

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL

UNIDADE UNIVERSITÁRIA EM TRÊS PASSOS

CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA

JACKSON EDUARDO SCHMITT STEIN

**ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE ÁLCOOL DE SEGUNDA GERAÇÃO À PARTIR
DE PLANTAS DE COBERTURA DE SOLO**

TRÊS PASSOS – RS

2021

JACKSON EDUARDO SCHMITT STEIN

**ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE ÁLCOOL DE SEGUNDA GERAÇÃO À PARTIR
DE PLANTAS DE COBERTURA DE SOLO**

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado
como requisito parcial para obtenção do título
de Engenheiro Agrônomo pela Universidade
Estadual do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Marciel Redin

TRÊS PASSOS – RS

2021

JACKSON EDUARDO SCHMITT STEIN

**ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE ÁLCOOL DE SEGUNDA GERAÇÃO A PARTIR
DE PLANTAS DE COBERTURA DE SOLO**

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado
como requisito parcial para obtenção do título
de Engenheiro Agrônomo pela Universidade
Estadual do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Marciel Redin

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Marciel Redin

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS

Prof.^a Dr.^a. Divanilde Guerra

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS

Prof.^a Dr.^a. Danni Maisa da Silva

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS

RESUMO

O grande desafio para a produção de álcool de segunda geração (Álcool 2G) é encontrar fontes de materiais lignocelulósicos com potencial produtivo e ainda baratos. O objetivo foi avaliar o rendimento teórico de álcool 2G a partir da biomassa seca de plantas de cobertura do solo. Neste estudo foram utilizadas seis as espécies mais representativas de primavera/verão: mucuna cinza (*Mucuna pruriens*), feijão de porco (*Canavalia ensiformis*), crotalária espectábilis (*Crotalaria spectabilis*), crotalária juncea (*Crotalaria juncea*), guandu anão (*Cajanus cajan*) e milho (*Pennisetum glaucum*). A produção de matéria seca, a composição química dos resíduos culturais e os posteriores rendimentos em hidrólise e fermentação foram obtidos através de cálculos utilizando-se dados de literatura. Foram testados diferentes cenários de remoção/utilização da biomassa produzida pelas espécies: 1) 100%, 2) 75%, 3) 50% e 4) 25%. O rendimento de álcool variou de 2.121, média das culturas mucuna cinza, feijão de porco e crotalária spectabilis a 8.876 litros/ha para a cultura do milho. Com a utilização de apenas 25% da biomassa seca do milho é possível produzir 2.219 litros de álcool por hectare e, por outro lado, somente 418 litros com a cultura da mucuna cinza. A cultura do milho apresenta, dentre as espécies estudadas, o maior rendimento de álcool 2G por hectare com 8.876 litros e a cultura do guandu anão e crotalária juncea, entre as Fabaceae com 4.609 e 4.128 litros, respectivamente. As culturas do milho e guandu anão, com utilização de 75% e 50% da biomassa para produção de álcool, respectivamente, ainda restaria no solo acima de 5 ton/ha de matéria seca para ambas as culturas, assim mostrando-se espécies potenciais para produção de álcool 2G e proteção de solo.

Palavras chave: Etanol. Aproveitamento energético. Biomassa. Energia sustentável.

ABSTRACT

The great challenge for the production of second-generation alcohol (2G alcohol) is to find sources of lignocellulosic materials with productive potential and still cheap. The objective was to evaluate the theoretical yield of 2G alcohol from dry matter of cover plants. In this study, six the most representative species of spring/summer were used: Gray mucuna (*Mucuna pruriens*), jack beans (*Canavalia ensiformis*), crotalaria spectabilis (*Crotalaria spectabilis*), crotalaria juncea (*Crotalaria juncea*), dwarf pigeonpea (*Cajanus cajan*) and millet (*Pennisetum glaucum*). The production of dry matter, the chemical composition of cultural residues and the subsequent yields in hydrolysis and fermentation were obtained through calculations using data from the literature. Different scenarios of removal/use of the biomass produced by the species were tested: 1) 100%, 2) 75%, 3) 50% and 4) 25%. The alcohol yield varied from 2,121, the average of the gray mucuna, jack bean and crotalaria spectabilis crops to 8,876 liters/ha for the millet. The use of only 25% of the dry biomass of the millet is possible to produce 2,219 liters of alcohol per hectare, on the other hand, only 418 liters with the culture of the gray mucuna. The culture of millet showed, among the species studied, the highest yield of 2G alcohol per hectare with 8,876 liters and the culture of dwarf pigeonpea and crotalaria juncea, among Fabaceae with 4,609 and 4,128 liters, respectively. The millet and dwarf pigeonpea crops, using 75% and 50% of the biomass for alcohol production, respectively, would still remain in the soil above 5 ton/ha of dry matter for both crops, thus showing potential species for 2G alcohol production and soil protection.

Keywords: Ethanol. Energy use. Biomass. Sustainable energy.

1. INTRODUÇÃO

O álcool surgiu como alternativa a fontes não renováveis do petróleo, gás natural e carvão (EPE, 2020), seus primeiros usos no Brasil ocorreram no início do século XX e naquele momento o Brasil importava cerca de 80% do petróleo consumido (Leite & Cortez, 2007). O uso de combustíveis fósseis como o petróleo traz consigo diversos efeitos colaterais atrelados a crescente demanda energética mundial, alguns dos principais efeitos são o aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE's), aquecimento global e o aumento do preço do produto e seus variados (EPE, 2020). O álcool de segunda geração (Álcool 2G), consiste em mitigar os efeitos do avanço do aquecimento global (Meira & Macedo, 2009) e competir economicamente com combustíveis fósseis como o petróleo (Rosa & Garcia, 2009).

