o prossumidor tome uma decisão que apresente a escolha mais racional possível. Ainda assim, modelar o comportamento humano não é trivial em vista das subjetividades que cada indivíduo possui. Em (18) é apresentado uma modelagem incorporando “várias ideias da economia comportamental em um modelo de DR técnico-econômico existente”. A equação (1) é a função objetivo do modelo, que ao menor custo, visa garantir o fornecimento de energia aos clientes e o conforto térmico.

$$\text{Min} \left\{ \sum_{i=1}^{N_i} \sum_{j=1}^{N_j} \left(\lambda_{i,j}^{\text{imp}} \left(E_{i,j}^{\text{load}} + P_{i,j}^{\text{EHP}} t \right) + \zeta_i^- T_{i,j}^- + \zeta_i^+ T_{i,j}^+ \right) \right\} \quad (1)$$

Em que:

- $\lambda_{i,j}^{\text{imp}}$ - preço de importação de eletricidade no mercado (\$/kWh_e);
- $E_{i,j}^{\text{load}}$ - consumo de eletricidade (kWh_e);
- $P_{i,j}^{\text{EHP}}$ - potência termoeletrico - EHP (kW_e);
- ζ_i^- / ζ_i^+ - penalidade por déficit / excesso de temperatura (\$/°C h);
- $T_{i,j}^- / T_{i,j}^+$ - déficit de temperatura / excesso de temperatura (°C);
- l - índice de localização, 1 para N_i ; e
- i - índice de período de liquidação, 1 para N_i .

Dada a função objetivo, são apresentadas as restrições a fim de modelar os recursos considerados. Em (2) é definido a temperatura da edificação, sendo que a perda de calor para o meio ambiente e o ganho de calor interno e solar são definidos pelas variáveis $\text{Int}_{i,j}$ e $\text{Sol}_{i,j}$. O efeito causado pelas ações do ocupante para reduzir a temperatura é modelado por $\alpha_{i,j}$ (18), para todo $i = 1$ para N_i , $l = 1$ para N_l .

$$T_{i+1,j} = T_{i,j} + (P_{i,j}^{\text{EHP}} \gamma_{i,j}^{\text{EHP}} t + (1 - \alpha_{i,j}) (\text{Int}_{i,j} + \text{Sol}_{i,j}) - (T_{i,j} - T_i^{\text{out}}) t R_i^{\text{b-1}}) C_i^1 \quad (2)$$

Em (3) é definido os limites operacionais do equipamento termoeletrico.

$$P_{i,j}^{\text{EHP min}} \leq P_{i,j}^{\text{EHP}} \leq P_{i,j}^{\text{EHP max}} \quad (3)$$

Em (4) e (5) são apresentadas as restrições de temperatura do edifício, que quando ocupado e com a temperatura exterior acima de um limiar definido ($O_{i,j}$), deve permanecer na temperatura alvo $T_{i,j}^{\text{set}}$. As variáveis $T_{i,j}^-$ e $T_{i,j}^+$, permitem que a temperatura oscile além dos limites pré-definidos (18).

$$O_{i,j} (T_{i,j} - T_{i,j}^+) \leq O_{i,j} T_{i,j}^{\text{set}} \quad (4)$$

$$O_{i,j} T_{i,j}^{\text{set}} \leq O_{i,j} (T_{i,j} + T_{i,j}^-) \quad (5)$$

Em (6) é definido a inicialização da formulação que, para não distorcer os resultados apresentados, ajusta o intervalo de tempo inicial como sendo igual ao último intervalo de tempo em cada dia (18).

$$T_{1,j} = T_{N_i+1,j} \quad (6)$$

Com a definição da função objetivo e suas respectivas restrições, (18) ajusta a função objetivo a fim de modelar o efeito de dotação do prosumidor. Para isso, é aplicado um fator de ajuste (θ) à penalidade de déficit de temperatura (ς_i^-). Considerando que o prosumidor possa sentir o conforto térmico que valoriza, ele poderá ser penalizado através de ς_i^- a fim de reduzir seu consumo de energia. Em (7) tem-se a função objetivo considerando o efeito de dotação (18).

$$\text{Min} \left\{ \sum_{i=1}^{N_i} \left(\lambda_{i,j}^{\text{imp}} (E_{i,j}^{\text{load}} + P_{i,j}^{\text{EHP}} t) + \varsigma_i^+ + \sum_{j=1}^{N_j} (\varsigma_i^+ T_{i,j}^+ + \theta \varsigma_i^- T_{i,j}^-) \right) \right\} \quad (7)$$

