

ANÁLISE DE PREFERÊNCIA HIDROENERGÉTICA: CANA-DE-AÇÚCAR X HIDRELÉTRICAS

Bruno Collischonn¹; Pedro Filipe Bosco dos Santos²

RESUMO - A maior parcela da energia consumida no Brasil, cerca de 70%, provém de usinas hidrelétricas, que dependem da ocorrência de vazões nos rios. Por outro lado, desde a década de 1970 o país foi um pioneiro no desenvolvimento de biocombustíveis, principalmente no etanol de cana-de-açúcar. Mesmo tendo apresentado altos e baixos em anos recentes, o potencial da geração de energia a partir da cana é alto, tanto por meio do etanol como pela cogeração por queima do bagaço e palha. A expansão sustentável do cultivo de cana-de-açúcar passa pelo aumento da produtividade, e um dos fatores que possibilitam esse aumento é o uso da irrigação, principalmente nas regiões mais secas do país. Com o aumento da irrigação, esta atividade passa a competir com o setor hidrelétrico pelo uso da água. No presente trabalho, foi feita uma delimitação espacial das áreas mais apropriadas para cultivo irrigado de cana-de-açúcar no Brasil, por meio de um critério hidroenergético, ou seja, a partir de sua comparação com uma alternativa de uso da mesma água para geração hidrelétrica. Os resultados mostraram que na maior parte do território, o uso da água para bioenergia tende a ser mais vantajoso do que na geração hidrelétrica, em particular se considerada a possibilidade de cogeração. Considera-se que este tipo de análise pode ser importante quando da ocorrência de conflitos pelo uso da água, no sentido de fornecer subsídios para o estabelecimento de prioridades de uso na bacia hidrográfica.

ABSTRACT - Hydropower accounts for around 70% of energy sources in Brazil. Despite being a non-consumptive use, it requires streamflows to be available in river basins. On the other hand, since the 1970s Brazil has pioneered the development of biofuels, mainly from sugarcane. In spite of some setbacks in the past, its potential for energy generation is high, through ethanol as well as through cogeneration from bagasse. Sustainable expansion of sugarcane cultivation is necessarily linked to yield increases, with irrigation being one of the main possibilities to achieve that. This, by its turn, increases competition for water resources with other users, notably hydropower. In the present work, we spatially delimited the most suitable areas for sugarcane cultivation across the Brazilian territory, according to a hydroenergetic criterium, that is, by means of a comparison with the alternative of using the same amount of water for hydropower generation. Results show that in most of Brazil, water is better allocated for energy generation through sugarcane, particularly if cogeneration is taken into account. We believe this kind of analysis to be useful in order to provide insights for the definition of priorities for water use.

Palavras Chave - hidroenergia, recursos hídricos, irrigação

¹ Especialista em recursos hídricos da Agência Nacional de Águas e Professor Adjunto do UNICEUB/DF. Tel (61) 991161167
bruno.collischonn@ana.gov.br / bruno.collischonn@ceub.edu.br

² Engenheiro civil, pedrobosco_dossantos@hotmail.com

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é considerada a cultura agrícola mais produzida do mundo, sendo colhidas mais de um bilhão de toneladas por ano (CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento, 2013).. Além do etanol, a produção de bioeletricidade é uma das atividades da indústria sucroenergética mais significativas e com maior potencial de crescimento no setor. Além do açúcar e álcool, existem atualmente cerca de 100 usinas gerando excedentes comercializáveis de eletricidade via queima do bagaço (União das Indústrias de Cana-de-Açúcar - UNICA, 2016)

Levando-se em conta que a maior capacidade de geração de energia hidrelétrica está concentrada nas bacias dos rios Paraná (33,3%), São Francisco (17%) e Tocantins (9%) e que a maior parte das regiões produtoras de cana também se concentram na região centro-sul do país, todo volume de água retirado dos cursos de rio dessas bacias para irrigação de cana-de-açúcar tem interferência direta na capacidade de geração de energia hidrelétrica.

O cenário de escassez requer que os recursos existentes para produção de energia sejam alocados de forma otimizada (LAINA, 2008), ou seja, preferencialmente para a finalidade que gera a maior quantidade de energia por metro cúbico de água utilizado, além, naturalmente, de outros critérios, como restrições ambientais e aptidão agrícola dos solos.