No ano de 2020 o Brasil importou US\$ 376 milhões de dólares de álcool, o equivalente a 914 mil m³ de álcool e foi capaz de exportar 2.430 m³, o equivalente a US\$ 1.08 bilhões de dólares (MAPA, 2020). A produção do álcool 2G é fortemente afetada principalmente pela composição química dos diferentes tipos de biomassa. Além da preocupação industrial, outros fatores como a disponibilidade dos materiais para a produção do álcool 2G, o baixo custo na cadeia de produção da biomassa e a geração de renda, são fatores essenciais para o sucesso econômico e ambiental. Olivério & Hilst (2005) aborda questões como a otimização dos resíduos industriais e seus potenciais usos para a geração do álcool 2G, atrelando a eficiência econômica destes processos a disponibilidade e baixo custo, de resíduos industriais ou materiais lignocelulósicos. Aita et al. (2001) avaliaram os benefícios econômicos da utilização de plantas de cobertura do solo evidenciado seu baixo custo de implantação e grande produtividade de fitomassa, as plantas de cobertura do solo, geralmente, representam um material de baixo custo de produção e rápido crescimento. No entanto, seus usos ainda pouco são atribuídos como potenciais fontes de materiais lignocelulósicos para a indústria de álcool 2G. Além disso, as plantas de cobertura de solo, são pouco utilizadas nos períodos de entressafras de culturas principais de grãos, a geração de renda, a partir destes materiais como fonte de matéria prima para a indústria do álcool 2G, contribui não somente para o lucro imediato, mas muito provavelmente, para a conservação do solo em um período onde muitas áreas permanecem em pousio (Pacheco et al., 2008).

Neste cenário de mudanças, surgem diversas complicações e uma delas está na produção dos biocombustíveis, que resultam em conflitos entre a produção de biomassa e a produção de alimentos (Rosa & Garcia, 2009). Diversas plantas apresentam potencial para produção de álcool 2G a partir da sua biomassa, como por exemplos, palha de cana de açúcar (Santos et al.,

2012) e capim elefante (Grasel et al., 2017). Além destes, outros trabalhos elencam a possibilidade de utilização de outros materiais provenientes das mais diferentes plantas para a produção de álcool 2G (Lima et al., 2015; Bronzato, 2016). Pouco se discute a potencial utilização de plantas de cobertura de solo na produção de álcool 2G, tão pouco se discute, outros fatores agronômicos como a remoção total ou parcial dos resíduos da lavoura e os seus efeitos na área de produção. As plantas de cobertura do solo, geralmente são utilizadas na agricultura com o propósito de aumentar a eficiência dos sistemas de cultivo (Andrioli & Prado, 2012), muitas destas, podem ser utilizadas nos períodos de entre safras e possuem elevada produtividade de biomassa seca. O trabalho de Conceição et al. (2005), atribui a utilização de plantas de cobertura do solo, com ganhos em qualidade do solo devido a influência positiva de forma direta e ou indireta, nos atributos químicos, físicos e biológicos nos solos, como por exemplo, a proteção do solo contra a erosão, diminuição da degradação da matéria orgânica, influência na amplitude térmica favorecendo a germinação das sementes da cultura sucessora, além de também diminuir a lixiviação dos nutrientes, e proporcionar uma série de outros benefícios a fauna edáfica do solo.

As plantas de cobertura do solo, vem sendo atribuídas a anos para a rápida produção de biomassa a baixo custo econômico, estes, são quesitos que se alinham com o cenário agrícola atual, que está contemplado por diversos problemas associados a produção dos combustíveis convencionais, assim as plantas de cobertura do solo surgem como alternativa à possível utilização da sua biomassa, ou parte dela na produção do álcool 2G (Oliveira et al., 2020). O uso de biocombustíveis, principalmente do setor sucroalcooleiro deve crescer 2,2% ao ano até 2050 (EPE, 2020), e até o momento existem poucas pesquisas por possíveis fontes de matéria prima, que resultem em baixo custo de implantação e rápido crescimento para a produção de álcool 2G. Além disto, a busca por biomassas com o propósito de obtenção do álcool de celulose vem crescendo nos últimos anos, a celulose corresponde à substância de maior conteúdo na biomassa e apresenta uma alta eficiência para produção de álcool quando submetido a reações de hidrólise. As plantas de cobertura de solo, podem apresentar conteúdo de celulose em seus tecidos iguais ou maiores que os encontrados em palha de cana de açúcar por exemplo.

Neste contexto, associado aos poucos ou raros estudos sobre a utilização da biomassa de plantas de cobertura do solo, ricas em celulose como fonte de matéria prima para a produção de álcool 2G (Costa, 2018), surge a necessidade de trabalhos para mostrar o potencial do uso da sua biomassa, total ou parcial no rendimento teórico de álcool 2G.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

- Avaliar o rendimento teórico de álcool 2G a partir da biomassa seca de plantas de cobertura do solo.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar aspectos agronômicos sob o potencial de produção de álcool 2G a partir da utilização total ou parcial da biomassa seca das plantas de cobertura de solo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

A contextualização sobre a importância das plantas de cobertura do solo, o seu potencial de produção e qualidade da biomassa, as fases de obtenção de álcool 2G e suas respectivas estimativas de produção, juntamente com a elaboração de diferentes cenários, foi realizada por meio da literatura disponível. A estimativa teórica de produção de álcool 2G foi realizada a partir dos dados de produção de matéria seca e composição química dos resíduos culturais de plantas de cobertura de solo do trabalho de Redin et al. (2018). Para o presente estudo da estimativa teórica de produção de álcool 2G foram selecionadas as espécies mais representativas de primavera/verão: Mucuna cinza (*Mucuna pruriens*), feijão de porco (*Canavalia ensiformis*), crotalária espectábilis (*Crotalaria spectabilis*), crotalária juncea (*Crotalaria juncea*), guandu anão (*Cajanus cajan*) e milheto (*Pennisetum glaucum*).