Ainda em seu estudo, (18) apresenta uma modelagem considerando o efeito de desconto no tempo (8). Para modelar esse efeito é considerado na função objetivo um fator de desconto de tempo (ϕ) sobre os preços. Tal efeito é considerado, visto que a perda de conforto térmico experimentada pelo usuário tem efeito imediato, contudo, o pagamento pela energia consumida é realizado em um momento posterior (18).

$$\text{Min} \left\{ \sum_{i=1}^{N_i} \left((1-\phi) \lambda_{i,j}^{\text{imp}} (E_{i,j}^{\text{load}} + P_{i,j}^{\text{EHP}} t) + \sum_{j=1}^{N_j} (\varsigma_i^+ T_{i,j}^+ + \varsigma_i^- T_{i,j}^-) \right) \right\} \quad (8)$$

Por fim, (18) conclui que “os formuladores de políticas devem apoiar tais estudos experimentais, já que a falha em desenvolver uma compreensão adequada dos aspectos comportamentais na resposta da demanda, pode prejudicar o seu desenvolvimento bem-sucedido, resultando em custos mais altos de gerenciamento do sistema e restrições de rede”.

3.2 Teoria da Perspectiva

Daniel Kahneman e Amos Tversky (19) elaboraram de forma notória a teoria da perspectiva e afirmaram que os indivíduos tem aversão a perda 2,25 vezes maior que a um ganho da mesma proporção, ou seja, o sofrimento por uma perda é maior que a satisfação de um ganho. De acordo com (20), a racionalidade limitada dos decisores e a incerteza das situações para a tomada de decisão são colocadas em destaque na teoria da perspectiva. Em (21), informa que “a teoria da perspectiva pode descrever o comportamento de tomada de decisão mais eficaz de acordo com as características do comportamento e a preferência psicológica dos decisores”. Essa teoria é pautada em cinco princípios: (i) dependência de referência; (ii) sensibilidade em declínio; (iii) aversão a perdas; (iv) ponderação não linear de probabilidades; e (v) suscetibilidade a efeitos de enquadramento (19) (22) (23). A teoria da perspectiva iniciou novas linhas de pesquisa sobre o comportamento humano: em (21), foi realizado um estudo com foco em políticas públicas, que fornece subsídios para estimular estilos de vida de baixo carbono; e em (23) foi utilizada para explicar as lacunas na eficiência energética. Ainda em (24) foi desenvolvido um modelo com a finalidade de explorar o efeito da teoria da perspectiva nas decisões de liquidação dos agentes econômicos. Já, em (25), os autores implementaram o índice Sharpe, que é um indicador de desempenho baseado no histórico do investimento.

Os autores, Kahneman e Tversky (26), propuseram em seu estudo “que os indivíduos avaliem situações em termos relativos, em relação a um ponto de referência que pode ser subjetivo”. O ponto de referência depende da posição do indivíduo na classe socioeconômica e na sua perspectiva de crescimento. O histórico social e a situação econômica eminentemente pregressa do consumidor é um aspecto importante no contexto e tem influência direta na tomada de decisão e na exposição ao risco. Outro fato relevante, Figura 1, no processo de decisão é o efeito do foco atencional que indica “detalhadamente as consequências de um risco geralmente aumenta a probabilidade subjetiva associada a esse risco, sendo o contrário verdadeiro por igual” (27).

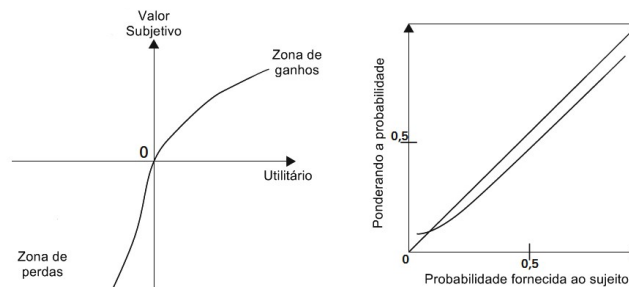


Figura 1 – Função de valor subjetivo e de ponderação das probabilidades da teoria da perspectiva (27).

A Figura 1 mostra que os indivíduos são mais avessos ao risco, sendo que o efeito de uma perda é maior que de um ganho de mesma proporção. O gráfico da função de ponderação da probabilidade apresenta que os indivíduos são propensos a pagarem mais por algo que, hipoteticamente, irá reduzir a zero um risco, do que pagar por algo que reduza o risco na mesma proporção (27).