Apesar da importância da energia hidrelétrica e da cana-de-açúcar para o Brasil, foram encontrados poucos trabalhos que se dedicam a fazer uma análise comparativa do uso da água nessas duas modalidades no país. Cabe mencionar o Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar (EMBRAPA Solos, 2009), no qual a questão dos recursos hídricos é brevemente mencionada. Já na literatura internacional sobre o assunto, destacam-se os trabalhos de Younos e Tulou (2005) e Younos et al. (2012), que abordaram a questão do uso mais eficiente da água para geração de energia, comparando energia hidrelétrica e etanol. Merecem menção também os trabalhos de Mubako e Lant (2008) e de Wu (2012), que se dedicaram a calcular a “pegada hídrica” do etanol de milho no meio-oeste americano.

Nota-se, portanto, que poucos trabalhos procuram abordar o problema sob a ótica dos recursos hídricos, em particular no Brasil. Dessa forma, a presente proposta pretende realizar um mapeamento das áreas mais apropriadas, do ponto de vista hidroenergético, para a expansão de cultivos agrícolas irrigados, levando em conta a indisponibilidade da água consumida para geração hidrelétrica.

MATERIAIS E MÉTODOS

Escala de trabalho e mapeamento geral

A base geográfica para o trabalho foi a base hidrográfica ottocodificada, desenvolvida pela Agência Nacional de Águas (ANA) e disponibilizada em www.snirh.ana.gov.br em sua versão 2013. Da mesma fonte, obtiveram-se as ottobacias, ou seja, áreas de contribuição correspondentes a cada trecho da base. A ottocodificação permite identificar como cada ottobacia se situa em relação às demais (se está a jusante ou a montante). Isso é importante no âmbito deste trabalho, uma vez que é necessário identificar quais usinas hidrelétricas situam-se a jusante de uma determinada área irrigada, e portanto são afetadas por ela.

A cada ottobacia do país foram associados três valores de produtividade: o primeiro, associado às hidrelétricas da cascata a jusante; o segundo, considerando a energia específica da irrigação considerando o uso da cana somente para produção de etanol; e o terceiro contemplando produção de etanol acrescida da cogeração.

O mapeamento geral consistiu em especializar essas informações, de forma a permitir a identificação rápida de áreas mais propícias para uma ou outra forma de geração hidroenergética. Para isso, foi calculado em cada ottobacia um indicador de preferência, resultante da divisão da produtividade hidrelétrica acumulada pela produtividade da cana, em cada cenário.

Nas ottobacias em que o indicador resultou inferior à unidade, a preferência é pelo uso para hidrelétricas, uma vez que o mesmo volume de água gera mais energia na cascata do que se alocado para irrigação de cana. Por outro lado, nas ottobacias em que o valor foi superior à unidade, a preferência é pela irrigação, caso em que foi dividida em duas categorias: preferência moderada, para valores do indicador até cinco, e preferência alta, para valores superiores a cinco.

Produtibilidade das hidrelétricas

Os dados das hidrelétricas foram obtidos do Sistema de Informações Geográficas do Setor Elétrico-SIGEL (<http://sigel.aneel.gov.br>) e do programa SIPOT, disponibilizado pela ELETBRAS. Quando não disponíveis, os dados de perdas hidráulicas e indisponibilidade foram obtidos por correlação a partir dos dados dos demais aproveitamentos.

A produtividade de cada empreendimento foi então calculada, a partir da formulação abaixo:

$$Prdtbldd \left(\frac{MW}{m^3/s} \right) = \frac{9,81 \cdot (NA_{mont} - NA_{jus} - Phid) \cdot ef_t \cdot ef_g \cdot (1 - ind_f) \cdot (1 - ind_p)}{1000} \quad (1)$$

onde NA_{mont} é o nível d'água a montante (correspondente a 60% do volume útil), NA_{jus} é o NA normal de jusante, $Phid$ são as perdas hidráulicas, ef_t e ef_g são as eficiências da turbina e do gerador e ind_f e ind_p são as taxas de indisponibilidade forçada e programada, respectivamente.

Cada empreendimento hidrelétrico foi associado a um trecho da base ottocodificada, a partir da proximidade com a hidrografia. Em seguida, para cada ottobacia da base, foi feito o cálculo da produtibilidade acumulada a jusante, por meio da lógica de Otto.