Para o rendimento teórico de álcool 2G (pré-tratamento, hidrólise e fermentação dos materiais) foi realizado cálculo a partir dos modelos propostos por Santos et al. (2012) e Almeida (2019), onde foram utilizadas as palhas de gramíneas como cana-de-açúcar e sorgo biomassa como referência. A utilização desses modelos deve-se a restritos trabalhos que expressem o rendimento de álcool das plantas estudadas em específico, sobretudo das espécies de Fabaceae. O propósito do apanhado teórico e a contabilização destes valores é gerar uma taxa de rendimento teórica destes processos, buscando aproximar-se da realidade, uma vez que são poucos os trabalhos avaliando exclusivamente as plantas do presente estudo.

Para calcular o rendimento de celulose (RC) das diferentes biomassas, foram utilizados os valores de produtividade de matéria seca (MS) e percentagem de celulose na mesma, utilizando a seguinte fórmula:

$$RC = \text{Produtividade de MS em Kg/ha} \times \% \text{ Celulose na MS.}$$

No rendimento de glicose (RG) após hidrólise foi utilizado o fator de cálculo de 1,86 gramas de celulose/gramas de glicose (g/g), o fator de cálculo é a média encontrada nos trabalhos de Santos et al. (2012) e Almeida (2019) e foi calculado utilizando a seguinte fórmula:

$$RG = RC \times 1,86$$

Para estipular o rendimento de álcool após a fermentação (RAPF), foi utilizado o valor de rendimento de 0,39 gramas de glicose/gramas de álcool (g/g), o valor do rendimento é a média encontrada nos trabalhos de Santos et al. (2012) e Almeida (2019) e foi calculado utilizando a seguinte fórmula:

$$RAPF = RG \times 0,39$$

Para calcular os valores de rendimento teórico de álcool 2G (RA) por hectare em relação a biomassa seca produzida, o resultado do rendimento de fermentação de cada tratamento foi subtraído pelo valor de 0,79 correspondente a densidade do álcool. A seguinte fórmula expressa detalhadamente o método do cálculo:

$$RA = RAPF \div 0,79$$

Para avaliar o potencial teórico de produção de álcool 2G a partir da utilização total ou parcial dos resíduos culturais das plantas de cobertura de solo foram testados os seguintes cenários de remoção/utilização da biomassa produzida pelas espécies: 1) 100%, 2) 75%, 3) 50% e 4) 25%. O cálculo do rendimento teórico de álcool 2G nas diferentes culturas, foi realizado seguindo os mesmos cenários de exportação da biomassa em estudo, assim, os diferentes cenários representam o seu respectivo rendimento em álcool em relação a diferentes níveis de exportação de biomassa. Para calcular os diferentes cenários de exportação de biomassa seca e rendimento teórico de álcool 2G, foi realizado o cálculo utilizando as diferentes percentagens em relação ao valor total produzido, ou seja, no Cenário 1, onde 100% da biomassa é extraída, conseqüentemente o rendimento de álcool de 2G corresponde a 100% do volume total encontrado.

Os resultados obtidos foram comparados estatisticamente através do teste de variância (ANOVA), e as diferenças das médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) utilizando o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2011).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Produção de álcool de segunda geração

Os processos de obtenção do álcool 2G consistem basicamente nas etapas de pré-tratamento dos materiais lignocelulósicos, compostos por celulose, hemicelulose e lignina (Figura 1), e a posterior hidrólise de seus polissacarídeos, com o propósito de gerar açúcares de qualidade para a fermentação (Santos et al., 2014; Rabelo, 2010). O principal composto químico da biomassa das plantas quando se pensa em produção de álcool 2G, é a celulose, que é um polímero de elevada massa molecular composta basicamente de glicose (Hexose) sendo a hexose o principal açúcar responsável na etapa de fermentação, os processos de obtenção de glicose são influenciados diretamente pelo rendimento de açúcares após hidrólise e a posterior fermentação (Neto, 2009).