Em (27) foi apresentado um estudo do jogo da barganha de Nash combinando a análise de estabilidade estocástica com a teoria da perspectiva (Figura 2). Sabe-se que as situações de negociação podem apresentar uma determinada incerteza em seu resultado devido a percepção dos negociadores, que podem vir a desempenhar um papel importante sobre a situação. Em um processo de negociação, com o objetivo de reduzir a dificuldade, pode-se utilizar estratégias para tornar a escolha mais fácil e rápida, entretanto, tais estratégias podem por influenciar as decisões do negociador. Em (19) citam que avaliações dependentes de referência levam a vieses de decisão em situações de risco, como por exemplo, o viés de aversão à perda. Nesse contexto, o prossumidor, dado um ponto de referência em T_0 , pode por negociar em T_1 e abrir mão de incentivos ou de serviços energéticos que podem acarretar em perdas financeiras, como por exemplo, a decisão de não entrada em um programa de DR.

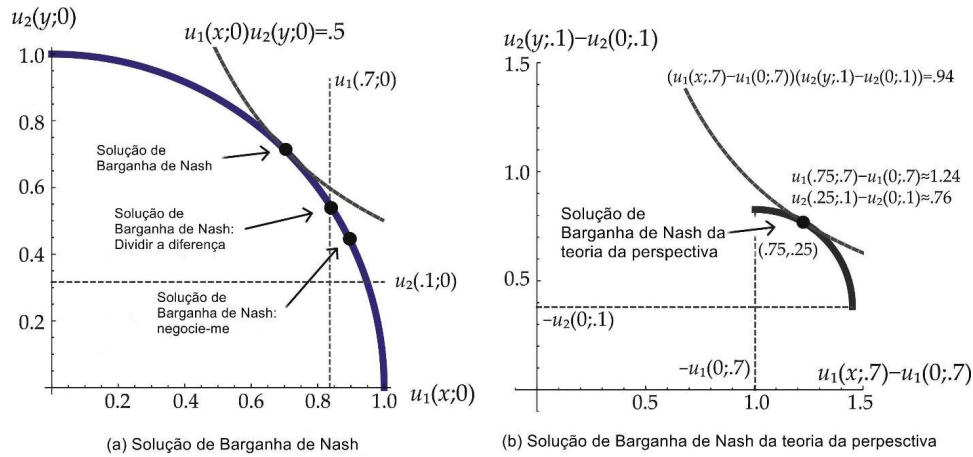


Figura 2 - Comparação das quatro soluções de negociação (27)

A Figura 2-(a) apresenta um exercício econômico hipotético entre os bens ou serviços u_1 e u_2 , em que o resultado considerado ótimo (Solução de barganha de Nash) pode não ser prescrito como o habitual, em que a taxa de marginal de substituição sobre a utilidade econômica não é igual a taxa de preço entre os bens e serviços comparados. Neste caso, o agente econômico percorre a função de utilidade pela taxa marginal substituição escolhendo posições de indiferença distintas daquela considerada ótima. Por sua vez, a Figura 2-(b) apresenta a possível solução do mesmo exercício sobre a teoria da perspectiva (27).

Em (22) foi apresentado um estudo sobre a evasão fiscal sob a teoria da utilidade esperada e sob a teoria da perspectiva. Este estudo pode corroborar com o equacionamento para a interpretação da teoria da perspectiva para um prossumidor. Adaptando o modelo, tem-se um prossumidor com uma demanda, $W > 0$. O mesmo pode por decidir por declarar uma meta de demanda reduzida, $D \in (0, W)$. Sobre o valor declarado, a concessionária pode aplicar uma taxa constante t , $0 < t < 1$. Se o prossumidor não atingir a meta de demanda reduzida, $0 \leq D < W$, ele é associado a uma probabilidade $p(D) \in (0, 1)$. Foi assumido que $p(D)$ é continuamente diferenciável, $p'(D) \leq 0$, acarretando em que caso o prossumidor se afaste mais da meta de demanda reduzida, maior será a probabilidade. Caso o prossumidor além de não atingir a meta demanda reduzida, ele supere a demanda, W , ele deve arcar com a consequência $t(W - D)$, uma penalidade $\lambda t(W - D)$ onde $\lambda > 0$ é a taxa de penalidade sobre a demanda e também sobre uma estigma $s(W - D)$, onde s é taxa de estigma da demanda excedida (22). As equações (9) e (10) apresentam a consequência (Y) quando ele for “ultrapassar”, (Y_C), e quando “não ultrapassar”, (Y_{NC}).