Com isso, é possível estimar qual a potência perdida em hidroeletricidade ao retirar-se 1 m³/s de uma dada ottobacia. Por exemplo: ao retirar-se 1 m³/s de água do Lago Paranoá, esta vazão deixa de estar disponível para turbinamento na PCH Paranoá, nas UHE Corumbá I, Itumbiara, Cachoeira Dourada, São Simão, Ilha Solteira, Jupia, Porto Primavera, e Itaipu. Portanto, esta retirada implica em uma perda energética, nas hidrelétricas da cascata, de 5,1 MW.

Produtibilidade da cana de açúcar

De forma geral, o cálculo da produtibilidade da cana de açúcar seguiu o seguinte equacionamento:

$$Prdtbldd \left(\frac{MWh}{m^3} \right) = \frac{(P_{irr} - P_{seq}) \cdot C_p}{Dem} - Prdtbldd_{bomba} \quad (2)$$

Onde P_{irr} é a produtividade da cana irrigada e P_{seq} , a produtividade da cana de sequeiro, ambas em toneladas/hectare/ano, C_p é o calor específico que pode ser obtido com a cana (em MWh/tonelada), Dem é a demanda de água para irrigação da cana, em m³/hectare/ano e $Prdtbldd_{bomba}$ é o consumo específico de energia da bomba usada na irrigação

A variabilidade de produtividades para a cana irrigada é alta, tendo sido encontrados valores desde 100 ton/ha até 250 ton/ha. Assim, considerou-se que a produtividade da cana de açúcar irrigada é de 100 toneladas/hectare, limite inferior deste intervalo. A produtividade da cana de sequeiro, por outro lado, foi arbitrada em 65 toneladas/por hectare. Assim, a produtividade efetivamente agregada pelo uso da água, para fins deste trabalho, é de 35 toneladas/hectare. Como exceção, considerou-se que nas ottobacias situadas em municípios do semi-árido a produtividade da cana de sequeiro é zero,

ou seja, não há possibilidade de cultivo sem irrigação. Para definição da abrangência do semi-árido, considerou-se a portaria nº89, de 16 de março de 2005, do Ministério da Integração Nacional.

A conversão da massa de cana em energia foi estimada considerando dois cenários: no cenário 1, considerou-se que a cana destina-se somente à produção de etanol, com uma taxa de conversão de 90 litros de etanol hidratado por tonelada de cana, e um poder calorífico de 5380 cal por litro de etanol (Nova Cana, 2017). Convertendo as unidades, tem-se um poder calorífico de 0,416 MWh gerado a cada tonelada de cana produzida.

No cenário 2, considera-se que além do etanol, a usina pode produzir energia pela queima do bagaço. Nesse caso, adotou-se uma geração média de 319 kWh (0,319 MWh) a cada tonelada de cana pré-moagem. Estima-se uma demanda interna de vapor e energia na termelétrica, correspondente a 35 kWh por tonelada pré-moagem.

Para estimativa do consumo de água na irrigação, arbitrou-se a cada ottobacia um vetor de evapotranspiração potencial de referência e um vetor de precipitação efetiva provável. Estes dados foram obtidos a partir do sistema NewLocClim, desenvolvido pela FAO para estimar evapotranspiração de referência para várias localidades no mundo.

Assim, o volume captado para irrigação de um hectare de cana pode ser calculado por:

$$Dem \left(\frac{m^3}{ha \cdot mês} \right) = \frac{(E_{tr} \cdot k_c - P_p) \cdot 10}{ef} \quad (3)$$

Onde E_{tr} é a evapotranspiração de referência no mês, P_p é a precipitação efetiva provável (com 80% de permanência) no mês, k_c é o coeficiente de cultivo da cana e ef é a eficiência de irrigação.

Arbitrou-se uma eficiência de irrigação de 70%, correspondente ao método de aspersão, que possivelmente seja o método mais comum para irrigação de cana no país. Adotou-se ainda um coeficiente de cultivo de 1,2 para a cana. O cálculo da demanda foi feito mês a mês, de forma a estimar o volume necessário para um ano de cultivo.

A energia usada no bombeamento da água para irrigação também foi levada em conta, arbitrando-se que a altura manométrica total de uma área irrigada de cana seja de 80 mca (incluindo pressão de serviço), e a eficiência do conjunto moto-bomba seja de 70%. Com isso, resulta uma produtibilidade negativa de 1,12 MW/m³/s, ou 0,31 kWh/m³.