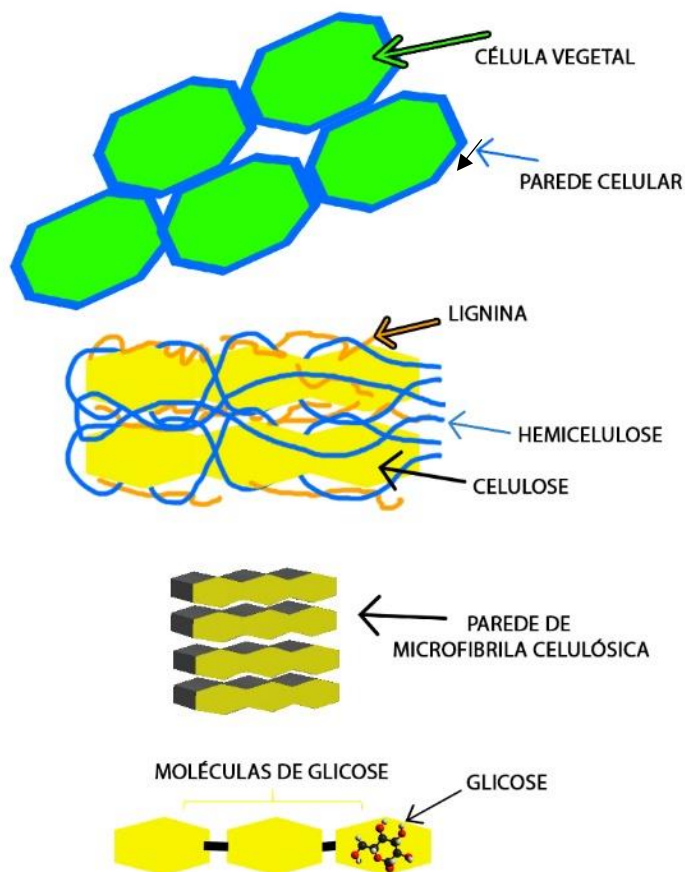


Figura 1: Esquema representativo da estrutura recalcitrante da biomassa lignocelulósica.

O pré-tratamento é uma etapa de degradação da biomassa lignocelulósica, e incluem os tratamentos químicos, físicos e biológicos, e ou a combinação destes (Santiago & Rodrigues, 2017) (Figura 2). O foco principal desta etapa é melhorar a eficiência dos processos de hidrólise e fermentação, principalmente na conversão da biomassa em larga escala, minimizando a adsorção improdutiva das enzimas na lignina durante o processo de hidrólise, e consequentemente viabilizando a industrialização de geração do álcool 2G (Florencio et al., 2017).

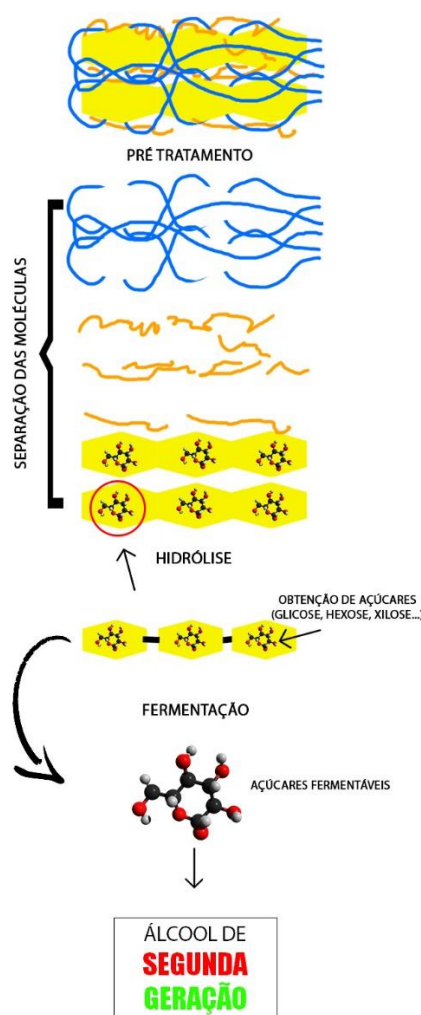


Figura 2: Esquema representativo dos processos de pré-tratamento, hidrólise, fermentação e obtenção de álcool 2G.

O processo de hidrólise pode ser realizado de diversas maneiras, geralmente utilizam-se meios enzimáticos, ácidos ou alcalinos, a eficiência dos processos e a otimização dos custos destas etapas é bastante variável, a ciência tem buscado excessivamente por metodologias, que sejam capazes de obter a maior quantidade de açúcares fermentáveis e de qualidade, em escala

industrial, com o menor custo possível. O rendimento no processo de fermentação dos açúcares é influenciado diretamente pelos processos anteriores, o pré-tratamento e a hidrólise devem ser capazes de produzirem açúcares de boa qualidade para o sucesso do processo de fermentação, alguns estudos remetem a utilização de fungos termofílicos como potencializadores deste processo (Zanchetta, 2012).

4.2 Importância das plantas de cobertura do solo

Considerando as técnicas do sistema de plantio direto, utilizando plantas de cobertura do solo, muitos trabalhos evidenciam o aumento dos teores de matéria orgânica do solo, assim como a atividade biológica. O incremento de plantas Fabaceae e Poaceae trazem uma série de benefícios, dentre eles promovem uma maior dinâmica na ciclagem de nutrientes, proteção do solo contra a erosão e o seu tempo de permanência sob a superfície do solo está atribuído principalmente a relação C/N do resíduo cultural (Giacomini et al., 2003). A cultura do milho por exemplo, chega a produzir mais de 20 toneladas de matéria seca/ha (Redin et al., 2018). Pesquisadores recomendam um incremento acima de 4 toneladas de matéria seca/ha por cultivo em sistema de plantio direto, entretanto, o tipo de planta, a região, e as condições edafoclimáticas, são fatores que influenciam na estipulação de uma determinada quantidade necessária para a manutenção do plantio direto. Segundo Alvarega et al. (2001) e EMBRAPA (1998), este valor deve levar em consideração as facilidades ou dificuldades de produção de fitomassa e sua taxa de decomposição. O ideal é buscar plantas de cobertura do solo que sejam adaptáveis as condições edafoclimáticas, e que possuam baixo custo de manutenção e alta produtividade e qualidade de matéria seca.

A utilização de plantas de cobertura do solo está atribuída fortemente a otimização dos sistemas de cultivo, reduzindo os custos com fontes minerais de fertilização, principalmente quando este, seja de espécies gramíneas (Poaceae) por meio do incremento natural de material húmico (Rosa et al., 2017). Além disto, as plantas de cobertura do solo, atuam na descompactação dos solos, por possuírem raízes agressivas com destaque na planta do guandu, pertencente à família Fabaceae, este grupo de plantas geralmente incrementam em sua biomassa, grandes quantidades de nitrogênio, por realizar o processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN), sendo que o guandu chega a fixar mais de 150 kg/ha de N (De Brito et al., 2017).