$$Y_C = (1 - t)W + (s + \lambda t)(W - D) \quad (9)$$

$$Y_{NC} = W - tD \quad (10)$$

Na sequência é apresentado a utilidade de ganho ou perda sob a teoria da perspectiva.

$$X_i = Y_i - R \quad (11)$$

Em que: X_i é o ganho ou perda; Y_i é a demanda do prossumidor; R é a demanda de referência do prossumidor; e i: C ou NC indicaram os estados. A utilidade associada a um ganho ou perda X_i é definida em (26).

$$v(X_i) = \begin{cases} X_i^\beta & \text{if } X_i \geq 0 \\ -\theta(-X_i)^\beta & \text{if } X_i < 0 \end{cases} \quad (12)$$

Em que: v é a função de valor ou de utilidade econômica; $\beta \in [0,1]$ é o parâmetro de referência; e θ é parâmetro de aversão à perda, onde $\theta > 1$;

O ponto de referência sob a teoria da perspectiva é uma lacuna experimental. Apesar da teoria da perspectiva não explicar como determinar o ponto de referência ele é essencial em aplicação que envolvem tal teoria (22). Assim, o intuito é que o prosumidor esteja no domínio das perdas se ultrapassar a meta de redução da demanda e no domínio dos ganhos se não ultrapassar. Ao deixar que v seja a função de valor do prosumidor e ω^+ , ω^- a função de ponderação de probabilidade para os domínios de ganhos e perdas, obtém-se a equação 13.

$$v(D; t; s; \lambda, \theta, W) = \omega^- [p(D)] v(X_C) + \omega^+ [1 - p(D)] v(X_{NC}) \quad (13)$$

Por fim, (22) avalia que os portadores de utilidade da teoria da perspectiva são ganhos e perdas em relação a algum ponto de referência, em vez de níveis.

Nesse sentido, analisando um cenário hipotético de DR, um prosumidor poderá se enquadrar no domínio de perdas caso ele tenha que pagar para entrar em um programa de DR ou se enquadrará no domínio dos ganhos caso ele seja beneficiado mesmo não participando do programa de DR. Se o ponto de referência para o prosumidor for uma taxa de juros e dado um determinado cenário de análise com um futuro incerto, ele poderá decidir em atender seu conforto e bem-estar de imediato, o que poderá resultar em um domínio de perdas.

A tomada de decisão e a análise de risco por parte do prosumidor é uma multidimensional, em que as heurísticas do processo de decisão devem fazer parte da modelagem dos programas de DR. Uma das formas de avaliação e análise multidimensional possível é por meio de metodologias multicriteriais. Essas metodologias possibilitam avaliar todos os critérios que afetam um consumidor de energia submetido a um programa de DR. Os critérios podem ser modelados em subconjuntos de acordo com cada dimensão que envolveria a decisão do prosumidor: política, social, financeira, econômica e ambiental. Em que, cada dimensão pode ser entendida por meio de pontos de vista fundamentais e os critérios descritos e associado a funções de valor econômico, as quais podem ser operacionalizadas e mensuradas em escalas numéricas (28)(29).

4.0 - CONCLUSÃO

Neste artigo, foram apresentadas teorias econômicas que auxiliam o entendimento das escolhas e da decisão de um prosumidor e como o comportamento econômico humano pode ser modelado em um programa de DR através de incentivos.

Através da teoria econômica comportamental e da teoria da perspectiva é possível compreender e analisar que o ser humano é dotado de subjetividades e nem sempre suas decisões são dotadas da racionalidade esperada. A gamificação tem grande potencial de fazer com que os indivíduos se engajem em mudar seu comportamento e ações em relação ao consumo e fornecimento de energia. O uso de aplicativos permite incentivar os usuários a se engajarem em um determinado objetivo que pode ser comum a todos. Diversas alternativas são possíveis de serem criados a fim de engajar o prosumidor em adotar uma atitude que gere resultados positivos.

Apesar de alguns casos reais apresentarem resultados positivos, não se pode garantir que o programa de DR apresentará resultados progressivos no longo prazo. Para melhorar a efetividade dos programas de DR no longo prazo, a elaboração e a modelagem devem abarcar múltiplos critérios e múltiplas dimensões a fim de prospectar o comportamento do prosumidor, não apenas em termos econômicos ou financeiros, mas, também, o referencial socioeconômico imediatamente anterior ao estabelecimento do programa de DR. Com isso, é possível que a perspectiva do prosumidor possa ser, na medida que a ciência permite, modelado. É necessário que os estudos existentes sejam aplicados no cotidiano a fim de que os resultados possam garantir a eficácia ou não dos modelos existentes.