Dividindo-se a produção específica de energia, em MWh/ton/ano, pelo consumo específico, em toneladas/ano por metro cúbico de água acrescido, em cada cenário, foi possível calcular a produtibilidade da cana, em MW/m³/s, para cada ottobacia da base.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 abaixo mostra o mapa resultante do cenário 1, em que a produção é somente dedicada à produção de etanol.

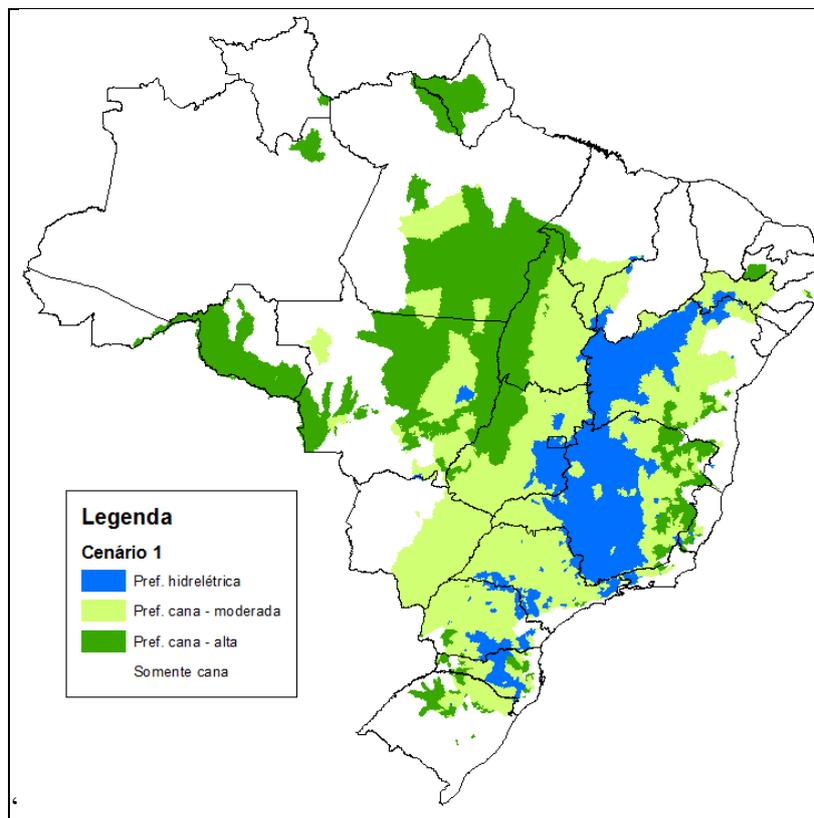


Figura 1 - Resultado da preferência hídrica para o cenário 1 (uso da cana somente para produção de etanol)

Nota-se, em análise associada a imagem abaixo, que essas áreas são praticamente coincidentes com os locais de maior altitude no país. Isto porque a produtibilidade acumulada das usinas depende basicamente da energia potencial, ou desnível geométrico a ser percorrido até a foz.

Por outro lado, as áreas em verde escuro mostram regiões de alta preferência pela geração via irrigação. Tratam-se de regiões onde uma ou mais das seguintes características estão presentes: a) regiões mais baixas, onde a água já possui menor energia potencial, de forma que não há conflito com geração hidrelétrica; b) regiões altas, porém com poucas usinas hidrelétricas a jusante, ou estas são de baixa queda; c) regiões secas, em que o ganho de produtividade obtido com a irrigação é muito

alto, assegurando uma alta produtividade hídrica; d) regiões em que a demanda para irrigação é pequena, garantindo boa produtividade mesmo com pequeno consumo de água .

As regiões com maior preferência para irrigação são aquelas em branco no mapa, onde não há conflito: a vazão retirada para irrigação não deixa de gerar energia hidrelétrica, simplesmente porque não há empreendimentos hidrelétricos a jusante.

Por outro lado, as preferências mais altas para hidrelétricas (correspondentes aos valores mais baixos do indicador de preferência) foram encontradas nas cabeceiras do rio Grande (MG), que abriga uma das mais importantes cascatas hidrelétricas do país. Alta preferência por hidrelétricas também foi encontrada na região noroeste da Bahia, na bacia do São Francisco. Em ambos, o valor do indicador foi de aproximadamente 0,25, sinalizando para uma geração de energia quatro vezes maior se alocado para geração hidrelétrica.