Estes e outros fatores, remetem a importância das plantas de cobertura do solo para a manutenção dos diferentes tipos de sistemas de cultivo, principalmente o sistema de plantio direto. Por isso é necessário analisar diferentes materiais lignocelulósicos sob diferentes

cenários de exportação de biomassa, seja de maneira total ou parcial, com o objetivo de produção de álcool de 2G. A viabilidade de um sistema de duplo propósito, ou seja, produção de biomassa para a manutenção do solo e produção de álcool de 2G, deve considerar principalmente a quantidade e qualidade dos resíduos produzidos, atribuindo uma discussão dentre estes e outros fatores a uma determinada quantidade necessária que deve permanecer no solo, que será responsável pela manutenção do sistema de cultivo escolhido, de forma que não prejudique os aspectos agrônômicos e o material obtenha o melhor rendimento em álcool de 2G.

4.3 Potencial de produção de álcool a partir de plantas de cobertura de solo

Ao analisar os dados de produção de matéria seca e composição química das seis espécies selecionadas para o presente estudo, os resultados mostram que embora algumas espécies produzem maior quantidade de matéria seca, nem sempre também apresentam a melhor qualidade química, pensando no rendimento em álcool. Na produção de álcool, busque plantas com composição mais rica em celulose em seus tecidos (Silva et al., 2017), por ser o material mais apto a hidrólise e fermentação dos seus açúcares, e posteriormente, maior será o rendimento em álcool (Martins, 2018). Nesse contexto, é possível notar que o maior conteúdo de celulose na matéria seca foi encontrado na crotalária juncea (49,8%), seguido do milho (42,4%) e guandu anão (40,5%), e os menores na mucuna cinza (31,3%) e no feijão de porco (26,3%) (Tabela 1). O trabalho de Santos (2012), que foi utilizado como referência de valores neste trabalho, encontrou um percentual de 40% de celulose em palha de cana de açúcar. Esses resultados evidenciam o potencial de rendimento teórico de álcool 2G das plantas de cobertura do solo em relação a quantidade de celulose presente em seus tecidos.

O maior rendimento estimado de celulose, foi obtido com a cultura do milho (9.532 kg/ha), seguido do guandu-anão (4.949 kg/ha), mucuna cinza, feijão de porco e crotalária spectabilis renderam em média 2.277 Kg/ha e crotalária juncea (4.432 kg/ha) (Tabela 1). O rendimento de celulose dos materiais lignocelulósicos, está associado fortemente a qualidade química do material em que a proporção de celulose na biomassa das plantas é o principal composto químico responsável pela geração de açúcares fermentáveis, portanto, quanto maior o conteúdo de celulose, maior será os rendimentos em celulose e glicose (Andrade, 2019). O rendimento da glicose dos resíduos das plantas de cobertura do solo seguiu o mesmo comportamento do rendimento de celulose, evidenciando que a qualidade química dos materiais

e a sua relação ao volume de biomassa produzida são fatores determinantes para a produtividade de álcool 2G. O maior rendimento em glicose foi obtido com a cultura do milho, rendendo 17.798 kg de glicose/ha e menor com as culturas da mucuna cinza, feijão de porco e crotalaria spectabilis com média de 4.253 kg de glicose/ha.

Tabela 1: Produção de matéria seca, conteúdo de celulose, rendimento teórico de glicose, hidrólise, fermentação e álcool 2G das plantas de cobertura de solo.

Cultura	MS ¹ (Kg/ha)	CEL (%)	RC (Kg/ha)	RG (Kg/ha)	RAPF (Kg/ha)	RA (L/ha)
Mucuna cinza	5.740 d*	31,3 c	1.797 d	3.355 d	1.322 c	1.673 c
Feijão de porco	7.990 cd	26,3 d	2.101 d	3.924 d	1.546 c	1.957 c
Crotalaria spectabilis	7.210 cd	40,7 b	2.934 d	5.479 d	2.159 c	2.733 c
Crotalaria juncea	8.900 c	49,8 a	4.432 c	8.276 c	3.261 b	4.128 b
Guandu anão	12.220 b	40,5 b	4.949 b	9.241 b	3.641 b	4.609 b
Milho	22.480 a	42,4 b	9.532 a	17.798 a	7.012 a	8.876 a

¹MS: Matéria seca, CEL: Celulose, RC: Rendimento de celulose, RG: Rendimento de glicose após hidrólise. RAPF: Rendimento após fermentação, RA: Rendimento de álcool 2G. *Letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

A fermentação dos açúcares obtidos na glicose é a etapa mais importante do processo, pois, após a fermentação é obtido o álcool 2G. A cultura do milho destacou-se em relação as outras plantas do estudo, rendendo 7.012 kg de álcool 2G/ha. As culturas de guandu anão e crotalaria juncea não diferiram estatisticamente, rendendo 3.641 e 3.261 kg de álcool 2G/ha, respectivamente. Os menores rendimentos da etapa de fermentação foram obtidos nos tratamentos com crotalaria spectabilis, feijão de porco e mucuna cinza com 2.159, 1.546 e 1.322 kg de álcool 2G/ha, respectivamente.