O consumo consciente e eficiente de energia é de grande importância para o progresso e desenvolvimento tecnológico e socioeconômico. E para que isso ocorra, é necessário que os programas de DR sejam assertivos em seus objetivos ao levar o comportamento do prosumidor em consideração.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) CLARK W. GELLINGS, "The Concept of Demand-Side Management for Electric Utilities," *Proc. IEEE*, no. 10, pp. 1468–1470, 1985.
- (2) LIMAYE, Dilip R., "Implementation of Demand-Side Management Programs," *Proc. IEEE*, vol. 73, no. 10,

- pp. 1503–1512, 1985, doi: 10.1109/PROC.1985.13322.
- (3) ALSKAIF, Tarek e LAMPROPOULOS, Ioannis e VAN DEN BROEK, Machteld e VAN SARK, Wilfried, "Gamification-based framework for engagement of residential customers in energy applications," *Energy Res. Soc. Sci.*, vol. 44, no. April, pp. 187–195, 2018, doi: 10.1016/j.erss.2018.04.043.
 - (4) DELGADO, Reynolds M., "Demand-Side Management Alternatives," *Proc. IEEE*, vol. 73, no. 10, pp. 1471–1488, 1985, doi: 10.1109/PROC.1985.13319.
 - (5) FARIA, P. e VALE, Z., "Demand response in electrical energy supply: An optimal real time pricing approach," *Energy*, vol. 36, no. 8, pp. 5374–5384, 2011, doi: 10.1016/j.energy.2011.06.049.
 - (6) LEITE, Jônatas Boás., "Desenvolvimento de um sistema de gerenciamento de energia (EMS - energy management system) para a rede elétrica inteligente (Smart Grid)," *Tese - Univ. Estadual Paul. Fac. Eng. Ilha Solteira.*, p. 168, 2015.
 - (7) HARRIS, Chris., *Eletrecity Markets: Pricing, Structures and Economics*. West Sussex, 2006.
 - (8) CATARINA, Tecnológica D E Santa et al., "Análise da assimetria de informação econômica no mercado de eletricidade de distribuição em baixa tensão com resposta da demanda," 2018.
 - (9) ROSSETTI, JOSÉ, P., *Introdução à Economia*, 20th ed. São Paulo, 2003.
 - (10) SAMUELSON, P. A.; NORDAUS, W. D., *Economics*, 17th ed. New York, 2001.
 - (11) PINDYCK, ROBERT S., RUBINFELD, Daniel L., *Microeconomia*, 5th ed. São Paulo, 2002.
 - (12) THALER, Richard, "Toward a positive theory of consumer choice," *J. Econ. Behav. Organ.*, vol. 1, no. 1, pp. 39–60, 1980, doi: 10.1016/0167-2681(80)90051-7.
 - (13) BRANDON, Alec e LIST, John A e METCALFE, Robert D e PRICE, Michael K e RUNDHAMMER, Florian, "Testing for crowd out in social nudges: Evidence from a natural field experiment in the market for electricity," *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 116, no. 12, p. 5293 LP-5298, Mar. 2019, doi: 10.1073/pnas.1802874115.
 - (14) EPE, "Recursos Energéticos Distribuídos: Impactos no Planejamento Energético JULHO 2018 | NOTA DE DISCUSSÃO," no. 21, pp. 1–11, 2018.
 - (15) GEELLEN, Daphne e KEYSON, David e STELLA, Boess e BREZET, Han, "Exploring the use of a game to stimulate energy saving in households - Journal of Design Research - Volume 10, Number 1–2/2012 - Inderscience Publishers," *J. Des. Res.*, vol. 10, pp. 102–120, 2012.
 - (16) SEABORN, Katie e FELLS, Deborah I., "Gamification in theory and action: A survey," *Int. J. Hum. Comput. Stud.*, vol. 74, pp. 14–31, 2015, doi: 10.1016/j.ijhcs.2014.09.006.
 - (17) LAMPROPOULOS, Ioannis e ALSKAIF, Tarek e VAN DEN BROEK, Machteld e VAN SARK, Wilfried e VAN OOSTENDORP, Herre, "A Method for Developing a Game-Enhanced Tool Targeting Consumer Engagement in Demand Response Mechanisms," 2019, pp. 213–235. doi: 10.1007/978-3-319-99444-4_9.
 - (18) GOOD, Nicholas, "Using behavioural economic theory in modelling of demand response," *Appl. Energy*, vol. 239, no. January, pp. 107–116, 2019, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.01.158.
 - (19) KAHNEMAN, Daniel e TVERSKY, Amos, "Prospect Theory: an analysis of decision under risk," *Econometrica*, vol. 47, no. 2, pp. 263–292, 1979.
 - (20) BARBERIS, Nicholas C., "Thirty years of prospect theory in economics: A review and assessment," *J. Econ. Perspect.*, vol. 27, no. 1, pp. 173–196, 2013, doi: 10.1257/jep.27.1.173.
 - (21) CHENG, Xiu e LONG, Ruyin e CHEN, Hong, "A policy utility dislocation model based on prospect theory: A case study of promoting policies with low-carbon lifestyle," *Energy Policy*, vol. 137, no. November 2019, p. 111134, 2020, doi: 10.1016/j.enpol.2019.111134.
 - (22) DHAMI, Sanjit e AL-NOWAIHI, Ali, "Why do people pay taxes? Prospect theory versus expected utility theory," *J. Econ. Behav. Organ.*, vol. 64, no. 1, pp. 171–192, 2007, doi: 10.1016/j.jebo.2006.08.006.
 - (23) HÄCKEL, Björn e PFOSSER, Stefan e TRÄNKLER, Timm, "Explaining the energy efficiency gap - Expected Utility Theory versus Cumulative Prospect Theory," *Energy Policy*, vol. 111, no. September, pp. 414–426, 2017, doi: 10.1016/j.enpol.2017.09.026.
 - (24) KYLE, Albert S. e OU-YANG, Hui e XIONG, Wei, "Prospect theory and liquidation decisions," *J. Econ. Theory*, vol. 129, no. 1, pp. 273–288, 2006, doi: 10.1016/j.jet.2005.02.006.
 - (25) GOLLIER, Christian e HILTON, Denis e RAUFASTE, Eric, "Daniel Kahneman et l'analyse de la décision face au risque," *Rev. Econ. Polit.*, vol. 113, no. 3, p. 295, 2003, doi: 10.3917/redp.133.0295.
 - (26) TVERSKY, Amos e KAHNEMAN, Daniel, "Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty," *Choices, Values, Fram.*, vol. 323, pp. 44–66, 1992, doi: 10.1017/CBO9780511803475.004.
 - (27) SAWA, Ryoji, "A prospect theory Nash bargaining solution and its stochastic stability," *J. Econ. Behav. Organ.*, vol. 184, pp. 692–711, 2021, doi: 10.1016/j.jebo.2020.11.009.
 - (28) SICA, E.T. e BRIGATTO, G.A.A. e CARMARGO, C.C.B. e PALMA, A.S. e CARVALHO, R.T. e OKUDA, B.S., "Multiattribute value function for the assessment of distributed generation projects: Application to technical criteria," 2011. doi: 10.1109/TDC-LA.2010.5762938.
 - (29) SICA, EVERTHON T.; CAMARGO, C CELSO DE BRASIL ; ARANHA NETO, EDISON A. C.; COELHO, Jorge, "Integrated evaluation of technical, economical, social and environmental aspects of planning of works at transmission and distribution systems: a proposal," 2012.

DADOS BIOGRÁFICOS



Graduado em Engenharia Elétrica pelo Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC. Atualmente, atua como Analista de Desenvolvimento de Mercado na unidade de Energia Solar da empresa Indústria de Telecomunicação Eletrônica Brasileira - Intelbras.

(2) EVERTHON TAGHORI SICA

Graduado em Engenharia Industrial Elétrica pela UTFPR ; Doutor em Planejamento de Sistemas de Energia Elétrica, pela UFSC. Professor do Instituto Federal de Santa Catarina lecionando para os cursos de Engenharia Elétrica e Tecnologia de Sistemas de Energia. Coordenador do Laboratório de Planejamento Integrado de Recursos Energéticos e atuando em modelagem e simulação de sistemas de suporte à decisão multicritério e otimização multiobjetivos aplicados nas áreas de Recursos Energéticos Distribuídos, de Recurso Hídricos, de Confiabilidade de Sistemas, de Teoria Econômica aplicada do Setor Elétrico e de Economia e Regulação dos Recursos Naturais e do Meio Ambiente.