No cenário 2, considerou-se que a cana produzida pode ser utilizada também para cogeração pela queima do bagaço, além do etanol. A Figura 2 mostra o resultado para este cenário.

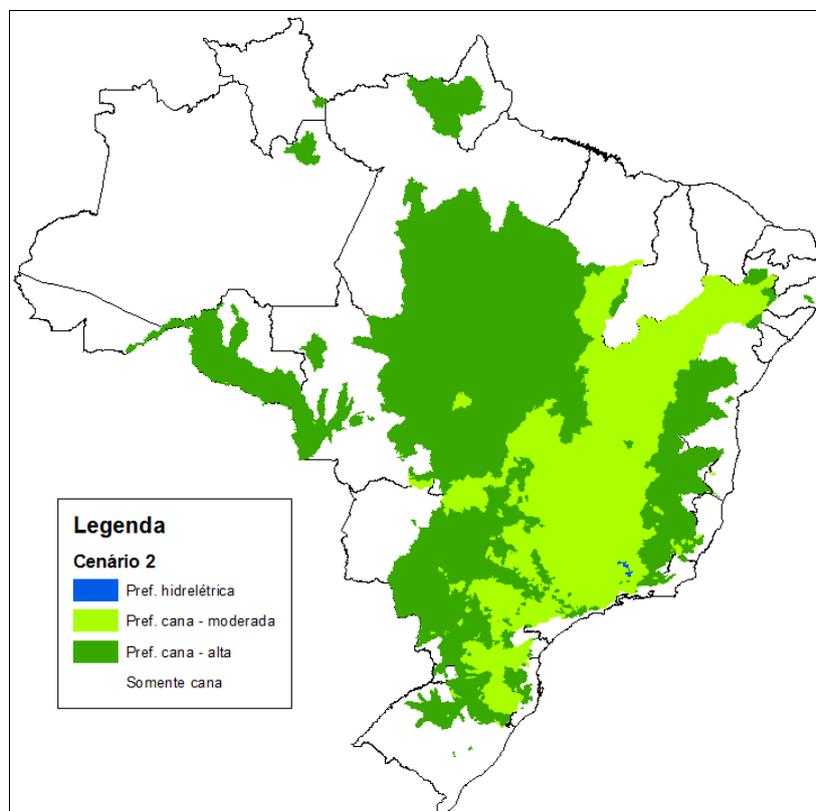


Figura 2. Resultado da preferência hídrica para o cenário 2 (uso da cana para produção de etanol e cogeração)

Observa-se que os resultados para este cenário favorecem amplamente a geração de energia via irrigação. Somente em uma pequena região nas cabeceiras do Rio Grande, o indicador de preferência foi inferior à unidade, sinalizando preferência para geração hidrelétrica. Em comparação com o cenário 1, observa-se que uma área bem maior apresenta preferência alta pela cana (produtibilidade cinco vezes superior ou mais), principalmente na bacia amazônica, nas bacias litorâneas do nordeste e na região do rio Paraná (entre MS e SP).

Mesmo as regiões que antes apresentavam preferência por hidrelétricas, como as regiões altas de Minas Gerais, passaram a apresentar preferência moderada por irrigação de cana neste cenário. Isto é explicado pelo alto calor específico da cogeração, que praticamente dobra a produtividade da irrigação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho, foi feita uma análise comparativa da energia que pode ser extraída da água, considerando duas formas de geração: hidrelétricas e irrigação de cana-de-açúcar. Considera-se que este tipo de abordagem pode ser uma alternativa interessante na definição de prioridades de uso da água, em bacias onde há conflito entre diferentes setores, como irrigação e geração hidrelétrica. Esse tipo de conflito tende a ocorrer com mais frequência no futuro, uma vez que a produção de cana de açúcar tem se expandido a partir das áreas tradicionais no interior de SP para regiões mais novas, como Goiás, Tocantins e a região semi-árida, regiões que, por serem mais secas, tendem a exigir irrigação para obtenção de produtividades adequadas.

Da forma como foi proposta, a metodologia apontou predominância da preferência por irrigação, exceto áreas muito altas, onde a energia potencial da água na cadeia de hidrelétricas é alta. Caso seja considerada ainda a cogeração, essa predominância da preferência por irrigação aumenta, ocupando praticamente todo o país. Naturalmente, este cenário é potencial, uma vez que o percentual de usinas com co-geração ainda é relativamente baixo.