Os maiores rendimentos de álcool estiveram diretamente associados ao volume da biomassa produzida, ou seja, aquelas plantas que mais produziram matéria seca, são, conseqüentemente as que apresentaram maiores produções de álcool por hectare. Assim, o rendimento de álcool atingiu 8.876 litros/ha na cultura do milho, sendo estatisticamente superior aos valores encontrados com as demais culturas. No entanto, se deixarmos de considerar o volume total produzido por hectare em biomassa seca por determinada cultura e passarmos a analisar um volume fixo de biomassa produzida, teríamos o maior rendimento teórico de álcool daquelas plantas que possuem maior quantidade de celulose em seus tecidos.

Por exemplo, a cada tonelada de biomassa seca de crotalária juncea produzida, onde, 49,8% de seus tecidos são constituídos por celulose, teríamos um rendimento teórico de álcool de 464 litros de álcool 2G/ton de matéria seca. Neste mesmo contexto, a projeção segue uma ordem relativa ao percentual de celulose dos materiais, ou seja, a cultura do milho que possui 42,4% de celulose renderia teoricamente 395 litros de álcool 2G/ton de matéria seca, por outro lado, o feijão de porco renderia somente 244 litros de álcool.

Além da composição química ser um forte indicativo do potencial produtivo de álcool das plantas de cobertura de solo em estudo, o baixo custo de produção e manutenção da lavoura, o rápido crescimento da cultura, a possibilidade de replicação do material genético e os inúmeros benefícios ao solo, causados por essas plantas, são fortes aliados e indicativos da utilização deste tipo de material na indústria (Monteiro, 2018), se comparados, por exemplo, ao milho (Artuzo et al., 2018) e a cana de açúcar (Almeida, 2019), culturas que atualmente apresentam altos custos de produção. Além disso, existe a preocupação no âmbito ambiental e econômico, uma vez que a cobertura do solo realiza diversas funções em uma área de produção, interagindo sinergicamente entre os atributos químicos, físicos e biológicos dos solos. Alguns benefícios como a proteção do solo contra a erosão, diminuição da degradação da matéria orgânica e a amplitude térmica, acabam favorecendo o rendimento da cultura sucessora, além disso a diminuição da lixiviação dos nutrientes, e a proporção de uma maior diversidade e qualidade da fauna edáfica do solo (Wolschick et al., 2016). Estes e outros fatores, representam um solo de maior qualidade e consequentemente atuam positivamente nas questões de fertilidade do solo (Siedlecki, 2017). Alguns trabalhos evidenciam a utilização de plantas de cobertura de solo como uma possível alternativa de rendimento econômico e melhoria na qualidade dos solos em regiões essencialmente cerealistas (Steinke, 2019).

Tendo em vista a produtividade de matéria seca para cobertura do solo os seus benefícios e o rendimento teórico de álcool 2G a partir dos resíduos das plantas de cobertura do solo, na Tabela 2 são apresentados diferentes cenários de remoção total ou parcial da biomassa produzidas pelas plantas e seu rendimento de álcool 2G. Os dados mostram que mesmo retirando apenas 25% da palhada para produção de álcool, ainda assim é possível comercializar 2.219 litros de álcool com a cultura do milho, por outro lado, somente 418 litros por hectare com a cultura da mucuna cinza. Nesse cenário seria possível ainda deixar no solo mais de 16 toneladas de matéria seca por hectare com a cultura do milho. Os dados obtidos para milho representam um grande potencial da cultura, uma vez que, em um cenário onde é extraído 75% de sua biomassa da área de produção, restaria ainda 5,6 toneladas de matéria seca por hectare, biomassa suficiente para manter o solo coberto e dentro do que se espera em um manejo com

foco na implantação do sistema de plantio direto, onde remete-se a um incremento de no mínimo 5 toneladas de matéria seca por cultivo (EMBRAPA, 1998). Ainda, com a utilização de 75% da biomassa seca do milho é possível obter 6.657 litros de álcool de 2G/ha.

Tabela 2: Percentagens de remoção/utilização da biomassa seca produzida pelas plantas de cobertura do solo e seu respectivo rendimento teórico de álcool 2G em relação ao percentual de extração.

Culturas	Remoção de biomassa seca (Kg/ha)			
	100%	75%	50%	25%
Mucuna cinza	5.740 d*	4.305 d	2.870 d	1.435 d
Feijão de porco	7.990 cd	5.992 cd	3.995 cd	1.997 cd
Crotalaria spectabilis	7.210 cd	5.407 cd	3.605 cd	1.802 cd
Crotalaria juncea	8.900 c	6.675 c	4.450 c	2.225 c
Guandu anão	12.220 b	9.165 b	6.110 b	3.055 b
Milho	22.480 a	16.860 a	11.240 a	5.620 a
	Rendimento de álcool (Litros/ha)			
Mucuna cinza	1.673 c	1.255 c	837 c	418 c
Feijão de porco	1.957 c	1.468 c	978 c	489 c
Crotalaria spectabilis	2.733 c	2.050 c	1.366 c	683 c
Crotalaria juncea	4.128 b	3.096 b	2.064 b	1.032 b
Guandu anão	4.609 b	3.457 b	2.304 b	1.152 b
Milho	8.876 a	6.657 a	4.438 a	2.219 a

*Letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

Entre as leguminosas (Fabaceae) o guandu-anão apresenta-se como grande potencial para geração de álcool, pois possui alta produção de matéria seca, chegando a mais de 12 toneladas por hectare, além de ser uma planta capaz de fixar mais de 200 kg de N/ha em sua biomassa (Braz et al., 2006). A extração de apenas metade da sua biomassa total (50%), pode render teoricamente 2.305 litros de álcool por hectare, e ainda assim, permanecer mais de 6 toneladas de matéria seca no solo. Por outro lado, a cultura da mucuna cinza apresentou a menor produção de matéria seca, onde removendo apenas 25% da biomassa produzida, a cultura obteria um rendimento de apenas 418 litros de álcool por hectare, assim sua viabilidade neste

tipo de sistema de dupla aptidão se torna questionável, pela baixa quantidade de álcool produzida como consequência do seu baixo rendimento em matéria seca.

Com vistas na sustentabilidade incluindo o manejo do solo, a utilização de plantas da família das Fabaceae nos sistemas de produção, segundo Pereira (2017) podem gerar economia nos cultivos subsequentes, pelo alto incremento em nitrogênio proveniente de sua biomassa remanescente no solo. Ainda, é possível afirmar que para utilizar essas espécies visando o propósito de renda alternativa com a obtenção do álcool 2G, seria possível extrair cerca de 25% de sua biomassa seca disponível nas lavouras de crotalária juncea, crotalária spectabilis e feijão de porco, restando para o solo, mais de 5,4 toneladas por hectare de resíduos de alta qualidade química. Segundo EMBRAPA (2006) e Cruz et al. (2008), abordam que para a manutenção do plantio direto é necessária a adição permanente de uma quantidade mínima de palhada no solo nunca inferior a 4,0 ton/ha. Nessa abordagem técnica, pensando nos benefícios de plantas Fabaceae, destaca-se a cultura do guandu-anão como a mais eficiente, pois pode ser extraído até 50% do total da sua biomassa seca, restando para o solo mais de 6 ton/ha de matéria seca, quantidade excelente se considerar que pode ser alcançada em apenas um cultivo e ainda gerar lucro potencial com a produção de álcool, sem considerar o custo da produção da lavoura. Ainda é válido ressaltar, que não foi realizado um cálculo relatando a viabilidade econômica destes cenários, no entanto, dentre as espécies estudadas, a cultura do milho é a mais promissora, pois mesmo extraído 75% de sua biomassa seca, permanecem 5,6 toneladas de biomassa seca no solo, e ainda com rendimento de 6.657 litros de álcool por hectare.

5. CONCLUSÕES

A cultura do milho apresenta, dentre as espécies estudadas, o maior rendimento de álcool 2G com 8.860 litros por hectare e a cultura do guandu anão e crotalária juncea, entre as Fabaceae com 4.609 e 4.128 litros, respectivamente.

As culturas do milho e guandu anão, com utilização de 75% e 50% da biomassa para produção de álcool 2G, respectivamente, ainda restaria no solo acima de 5 ton/ha de matéria seca para ambas as culturas, assim mostrando-se espécies potenciais para produção de álcool e proteção de solo.

O uso de plantas de cobertura de solo de estação primavera/verão mostram-se com grande potencial, mesmo quando removida somente parte da biomassa para produção de álcool 2G, porém é necessário a ampliação das espécies e intensificação de estudos nessa temática.

6. REFERÊNCIAS

- AITA, Celso et al. **Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 25, n. 1, p. 157-165, 2001.
- ALMEIDA, G. F. de Luciana. **Álcool de segunda geração utilizando sorgo biomassa (*Sorghum bicolor*).** Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Biocombustíveis, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 115p. 2019.
- ALMEIDA, Pablo R. F. de. **Determinantes dos custos na produção de cana-de-açúcar no Brasil.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Contábeis) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.
- ALVARENGA, Ramon C. et al. **Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto.** Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em periódico indexado (ALICE), 2001.
- ANDRADE, Thaysi C. C. et al. **Hidrólise Enzimática de Celulose para Obtenção de Glicose Utilizando Líquido Iônico como Meio Solvente.** Revista Virtual de Química, v. 11, n. 1, 2019.
- ANDRIOLI, I & PRADO, R. M. **Plantas de cobertura em pré-safra e adubação nitrogenada na fertilidade do solo em diferentes camadas, cultivada com milho em sistema de plantio direto e convencional.** Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v.33, n.3, p.963-978, 2012.
- ARTUZO, D. Felipe et al. **Gestão de custos na produção de milho e soja.** Revista Brasileira de Gestão de Negócios, v. 20, n. 2, p. 273-294, 2018.
- BRAZ, J. B. P. Antônio et al. **Adubação nitrogenada em cobertura na cultura do trigo em sistema de plantio direto após diferentes culturas.** Embrapa Arroz e Feijão, 2006.
- BRONZATO, G. F. Roberta **Investigação da biomassa de *Eichhornia crassipes* (aguapé) para a obtenção de álcool de segunda geração como um processo mitigatório da poluição aquática.** Universidade Estadual Paulista, Dissertação de Mestrado, 2016.
- COSTA, R. Matheus. **Produção de biomassa de plantas de cobertura e o efeito sobre a cultura da soja.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2018.
- CONCEICAO, Paulo Cesar et al. **Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados.** Rev. Bras. Ciênc. Solo, Viçosa. v. 29, n. 5, p. 777-788, Oct. 2005. Disponível em

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832005000500013&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 27 Jan. 2021.

CRUZ, C. Jose et al. **Cultivo do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008.

DE BRITO, Maria F. et al. **Reciclagem de nutrientes de adubos verdes e produtividade de milho cultivado em sucessão em agroecossistema de transição agroecológica**. Acta Iguazu, v. 6, n. 3, p. 11-21, 2017.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – **MATRIZ ENERGÉTICA E ELÉTRICA** Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>>. Acesso em 01 jan. 2021.

FERREIRA, D. F. **Sisvar: A computer statistical analysis system**. Ciência e Agrotecnologia (UFLA), v. 35, p. 1039-1042, 2011.