Algumas limitações podem ser apontadas nesta análise. Em primeiro lugar, atribuiu-se uma produtividade para a cana de sequeiro constante em todo o país, igual a 65 toneladas por hectare. Essa premissa naturalmente não é verdadeira, variando em função do manejo e tecnologia adotada pelo produtor. Entretanto, mesmo considerando manejo constante, a produtividade de sequeiro tende a variar de uma região para outra, devido à variabilidade do clima. Isso foi considerado de forma

descontínua, ao atribuir-se produtividade nula às regiões situadas no semi-árido. Entretanto, a variação do clima no espaço é relativamente gradual, de maneira que essa transição abrupta não coincide com a realidade. Para regiões na transição do semi-árido, portanto, esses resultados devem ser encarados com algumas ressalvas. Da mesma forma, regiões naturalmente úmidas tendem a ter produtividades de sequeiro um pouco mais altas do que esse valor médio.

É importante mencionar que a metodologia se ateve somente ao potencial hidroenergético de diferentes políticas de alocação do uso da água. Assim os resultados não devem ser interpretados como uma preferência absoluta da geração de energia por meio da irrigação, pois levaram em conta somente uma faceta da questão. Não foram feitas considerações, por exemplo, sobre o impacto ambiental de cada alternativa. Este aspecto é particularmente sensível, visto que boa parte da região amazônica apresentou alta preferência pela irrigação. Tampouco foram considerados aspectos de caráter mais social, como geração de empregos ou retorno em impostos.

Um outro aspecto a mencionar é que a análise focou somente na geração de energia, e não em outras facetas como a transmissão e a distribuição. Nessa linha, é possível que a transmissão de energia elétrica tenda a ser mais eficiente do que o transporte de etanol, que ocorre por modais logísticos (principalmente rodoviário).

Como recomendações para futuros trabalhos, pode-se citar: 1) melhor espacialização das produtividades de sequeiro, evitando a transição descontínua observada no limite da região semi-árida; 2) mapeamento de um cenário adicional, levando em conta também as usinas hidrelétricas projetadas, para se ter uma idéia da evolução da preferência hídrica à medida em que o parque gerador se expande; 3) a incorporação de um cenário levando em conta a geração por meio da queima da palha na energia potencialmente extraída da cana; 4) elaboração de análises mais transversais, cruzando os mapas de cenários gerados com outros planos de informação, como mapas de aptidão agrícola de solos, mapas de declividade, zoneamentos ecológicos econômicos, de forma a identificar áreas mais favoráveis para a irrigação considerando múltiplos critérios.

REFERÊNCIAS

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. (2013). *Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, terceiro levantamento, dezembro/2012*. Brasília, DF: Conab.

- CONAB. (2015). *Acompanhamento da safra brasileira – Cana de açúcar*. Retrieved from http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_12_17_09_03_29_boletim_cana_portugues_-_3o_lev_-_15-16.pdf
- EMBRAPA Solos . (2009). *Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar no Brasil*. Rio de Janeiro: EMBRAPA.
- LANNA, A. E. (2008, Junho 25). *A economia dos recursos hídricos: os desafios da alocação eficiente de um recurso (cada vez mais) escasso*, v. 22. Retrieved Agosto 22, 2017, from Scielo: <http://www.scielo.br/pdf/ea/v22n63/v22n63a08.pdf>
- Mubako, S., & Lant, C. (2008). Water resource requirement of corn-based ethanol. *Water Resources Research*, vol 44.
- Nova Cana. (2017, Agosto 24). *Propriedades Físico-Químicas do etanol*. Retrieved Agosto 24, 2017, from NovaCana.com: <https://www.novacana.com/etanol/propriedades-fisico-quimicas/>
- União das Indústrias de Cana-de-Açúcar - UNICA. (2016, Abril 27). *UNICA Data*. Retrieved Janeiro 23, 2017, from UNICA: <http://www.unicadata.com.br/listagem.php?idMn=81>
- Wu, M., Chiu, Y., & Demissie, Y. (2012). Quantifying the regional water footprint of biofuel production by incorporating hydrologic modeling. *Water Resources Research*, vol. 48.
- Younos, T., & Tulou, K. E. (2005). Energy needs, consumption and sources. *Journal of Contemporary Water Research & Education*, n° 132, pp. 27-38.
- Younos, T., Hill, R., & Poole , H. (2012). Water Dependence of energy production and power generation systems. *Water Resources Impact*, 14.1, pp 9-12.