FLORENCIO, Camila et al. **Desafios relacionados à produção e aplicação das enzimas celulolíticas na hidrólise da biomassa lignocelulósica**. Química Nova, v. 40, n. 9, p. 1082-1093, 2017.

GIACOMINI, S.J. et al. **Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo**. Revista Brasileira de Ciência do solo, Brasília, v.27, p.325-224, 2003.

GRASEL, Fábio et al. **Innovation in Biorefineries I. Production of Second Generation Ethanol from Elephant Grass (*Pennisetum purpureum*) and Sugarcane Bagasse (*Saccharum officinarum*)**. Revista Virtual de Química. 9. 1. 10.21577/1984-6835.20170003. (2017).

LEITE, R. C.; CORTEZ, L. A. B. E. **O álcool combustível no Brasil. In: Brasil. Ministério das Relações Exteriores - MRE (org.). Biocombustíveis no Brasil: realidades e perspectivas**. Brasília: Arte Impressora Gráfica LTDA, p. 60-75, 2007.

LIMA D. E. Emanuel et al. **Produção de álcool de segunda geração proveniente do bagaço de pendúculos do Caju**. Revista Caatinga, v. 28, n. 2, p. 26-35, 2015.

MARTINS, Camila Z. **Avaliação da produção de etanol de segunda geração**. 2018. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

MAPA – **Ministério Da Agricultura Pecuária e Abastecimento – ÁLCOOL – COMÉRCIO EXTERIOR BRASILEIRO**, Disponível em: < <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/álcool-comercio-exterior-brasileiro> >. 2020, Acesso em 03 jan. 2021.

- MEIRA F. L.; MACEDO, I. **Álcool e mudança no clima: a contribuição para o PNMC e as metas para o pós Kyoto**. MIMEO. 2009.
- MONTEIRO, Giancarlo F. P. **Sequestro de carbono e supressão de plantas invasoras por cobertura vegetal**. 78 f. Tese (Doutorado em Agronomia Tropical) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2018.
- NETO B., Osvaldo. **Integração das principais tecnologias de obtenção de álcool através do processamento de celulose (2ª geração) nas atuais usinas de processamento de cana-de-açúcar (1ª geração)**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2009.
- OLIVÉRIO, J. L e HILST, A. P. Dedini **Hidrólise Rápida (Dedini Rapid Hydrolysis): Revolutionary process for producing alcohol from sugarcane bagasse**. ISSCT - International Society of Sugar Cane Technologists, Vol.25, 2005.
- OLIVEIRA, M. M. Regina et al. **Pré-tratamento químico e caracterização do bagaço da cana: uma perspectiva para produção de álcool a partir de resíduos agroindustriais**. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 11, p. 87865-87879, 2020.
- PACHECO, P. Leandro et al. **Desempenho de plantas de cobertura em sobressemeadura na cultura da soja**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 43, n. 7, p. 815-823, 2008.
- PEREIRA, Alan P. et al. **Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura de verão**. Revista de Ciências Agrárias, v. 40, n. 4, p. 120-129, 2017.
- RABELO, C. Sarita **Avaliação e otimização de pré-tratamentos e hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar para a produção de álcool de segunda geração**. 2010. 414 (Doutorado). Faculdade de Engenharia Química, UNICAMP, Campinas, 2010.
- REDIN, Marciel et al. **Root and shoot contribution to carbon and nitrogen inputs in the topsoil layer in no-tillage crop systems under subtropical conditions**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 42, e0170355, 2018
- ROSA, Danielle M. et al. **Substâncias húmicas do solo cultivado com plantas de cobertura em rotação com milho e soja**. Revista Ciência Agronômica, v. 48, n. 2, p. 221-230, 2017.
- ROSA, Sérgio da E. S; GARCIA, Jorge L. F.. **O álcool de segunda geração: limites e oportunidades**. Revista do BNDES, Rio de Janeiro, n. 32, p. 117-156, dez. 2009.
- SALTON, Julio C.; et al. **Sistema plantio direto: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa-SPI; Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 1998., 1998.
- SANTIAGO, L. S. Bárbara.; RODRIGUES, D. Á. Fabio, **Processamento de Biomassa Lignocelulósica Para Produção de Álcool: Uma Revisão**. The Journal of Engineering and Exact Sciences, v. 3, n. 7, p. 1011–1022, 2017.

- SANTOS, Fernando A. et al. **Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de álcool.** Química Nova, v. 35, n. 5, pág. 1004-1010, 2012.
- SANTOS, Fernando A. et al. **Otimização do pré-tratamento hidrotérmico da palha de cana-de-açúcar visando à produção de álcool celulósico.** Química Nova, v. 37, n. 1, p. 56-62, 2014.
- SILVA Da, Roseanne B. R. et al. **Revisão de biomassas para produção de etanol de segunda geração.** Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia, v. 14, n. 1, 10 p. 2017.
- SIEDLECKI, Rafael. **Desempenho de milho safrinha consorciado com diferentes plantas de cobertura.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2017.
- STEINKE, Cleidimar G. **Dimensionamento de terraços para sistema plantio direto nas condições edafoclimáticas da Região Missioneira do Rio Grande do Sul.** Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal da Fronteira Sul. 2019.
- WOLSCHICK, N. Hillton et al. **Cobertura do solo, produção de biomassa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura.** Revista de Ciências Agroveterinárias, v. 15, n. 2, p. 134-143, 2016.
- ZANCHETTA, Ariane. **Produção de celulases fúngicas por fermentação em estado sólido e submersa utilizando biomassa lignocelulósica.** 88f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas.