



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

**USO DA α -AMILASE NA PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DE RESÍDUOS DA
CASCA DE BANANA**

Paula Ramos Nunes da Silveira

Goiânia
2020

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

**USO DA α -AMILASE NA PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DE RESÍDUOS DA
CASCA DE BANANA**

Paula Ramos Nunes da Silveira
Orientador: Prof. Dr. Danni Pereira Barbosa

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Bacharelado em Engenharia de Alimentos,
como parte dos requisitos exigidos para a conclusão
do curso.

Goiânia
2020

SILVEIRA, PAULLA RAMOS NUNES

Uso da α -amilase na produção de etanol a partir de resíduos da casca de banana/ Paulla Ramos Nunes da Silveira.

Goiânia: PUC Goiás / Escola de Engenharia, 2020.

xx, 90 f. : il.

Orientador: Danns Pereira Barbosa

Trabalho de conclusão de curso (graduação) – PUC Goiás, Escola de Engenharia, Graduação em Engenharia de Alimentos, 2020, 4p.

1. palavra-chave. 2. palavra-chave – TCC. II. Pereira Barbosa, Danns. II. Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Escola de Engenharia. Graduação em Engenharia de Alimentos. III. Uso da α -amilase na produção de etanol a partir de resíduos da casca de banana.

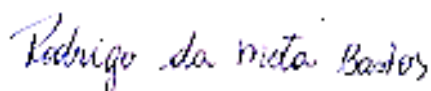
**USO DA α -AMILASE NA PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DE RESÍDUOS DA
CASCA DE BANANA**

Paula Ramos Nunes da Silveira

Orientador: Prof. Dr. Danns Pereira Barbosa

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Bacharelado em Engenharia de Alimentos,
como parte dos requisitos exigidos para a conclusão
do curso.

APROVADO em ... / ... / ...



Prof. MSc. Rodrigo da Mota Bastos – PUC Goiás



Prof. MSc. Flávio Carvalho Marques – PUC Goiás



Prof. Dr. Danns Pereira Barbosa – PUC Goiás

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me guiar, concedendo-me persistência, intuição e, sobretudo, sabedoria para compreensão do que quero, do que posso e do que consigo; Ao meu orientador, Prof. Dr. Danna Pereira Barbosa, pelo privilégio e oportunidade concedidos, e, sobretudo, pela confiança, orientação e apoio para realização deste trabalho; Aos meus colegas de graduação Beatriz Rosa, Bruna Carrijo, Luana Ferreira e Teon Marcos com quem tive o prazer de fazer a maior parte dos trabalhos em grupos e convivi durante toda a graduação, pela constante demonstração, parceria e dedicação. Aos professores e funcionários da escola de Engenharia de Alimentos, com quem convivi durante o curso, pela constante demonstração de conhecimento dos conteúdos ministrados; A toda minha família, especialmente meus queridos pais Paulo Sérgio e Maria Ramos, a quem tanto amo e me orgulho e sempre me deram muito carinho, estímulo e dedicação em todos os momentos da minha vida; E todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

A geração de álcool combustível a partir de resíduos lignocelulósicos pode ser uma fonte alternativa e renovável de energia. O Brasil é um dos maiores produtores de frutas tropicais do mundo, com destaque para a laranja e banana. Em consequência disto, é capaz de gerar grandes quantidades de resíduos agroindustriais que podem ser utilizados como biomassa que, uma vez hidrolisada, libera pentoses e hexoses. A fim de se buscar uma maior produção de etanol, a utilização de co-culturas que metabolizem tanto pentoses quanto hexoses torna-se bastante interessante. Dentro desse contexto, o objetivo do presente trabalho foi estabelecer as condições ideais para a fermentação das cascas de banana com a enzima alfa amilase e seu potencial para produção de bioetanol. A fermentação foi feita com fermento biológico seco da marca (*Fleischmann*), em temperatura ambiente por 7 dias. Com pré tratamento feito a partir da homogeneização de 200 g de casca de banana e 800 mL de água destilada aquecida sob agitação constante até chegar a uma temperatura de 60°C. Foram então adicionadas 3 gotas da enzima alfa-amilase, aumentando a temperatura para 90°C por 15 minutos. A mistura foi resfriada até chegar a uma temperatura de 57°C, sendo então adicionado novamente 3 gotas da enzima alfa-amilase. Após destilação fracionada foram obtidos os volumes de etanol a partir do destilado das quatro amostras, no qual foram 3,0 mL; 2,1 mL; 2,1 mL e 3,3 mL. Através destes volumes a concentração de etanol nas amostras foram os respectivos 34,3%; 58%; 74,9% e 42,1%. A partir da pesquisa realizada e dos resultados obtidos pode-se concluir que é possível produzir etanol a partir da casca de banana, mas que o rendimento do etanol a partir da casca de banana é baixo em relação ao etanol de segunda geração obtido a partir do bagaço da cana-de-açúcar descrito na literatura. No entanto o mesmo pode ser significativo no aumento da sustentabilidade da cadeia produtiva da banana.

Palavras-Chave: Bioetanol, Hidrólise, Fermentação, Resíduos Agroindustriais.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Cascas de banana de espécies variadas	23
Figura 2: Cascas de banana madura da espécie nanica.....	29
Figura 3: Medição do pH da casca de banana triturada com pHmetro	30
Figura 4: Aquecimento da amostra	31
Figura 5: Teste do iodo	31
Figura 6: Processo de Fermentação	32
Figura 7: Colunas de destilação	33
Figura 8: Curva analítica obtida pela análise de soluções aquosas de etanol	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultados do Grau Brix inicial e após 90°C por 15 minutos, pH inicial e após resfriar para 57°C, massas das cascas e volume das amostras com fermento biológico.	32
Tabela 2. Volume do destilado em cada uma das amostras.	33
Tabela 3. Concentração de etanol em cada amostra.....	35
Tabela 4. Quantidade de etanol no volume do destilado.....	36
Tabela 5. Teor de umidade da casca de banana.	36

LISTA DE ABREVIATURAS

mL. – mililitro

g. – gramas

L. – litros

t. – tonelada

h. – hectare

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1. O ETANOL.....	13
2.2. A PRODUÇÃO DE ETANOL NO ESTADO DE GOIÁS	14
2.3. A BANANA.....	16
2.3.1. OS RESÍDUOS DA BANANICULTURA.....	20
2.4. PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DA CASCA DA BANANA	21
3. METODOLOGIA	24
3.1. O PREPARO DA AMOSTRA	24
3.2. A PRODUÇÃO DE ETANOL	24
3.2.1. O preparo do mosto.....	24
3.2.2. O processo de fermentação	25
3.2.3. A destilação.....	25
3.3. AS ANÁLISES	25
3.3.1. A determinação do potencial hidrogeniônico - pH	25
3.3.2. A determinação do grau Brix	26
3.3.3. O teste de iodo.....	26
3.3.4. O teor de umidade.....	27
3.3.5. A determinação do teor alcoólico	27
3.3.5.1. Determinação por UV - VIS	27
3.3.5.2. Determinação por HPLC.....	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
4.1. O preparo do mosto.....	29
4.2. O processo de fermentação	32
4.3. A destilação.....	33
4.4. A determinação do teor alcoólico	34
4.5. Rendimento do processo	35
5. CONCLUSÕES	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39

1. INTRODUÇÃO

Desde que o petróleo foi descoberto, no final do século XIX, houve um consumo abundante pela sociedade, o mesmo trouxe evolução a humanidade, desde a antiguidade, e atualmente ainda é a principal fonte de energia usada no planeta.

Em 1973 descobriu-se que o petróleo é uma fonte esgotável, estimulando assim a busca de recursos energéticos renováveis, como o etanol, que é um combustível renovável de energia, no qual suas fontes são capazes de manter-se disponíveis durante um longo prazo (ALVES, 1999).

O etanol não é um produto encontrado de forma pura na natureza. Para produzi-lo, é necessário extrair o álcool de outras substâncias. A forma mais simples e comum de obtê-lo é através das moléculas de açúcar, encontradas em vegetais como cana-de-açúcar, milho, beterraba, batata, trigo e mandioca. O processo que utiliza essas matérias-primas é chamado de fermentação (CRUZ, 2008).

O processo de obtenção do etanol gera o bagaço e a palha que por possuírem grande quantidade de matéria orgânica podem ser reutilizadas para geração de energia, no caso das usinas atuais os mesmos são queimados em caldeiras para geração de vapor e bioeletricidade (MENDEZ, 2007). Além disso o etanol pode ser produzido através de outros resíduos, como é o caso do bagaço da laranja, cascas de bananas e outros resíduos oriundos da rica agricultura brasileira.

O Brasil destaca-se como um dos maiores produtores agrícolas do mundo e, em consequência disto, é capaz de gerar grandes quantidades de resíduos agroindustriais. A produção de resíduos oriundos dos trabalhos agroindustriais são originalmente derivados do processamento de couro, fibras, alimentos, madeira, produção da indústria sucroalcooleira (MATOS, 2014). Goiás, com destacada posição no setor agrícola do Brasil, é o maior de cana-de-açúcar e o décimo maior produtor de banana no país (EMBRAPA, 2018).

Como resíduos da bananicultura, além dos frutos rejeitados, podem ser somados os outros resíduos gerados na cultura como as cascas do fruto industrializado, o pseudocaule, as folhas e o engaço da bananeira. Podendo agregar valor à matriz produtiva do fruto transformando a casca em biomassa.

Tem-se somente no Brasil uma geração de resíduos em residências, restaurantes, fábricas de produtos artesanais e principalmente nas indústrias no qual segundo o IBGE (2016).

A produção de biomassa no Brasil tem grande potencial de aproveitamento, tanto para a geração de energia elétrica, combustível, quanto para outras formas de produção de energia derivada da biomassa celulósica. Torna-se então relevante o desenvolvimento de uma indústria tecnológica voltada para o aproveitamento destes potenciais. Além do potencial energético, outros fatores que se destacam na utilização de biomassa é a redução do uso de combustíveis fósseis, o aproveitamento e/ou reaproveitamento dos recursos naturais e humanos, e as possibilidades de geração de emprego, renda e qualidade de vida (FOLEGATTI, 2001).

A casca de banana é uma fonte rica em hemicelulose, celulose, carboidratos, amido, lignina e pectina, o que torna a mesma muito interessante para ser convertida em bioetanol. Além da produção de combustível através desse recurso orgânico não competir com o fornecimento de alimentos, pois o que será utilizado é o resíduo do fruto.

Tem-se como objetivo através desse trabalho estabelecer as condições ideais para a fermentação das cascas de banana e seu potencial para produção de etanol, fazendo uma análise de custo demonstrando se a casca de banana pode ser uma alternativa de energia renovável aos combustíveis fósseis.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O ETANOL

O etanol (C_2H_5OH), é um composto químico cujas moléculas contêm o grupo OH ligado a um átomo de carbono saturado, sendo obtido por fermentação ou por síntese. Pela fermentação ele é produzido com base na cana-de-açúcar, na beterraba, no amido de cereais como o milho e outros grãos, por meio de processos de produção conhecidos, envolvendo tecnologias relativamente simples (BASTOS, 2007). O C_2H_5OH é utilizado em produtos de limpeza, bebidas alcoólicas, perfumes, entre outros produtos. Entre as principais características destacam-se ser incolor, ponto de fusão aos $-114,3\text{ }^\circ\text{C}$ e o ponto de ebulição aos $78,4\text{ }^\circ\text{C}$, a massa volumétrica é de 790 kg/m^3 (mais leve do que a água) e é higroscópico, o que limita a sua exposição a água. É menos tóxico que o metanol (MINTEER, 2006), o que possibilita a sua utilização numa miríade de produtos que entram em contato direto com seres vivos e representa menor perigo em caso de derrame acidental no ambiente.

Existem dois tipos de etanol: o anidro e o hidratado. A diferença entre ambos se deve apenas à concentração de água em sua composição. O anidro tem o teor de água equivalente a 0,5%, enquanto o hidratado apresenta teor de 5%. O processo industrial usado convencionalmente produz o etanol hidratado, que é vendido nos postos de combustíveis para ser usado em veículos automotores. O bioetanol é um combustível gerado pela decomposição anaeróbica de resíduos orgânicos. As bactérias são responsáveis por degradar esses resíduos e produzir o etanol. Conclui-se que o bioetanol tem a mesma composição química do etanol, compartilhando características idênticas. A diferença é que, enquanto o bioetanol é gerado a partir do processamento de biomassa, o etanol é obtido a partir de outros tipos de recursos (como o etileno encontrado na nafta ou no etano do gás natural) (SANTANA, 2009).

O bioetanol é produzido no Brasil a partir da fermentação de glicose e frutose, atualmente obtidas a partir da sacarose presente na cana-de-açúcar. Outras matérias primas de grande potencial para produção de etanol são os materiais lignocelulósicos, dentre eles o próprio bagaço da cana-de-açúcar, por meio da tecnologia conhecida como hidrólise. A hidrólise dos

materiais lignocelulósicos tem sido estudada com grande interesse nos últimos anos, mas ainda não existe tecnologia comercial para sua implantação em larga escala (ALVES, 1999).

O Brasil ocupa posição destacada na produção mundial de etanol, confirmando a tradição na cultura de cana-de-açúcar. A cana é uma das principais culturas, cultivada em mais de cem países, principalmente nas nações em desenvolvimento, embora cerca de três quartos da produção mundial esteja concentrada em oito países. O Brasil é o maior produtor mundial, seguido por Índia, China, Tailândia e Paquistão. Brasil e Índia respondem por metade da cana-de-açúcar produzida no mundo. Na safra de 2007, a produção brasileira foi de mais de 425 milhões de toneladas, em uma área plantada de 5,2 milhões de hectares, que representa menos de 1% das áreas cultiváveis (BASTOS, 2007).

O etanol de primeira geração é produzido pela fermentação de açúcares simples, principalmente, da cana-de-açúcar, do milho, da beterraba, da mandioca, entre outras fontes (Ogeda e Petri, 2010; Raele *et al.*, 2014). Outra via para a produção de etanol é pela hidrólise de biomassa lenhocelulósica, como bagaço de cana, capim, palha de arroz, restos de madeira e resíduos agroindustriais em geral. Esta via resulta da hidrólise de açúcares complexos (polissacarídeos, particularmente sob a forma de celulose) em açúcares simples, para subsequente fermentação, produzindo etanol de segunda geração (Ogeda e Petri, 2010; Raele *et al.*, 2014). Esta via tecnológica difere daquela utilizada na produção de etanol de primeira geração, principalmente pela complexidade da estrutura da matéria prima.

2.2. A PRODUÇÃO DE ETANOL NO ESTADO DE GOIÁS

As perspectivas de crescimento da demanda mundial por alimentos contribuíram para a discussão sobre a sustentabilidade da expansão produtiva do setor agropecuário brasileiro. Outra perspectiva que contribuiu para o acirramento dessa discussão foi o aumento da demanda por matéria-prima para a produção de energia renovável, especificamente o biocombustível. O Brasil é considerado um dos únicos países com possibilidades concretas para atender aos dois movimentos: demanda por alimento e por matéria-prima destinada à produção de energia renovável (LIMA, 2010).

O aumento da produção de cana-de-açúcar, em primeiro lugar, está associado ao intenso movimento de expansão da agroindústria canavieira em direção às novas regiões (fronteiras agrícolas), como o Estado de Goiás. Em segundo lugar, ele se deve à dinâmica expansiva da instalação do parque industrial etanol/açúcar em Goiás, que é visto de modo diferenciado. Cabe salientar ainda que o Centro-Oeste é uma das regiões que apresenta as maiores taxas de crescimento da produção da cana-de-açúcar no país. Assim como ocorreu com a soja na década de 1980, considerada a cultura de ocupação agrícola, a cana-de-açúcar se tornou, no século XXI, a cultura com maior atratividade para os produtores agrícolas dos estados do Centro-Oeste. O estado de Goiás, por um lado, desde a década de 1980 é um importante produtor nacional de grãos e de carnes, e, por outro, vem experimentando o avanço da agroindústria canavieira que tem se concentrado nas regiões que são mais bem dotadas de infraestrutura diretamente vinculadas às atividades da produção de grãos e aos seus sistemas agroindustriais e também aos de carnes, especificamente aves e suínos (MORAES e LIMA, 2005).

Carrijo (2008) cita que a atuação do Estado foi decisiva para que houvesse a ocupação do cerrado. Na região Centro-Oeste, havia áreas extensas de cerrado. Na década de 1970, um conjunto de fatores contribuíram para fazer da região Centro-Oeste, onde se insere o estado de Goiás, a área mais promissora da fronteira agrícola. Os planos governamentais, a infraestrutura, as modificações da base técnica agropecuária, os modelos desenvolvidos pela revolução verde, que por meio da tecnologia resolveram problemas da fertilidade do solo, contribuíram para expansão da fronteira agrícola nesta região. A modernização do Estado de Goiás foi marcada pelos financiamentos rurais obtidos na década de 1970.

Segundo dados do IBGE (2007), as estatísticas gerais mostram que a área plantada, destinada à cana-de-açúcar, em Goiás, cresceu de 106.826 hectares, em 1990, para 200.048 hectares, em 2005, enquanto a área colhida foi de 97.950 hectares e 196.596 hectares, respectivamente. Complementarmente, analisando o desempenho sucroenergético em Goiás, a produção da cana-de-açúcar na safra de 2000/01 foi de 7.161.000 toneladas, saltando para 45.220.066 toneladas na safra de 2011/12, com previsão de evolução nas próximas safras (ROJAS, 2013).

A difusão ou expansão das empresas sucroalcooleiras no estado de Goiás ocorre devido a algumas vantagens, como: preço baixo das terras para compra ou arrendamento em

relação às outras regiões do país; fatores geográficos, como topografia plana, solo e clima favoráveis e disponibilidade de recursos hídricos; grandes extensões de terras agricultáveis e boa infraestrutura urbana (CARRIJO, 2008).

A região Centro-Oeste é conhecida como área de grande potencial agrícola. Atualmente, o estado de Goiás apresenta grande potencial para expansão da atividade canavieira, devido às vantagens citadas. Assim, o setor atrai consideráveis investimentos. Este estado pode ser considerado como um dos maiores polos energéticos do país e é o 6º colocado na produção nacional de açúcar e etanol. Atualmente, estão em funcionamento 34 empresas sucroalcooleiras (SILVA, 2010).

O estado de Goiás é o segundo maior produtor de milho e soja do país, nas quais podem ser utilizadas para produção de etanol. O investimento se justifica pela oportunidade de agregar valor ao produto. Assim como a mandioca e laranja muito produzidas no estado e tem se tornado grande fontes para produção do biocombustível. A produção e utilização de bioetanol tem atraído atenção mundial como uma estratégia para reduzir o aquecimento global e melhorar a segurança energética global. No entanto, as matérias-primas para a produção de bioetanol devem ser derivadas a partir de partes não comestíveis de culturas alimentares, a fim de evitar a competição direta entre produção de bioetanol e alimentos, como é o caso do uso de casca de banana (NOGUEIRA, 2008).

2.3. A BANANA

A palavra banana tem origem africana e é conhecida também pelos nomes banano, plátano, gruneo e cambure (SOTO, 1992). A banana é considerada uma das primeiras frutas utilizadas na alimentação humana e tem origem na Ásia (SIMMONDS, 1959; MEDINA *et al.*, 1959).

A dispersão da cultura da banana pelo mundo está ligada ao período do descobrimento. Supõe-se que os navegantes portugueses, através das suas viagens, conheceram essa fruta e começaram a cultivá-la por onde passavam (SOTO, 1992).

O fruto passa por quatro fases de desenvolvimento, a saber: crescimento, maturação, amadurecimento e senescência. O crescimento é marcado por um período de rápida divisão ou alongamento celular. A maturação é caracterizada por mudanças físicas e químicas que afetam a qualidade sensorial do fruto. É um fruto climatérico cujo início do amadurecimento é marcado por forte aumento da taxa respiratória e da produção de etileno, em seguida ocorre um declínio acentuado que sinaliza o início da senescência. A produção de etileno representa um sinal que dispara rapidamente as modificações que resultam na transformação da banana em um fruto apto para o consumo (VILAS BOAS *et al.*, 2001).

A bananeira *Musa spp.* é uma planta monocotiledônea e herbácea, ou seja, a parte aérea é cortada após a colheita. Apresenta caule subterrâneo (rizoma), de onde saem as raízes primárias, em grupos de três ou quatro, totalizando 200 a 500 raízes, com espessura predominante menor que 0,5 mm, podendo atingir até 8mm, sendo brancas e tenras quando novas e saudáveis, tornando-se amareladas e endurecidas com o tempo. O sistema radicular é fasciculado, podendo atingir horizontalmente até 5m; no entanto, é mais comum de 1 a 2m, dependendo da variedade e das condições do solo; é também superficial, com aproximadamente 30% localizadas na profundidade de 0-10 cm e 82% concentrando-se na camada de 0-50cm. O pseudocaule é formado por bainhas foliares, terminando com uma copa de folhas compridas e largas, com nervura central desenvolvida. Uma planta pode emitir de 30 a 70 folhas, com o aparecimento de uma nova folha a cada 7 a 11 dias. A inflorescência sai do centro da copa, apresentando brácteas ovaladas, de coloração geralmente roxo-avermelhada, em cujas axilas nascem as flores. De cada conjunto de flores formam-se as pencas (7 a 15), apresentando número variável de frutos (40 a 220), dependendo da variedade (ALMEIDA, 2020).

A bananicultura apresenta-se como um dos principais agronegócios internacionais, uma vez que a banana é a fruta fresca mais consumida no mundo. O Brasil é o quarto produtor mundial e sua produção, de 7,1 milhões de toneladas de banana, é praticamente destinada ao consumo interno, o que o transforma no primeiro consumidor mundial de banana. Não obstante sua posição de destaque como grande produtor, o Brasil exporta apenas 1,5% de sua produção (EMBRAPA, 2012).

A banana, a segunda fruta mais cultivada no país, atrás somente da laranja, tem uma produção anual de aproximadamente 7 milhões de toneladas. Segundo a Empresa Brasileira de

Pesquisa Agropecuária (Embrapa), de cada 100 quilos de bananas colhidas, 46 quilos não são aproveitados por não atenderem aos padrões de consumo. Apenas a produção rejeitada gera ao redor de 3 milhões de toneladas de resíduos por ano (MOHAPATRA, 2010).

O IBGE, por meio do Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (2009), registra um total de 6,97 milhões de toneladas produzidas (queda de 1,80%), uma área a ser colhida de 506,14 mil hectares (diminuição de 1,78%) e produtividade média de 13,8 t/ha, a qual praticamente se mantém em relação à safra passada. O Estado da Bahia se destaca no cenário nacional como o maior produtor de banana, sendo responsável por 20,3% do total produzido, seguido pelo Estado de São Paulo, com 17,5%; Santa Catarina, com 8,3%; Pará, com 8,0%; Minas Gerais, com 7,7%; Ceará, com 6,1% e Pernambuco, com 5,9%. Esses estados, juntos, perfazem 73,8% do volume total produzido.

A cultura da banana hoje alcança uma amplitude considerável, e ocupa a primeira posição em área de produção de frutas em Goiás com uma área aproximada de 10 mil hectares. Somente em 2013, foram 11.745 hectares de área plantada, que corresponde a 37,14% da produção de fruticultura no estado. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), com um Valor Bruto da Produção alcançando a ordem dos R\$ 94 milhões no ano, Goiás também tem o maior número de produtores no seguimento de fruticultura, praticamente todos familiares, chegando a mais de dois mil no total (CAUME, 1997).

A concentração da cultura de banana se encontra tradicionalmente no noroeste e oeste do estado, existindo também alguns Arranjos Produtivos Locais de banana como os de Buriti Alegre e do Vale do São Patrício. É ainda alvo de diversos estudos/pesquisas ligados a Embrapa e Sebrae, Federações de Agriculturas (PIRES, 2008).

Apesar de existir no estado um insignificante índice de exportação, produção na região abaixo da demanda, sendo preciso importar de outros estados e déficit com sistemas de irrigação, ainda assim, o cultivo da banana no estado de Goiás se mostra uma excelente fonte alternativa de renda (PIRES, 2008). A bananicultura é a principal atividade frutícola do Centro-Oeste, com uma área em produção equivalente a 235.632 toneladas em 2009 e 257.612 toneladas em 2010 (IBGE).

Em Goiás existem alguns Arranjos Produtivos Locais (APLs), entre eles há os APLs de bananicultura que têm como objetivos aumentar a produção e a produtividade de bananas da

região, melhorar a qualidade da produção, aumentar a rentabilidade da bananicultura na propriedade rural, elevar a remuneração do trabalhador, melhorar as condições de vida no campo, tornar mais competitiva a cadeia produtiva regional em relação a outros pólos produtores, melhorar a economia dos municípios que compõem a região e contribuir para o desenvolvimento sustentável da região (GASPAROTTO, 2010).

Para o estado de Goiás a cultura da banana destaca-se como uma das principais fruteiras cultivadas, com grande importância social. Segundo dados do IBGE (2010), o estado possui cerca de 14.986 mil hectares de área plantada com a cultura, que apresenta um rendimento médio em torno de 13 mil kg/ha e aproximadamente 4.600 produtores. Os principais municípios produtores são: Itaguaru, Heitorai, Anápolis, Anicuns, Jataí, São Luis de Montes Belos, Santa Fé de Goiás, Pirenópolis, Alexânia, Araçu, Uruana, Avelinópolis, Buriti Alegre, Adelândia, Jaraguá, Carmo do Rio Verde, Americano do Brasil, Inhumas, Ouro Verde, Sanclerlândia, Itauçu, Cocalzinho de Goiás, Taquaral, Itaguari e Jussara (BRASIL, 2006).

A composição química da banana alterna de acordo com a variedade. No entanto, em todas as cultivares ocorrem transformações semelhantes durante o processo de maturação. É uma fruta com aroma e consistência própria e de grande valor nutritivo. Apresenta cerca de 19 a 25% de sólidos solúveis totais e, dentro deste total, 18 a 20% de carboidratos (amido convertido em açúcares solúveis, tais como sacarose, glicose e frutose). Outros grupos de componentes muito importantes são: os taninos; os lipídios, que têm um valor inferior a 0,5%; as proteínas, com concentração entre 0,8 a 1,5% do conteúdo da polpa; os componentes minerais que representam 0,8 a 1,2%, dominando os sais de fósforo (15 a 30 mg/100g de polpa), potássio, magnésio, cálcio e ferro; as vitaminas A (Retinol), B1 (Tiamina), B2 (Riboflavina) e C (Ácido ascórbico). A banana tem um grande aproveitamento sendo o fruto, quando ainda verde, utilizado para fazer farinha ou consumidos depois de cozidos. Os frutos maduros são consumidos ao natural ou fritos. Na indústria são utilizados para o preparo de purê, néctar, banana-passa, banana cristalizada, banana em calda, bananada ou doce de massa, essências, vinho, vinagre, geleia ou aguardente (SILVA JÚNIOR, 2007).

A banana atrai seus consumidores pelas suas propriedades nutricionais e aspectos sensoriais, além de sua praticidade de consumo, podendo ser consumida *in natura* ou processada. A casca da banana constitui-se em uma 'embalagem' individual, de fácil remoção, higiênica e

prática. A ausência de suco na polpa, de sementes duras e sua disponibilidade durante todo o ano também contribuem para sua aceitação (LICHTEMBERG, 1999).

Na banana, durante o amadurecimento, a degradação da clorofila (cor verde) é intensa, ficando visível a pré-existência dos pigmentos carotenóides (cor amarela a laranja) enquanto que a síntese de outros pigmentos é realizada em níveis relativamente baixos, possui consistência viscosa (MEDINA, 1995).

A banana pode assumir 2 tipos de gosto característicos. Um mais amargo, adstringente, e outro mais doce e levemente azedo. A essência da banana é um éster conhecido por Acetato de amila, esse éster vem de uma reação entre ácido e um álcool. Um ácido, tem como uma de suas características o gosto azedo e um álcool pode se comportar como uma base, esta possui um gosto amargo ou adstringente. Quando verde, uma substância contida na banana conhecida por tanino esta muito acentuada, que é da família dos fenóis (álcoois). Por isso possui aquele gosto que amarra a boca, ou gosto adstringente. Sendo assim, quando verde a banana tem características de uma base. Quando madura, o tanino presente na banana perde sua agressividade deixando o gosto mais doce e levemente azedo. Ou seja, seu pH fica moderadamente ácido (DOTTO, 2004).

2.3.1. OS RESÍDUOS DA BANANICULTURA

A ideia usual de resíduo ou “o que sobra”, decorre da agregação aleatória de elementos bem definidos que, quando agrupados, transformam-se em uma massa sem valor comercial e com potencial de agressão ambiental variável segundo a sua composição (FIGUEIREDO, 1995).

No Brasil, a denominação de “resíduo sólido” inclui as descargas de materiais sólidos provenientes das operações industriais, comerciais, agrícolas e das atividades da comunidade (FIGUEIREDO, 1995).

As principais objeções aos resíduos sólidos nas sociedades de consumo se enquadram em cinco categorias: saúde pública, estética, ocupação do espaço, custo de recolhimento-processamento e degradação de recursos naturais. Estes itens representam custos de mão-de-obra, transporte, energia e comprometimento do bem-estar e do ambiente (NOLASCO, 1993).

Além de resíduos da bananeira como o pseudocaule, folhas e engaço, uma parcela dos frutos colhidos é descartada antes de sua comercialização. Este fato é causado pelas perdas devido a danos ocorridos nas fases do plantio até a colheita, no momento da colheita, no amontoamento dos cachos, nas embalagens de madeira, no transporte interno e externo e no manuseio das frutas nas feiras e supermercados.

Em conjunto, esses danos promovem alterações no padrão respiratório, na evolução do etileno, na síntese e degradação de pigmentos, na ativação de enzimas, na alteração da firmeza e no aumento da perda de água dos frutos (SOUZA; PEIXOTO; WACHHOLZ, 1995).

Só na América do Sul, os resíduos de banana são estimados em uma média de 25 a 50% da produção total, devido ao fato de que muitos destes frutos não chegam a ter os padrões de qualidade para sua exportação e pelo excesso produzido existente no mercado interno. Souza, Peixoto e Waachholz (1995) determinaram as perdas em diferentes etapas na cadeia da banana no Brasil. Esses autores observaram que na lavoura perde-se mais de 5%; processo de embalagem mais de 2%; no atacado de 6% a 10%; no varejo de 10% a 15% e, no consumidor de 5% a 8%. Com a industrialização da fruta, dois resíduos são produzidos: rejeitos de frutas de má qualidade e descarte de cascas devido ao beneficiamento da polpa. No Brasil cerca de 83.537 toneladas de cascas de banana são geradas por ano (ALBURQUERQUE, 2010).

A casca de banana é uma rica fonte de amido, gordura bruta, fibra dietética total, ácidos graxos poliinsaturados, pectina, aminoácidos essenciais e micronutrientes (K, Ca, P, Mg). Devido aos diversos nutrientes presentes, as cascas poderiam ser utilizadas na alimentação para os animais. Também podem ser fermentadas para produção de vinhos, produção de etanol, como substrato para produção de biogás e como material base para extração de pectina (MOHAPATRA, 2010).

2.4. PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DA CASCA DA BANANA

Muitos países estão considerando razoável, e necessário, a curto e médio prazo, investimento no estudo de formas, economicamente viáveis, de obtenção de fontes renováveis de energia, com grande destaque para a produção de etanol.

A produção de etanol combustível a partir da biomassa lignocelulósica está emergindo como uma das mais importantes tecnologias para a produção sustentável de combustíveis renováveis. O etanol tem maior octanagem que a gasolina e produz menos emissões, sendo, portanto amplamente reconhecido como substituto da gasolina. A maior parte do etanol combustível produzido no mundo atualmente é proveniente da biomassa de amido ou de sacarose, mas a tecnologia para a produção de etanol a partir de fontes vegetais não alimentares está sendo desenvolvida, para que a produção em larga escala possa ser uma realidade (RABELO, 2010).

A produção e utilização de bioetanol tem atraído atenção mundial como uma estratégia para reduzir o aquecimento global e melhorar a segurança energética global. No entanto, as matérias-primas para a produção de bioetanol devem ser derivadas a partir de partes não comestíveis de culturas alimentares, a fim de evitar a competição direta entre produção de bioetanol e alimentos. Desde 2007, a maior produção de bioetanol foi a partir de açúcar ou amido extraído de frutas e grãos. O etanol pode ser produzido a partir de grande número de recursos renováveis, tais como materiais lignocelulósicos. Estes são pesquisados como uma fonte de açúcares fermentescíveis para a produção de biocombustíveis, devido a sua grande disponibilidade. Entretanto, a eficiente conversão da biomassa lignocelulósica em açúcares fermentescíveis é essencial para a produção de etanol economicamente viável (PIRES, 2008).

A casca de banana (Figura 1) apresenta alto teor de carboidratos, que são facilmente metabolizados por micro-organismos devido à sua natureza orgânica, é uma fonte rica em amido (3%), lignina (6-12%), pectina (10-21%), celulose (7,6-9,6%) e hemicelulose (6,4- 9,4%) (MOHAPATRA, 2010). Esses fatores aliados ao seu baixo custo e alta disponibilidade tornam a casca de banana um interessante resíduo lignocelulósico que pode ser convertido em bioetanol (ESSIEN; AKPAN, 2005).



Figura 1: Cascas de banana de espécies variadas

Schulz (2010) em seu estudo de produção de etanol a partir de rejeitos (polpa e cascas) de banana, com fermentação em biorreator, obteve uma produção de etanol na ordem de 7,9 e 7,1 g L⁻¹, com o uso de cascas *in natura*, com concentrações iniciais de açúcares totais de 19,5 e 12,2 g L⁻¹, respectivamente.

3. METODOLOGIA

3.1. O PREPARO DA AMOSTRA

Foram utilizados como biomassa, rejeitos (cascas) da banana madura da espécie nanica. A biomassa foi fornecida por uma indústria situada no município de Aparecida de Goiânia, GO. As cascas foram transportadas em caixa térmica sob temperatura controlada e armazenadas em geladeira a 5 °C no laboratório de Química da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, área 3, bloco H, no campus 1.

3.2. A PRODUÇÃO DE ETANOL

3.2.1. O preparo do mosto

Foram utilizados como biomassa, cascas de banana madura. Foi pesado 200g de casca, colocando tudo no liquidificador com 500mL de água e bater até ficar homogêneo. A essa solução foram adicionados 300mL de água, e o Grau Brix foi medido. O pH foi medido e corrigido para ficar entre 6 e 6,5 utilizando soluções de NaOH 0,1 mol.L⁻¹ ou de HCl 0,1 mol.L⁻¹.

A solução foi colocada em um béquer e aquecida sob agitação constantemente até chegar a uma temperatura de 60°C. Foram adicionadas 3 gotas da enzima alfa-amilase, aumentando a temperatura para 90°C por 15 minutos. O teste de iodo foi feito, para verificar a presença de amido, e o Grau Brix também foi medido.

A mistura foi esfriada até chegar a uma temperatura de 57°C, sendo necessário medir o pH e ajustar para um valor entre 5 e 5,5 utilizando soluções de NaOH 0,1 mol.L⁻¹ ou de HCl 0,1 mol.L⁻¹. Foram adicionados novamente 3 gotas da enzima alfa-amilase. Após o 1º minuto o teste do iodo foi repetido.

3.2.2. O processo de fermentação

O mosto foi resfriado até 20°C e dividido em duas partes que foram transferidas para balões volumétricos. Em ambas foram adicionados o fermento biológico seco da marca (*Fleischmann*). As amostras foram fechadas com um trap com carbonato de cálcio e foram deixadas em repouso para ocorrer a fermentação.

Após o período fermentativo foi realizado o teste do iodo e a medida do Grau Brix. A mistura foi filtrada e transferida para um balão de fundo chato que foi colocado em uma manta aquecedora para dar início ao aquecimento para a destilação da mesma.

3.2.3. A destilação

O álcool presente após o processo de fermentação foi recuperado pelo processo de destilação fracionada, pois é na destilação fracionada que se separa líquido de líquido. A mistura obtida foi quantificada e armazenada em frasco fechado a 5 °C.

3.3. AS ANÁLISES

Durante a produção do etanol foram realizadas análises de pH, grau brix e teste de iodo. Com o destilado foi realizada a análise do teor alcoólico e com a casca de banana foi feita a análise do teor de umidade.

3.3.1. A determinação do potencial hidrogeniônico - pH

Para aferição do pH foi utilizado o pHmetro, equipamento que foi calibrado para leitura da amostra. Na calibração foi retirado cuidadosamente a proteção do eletrodo e este foi lavado com água destilada em abundância. O mesmo foi seco com papel absorvente delicadamente e em seguida mergulhado em uma solução tampão de pH = 7,00. Depois do equipamento estabilizar a leitura a escala foi ajustada para valor 7,00.

O eletrodo foi novamente lavando com água destilada e seco. Em seguida foi colocado o eletrodo na solução tampão de pH = 4,00. Depois do equipamento estabilizar a leitura a escala foi ajustada para valor 4,00. O eletrodo foi lavado novamente com água destilada e seco. Esta etapa é realizada para evitar a contaminação de uma amostra pela outra.

Após a calibração o equipamento está pronto para fazer a leitura do mosto, que deverá estar em temperatura ambiente.

3.3.2. A determinação do grau Brix

A determinação do grau Brix foi feita com o auxílio de um refratômetro, que foi calibrado com água destilada. Para medir o índice de refração da amostra, colocou-se duas gotas no visor do aparelho fechando-o. Não deve haver a formação de bolhas, pois a mesma interfere na leitura do resultado. A leitura do Grau Brix foi no visor do equipamento.

3.3.3. O teste de iodo

Para o teste de iodo foi utilizado solução de amido 1%, para o seu preparo foram misturados 1 g de amido com 10 ml de água. A mistura foi vertida em um recipiente com 100 ml de água fervente. Em seguida a solução foi resfriada e sedimentada. O sobrenadante foi separado por decantação e a ele foi adicionado 1g de ácido salicílico (1%) para aumentar a estabilidade.

O reagente de lugol foi preparado pela mistura de 5 g de iodo (I_2) e 10 g de iodeto de potássio (KI). Ambos foram pesados e misturados em água até completar o volume para 100 ml. No momento da utilização esta solução foi diluída de 1:10.

Em um tubo de ensaio foi colocado 2 mL de água destilada, em outro tubo 2 mL da solução de amido. Cerca de 4 gotas do reagente de lugol foi adicionada em cada um dos tubos e a coloração desenvolvida foi observada.

3.3.4. O teor de umidade

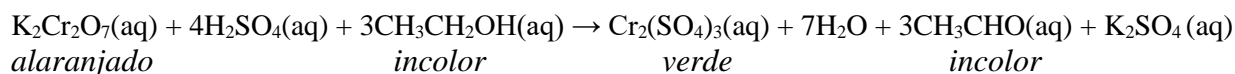
O cadinho previamente seco em estufa a 105 °C por uma hora foi guardado no dessecador para o mesmo ter uma atmosfera com baixo teor de umidade, foi manipulado com a ajuda de uma pinça metálica ou papel absorvente. O cadinho, então à temperatura ambiente, foi pesado em uma balança analítica ($\pm 0,0001$ g). Em seguida foram pesados 10,0000 g de cascas de banana. O cadinho com a amostra foi aquecido na estufa a uma temperatura de 105 °C por 24 horas. Após esse tempo o sistema foi resfriado a temperatura ambiente dentro de um dessecador contendo sílica gel. O sistema foi então pesado para se calcular o teor de umidade.

3.3.5. A determinação do teor alcoólico

3.3.5.1. Determinação por UV - VIS

As soluções padrão de etanol foram preparadas pela diluição do produto obtido pela fermentação em água destilada. A solução de dicromato de potássio foi preparada pela dissolução do sal em água destilada. A solução de ácido sulfúrico foi preparada pela diluição de ácido sulfúrico concentrado (18,0 mol/L), de pureza 95% em água destilada.

Para a determinação de etanol, foi empregado a reação de óxido-redução pela reação colorimétrica, na qual o cromo (VI) é reduzido a cromo (III) ou cromo (II) e o etanol é oxidado a aldeído acético, gerando mudança da cor amarelo-alaranjada para verde-azulada, conforme descrito na equação química:



A solução de ácido sulfúrico usada foi de concentração de 4,5 mol/L enquanto a de dicromato de potássio foi de concentração 0,075 mol/L. Ademais, para verificar o efeito do tempo sobre a resposta analítica, a reação foi monitorada durante 20 min. Todos os estudos foram realizados em triplicata (n=3). As soluções padrões usadas foram de etanol nas concentrações de 5, 10, 20, 30, 40, 50 e 55 % v/v.

Os volumes foram fixados em 100 μL de ácido, 300 μL de dicromato e 200 μL de solução de etanol. O branco analítico foi obtido pela substituição da solução de etanol por água destilada. Após a mistura das soluções reagentes, o sistema foi agitado com um bastão de vidro e após 15 minutos avaliado em um equipamento de UV-VIS no comprimento de onda de 280 nm.

3.3.5.2. Determinação por HPLC

O volume de amostra usado na análise foi de 20 μL que foi medido por um loop conectado a uma válvula manual Valco de seis portas (Valco InstrumentsCo.). A coluna foi uma C18 da Fenomenex $250 \times 4,6$ mm com partículas de 5 μm . O comprimento de onda do detector UV-VIS foi definido em 280 nm. O cromatógrafo utilizado foi um Youngli inc. A fase móvel foi composta de uma mistura metanol:água na proporção de 30:70 sendo que 0,3 % desta solução foi composta de acetona como agente deslocador de etanol. As soluções padrão de etanol nas concentrações de 1, 3, 6, 8 e 10 % foram preparados através da pipetagem de etanol a 95% em frascos de 50 mL e avolumados com água destilada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. O preparo do mosto

Foram coletadas, rejeitos (cascas) da banana madura da espécie nanica. A biomassa foi fornecida por uma indústria de sobremesas, situada no município de Aparecida de Goiânia, GO. As cascas foram armazenadas em freezer a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 horas e transportadas em caixa térmica sob temperatura controlada para o laboratório de Química da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, área 3, bloco H, no campus 1.



Figura 2: Cascas de banana madura da espécie nanica

A amostra de casca de banana foi pesada (200g) e triturada no liquidificador com 500mL de água destilada até ficar homogêneo. Ao final foram adicionados 300mL de água, o Grau Brix e o pH foram medidos, como mostra a Figura 3.

O processo de produção de etanol de segunda geração envolve as etapas de pré-tratamento das matérias-primas, hidrólise, fermentação e destilação (Balat *et al.*, 2008; Gírio *et al.*, 2010; Santos *et al.*, 2012). O pré-tratamento compreende o processo de deslenhificação com a separação das frações de celulose e hemicelulose. Posteriormente, a celulose e a hemicelulose são submetidas à hidrólise enzimática (processo biotecnológico) para conversão destas frações



Figura 3: Medição do pH da casca de banana triturada com pHmetro

Em açúcares simples e solúveis (Gírio *et al.*, 2010). A hidrólise da hemicelulose fornece pentoses (xilose e arabinose) e hexoses (glucose, manose e galactose), enquanto a celulose é hidrolisada em glucose.

Para Moreira (2005), todos os materiais celulósicos naturais precisam ser submetidos a um pré-tratamento pelo qual a biomassa celulósica se torna suscetível à ação das enzimas hidrolíticas. Geralmente, o rendimento da hidrólise, sem a fase de pré-tratamento, é 20% do rendimento teórico, enquanto o rendimento após o pré-tratamento frequentemente é superior a 90% do rendimento teórico. Para o pré tratamento as soluções foram colocadas em um béquer e aquecida sob agitação constantemente até chegar a uma temperatura de 60°C. Foram então adicionadas 3 gotas da enzima alfa-amilase, aumentando a temperatura para 90°C por 15 minutos, Figura 4.

O teste de iodo foi feito, para verificar a presença de amido, Figura 5, sendo que de acordo com Mohapatra (2010), quanto mais madura a fruta maior o teor de açúcar na casca e menor a presença de amido. Hammond *et al.* (1996) afirmam que na banana verde quase a totalidade do carboidrato não-estrutural da fruta está na forma de amido, mas durante o seu amadurecimento, rapidamente são convertidos em açúcar. O Grau Brix também foi medido.



Figura 4: Aquecimento da amostra



Figura 5: Teste do iodo

A mistura foi resfriada até chegar a uma temperatura de 57°C, mediu-se o pH. Foi então adicionado novamente 3 gotas da enzima alfa-amilase. Após o 1º minuto o teste do iodo foi repetido, sendo negativo em todas as amostras. Todos os resultados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados do Grau Brix inicial e após 90°C por 15 minutos, pH inicial e após resfriar para 57°C, massas das cascas e volume das amostras com fermento biológico.

		Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
	Massa da casca (g)	200,0	200,0	200,0	200,0
	Volume da amostra com fermento (mL)	450,0	500,0	470,0	330,0
Inicial	Grau Brix	1,9	2,0	2,0	2,0
	pH	6,0	6,2	6,5	6,5
Após 90°C por 15 minutos	Grau Brix	1,3	2,0	2,0	2,0
Após resfriar para 57°C	pH	5,7	5,6	5,2	5,2

4.2. O processo de fermentação

As amostras foram colocadas em balão volumétrico e fechadas com um trap com carbonato de cálcio e deixadas em repouso sob temperatura ambiente durante 7 dias para ocorrer à fermentação, Figura 6. O produto proveniente da fermentação é uma mistura de bioetanol, massa celular e água (BALAT *et al.*, 2008).



Figura 6: Processo de Fermentação

4.3. A destilação

Após uma semana fermentando foi realizada a destilação fracionada, que consiste no processo de separação de diferentes componentes que apresentam ponto de ebulição próximos, figura 7. Utilizou-se duas colunas de fracionamento para garantir a separação do etanol, pois notou-se que apenas com uma coluna a eficiência da separação foi baixa, já que a separação foi muito rápida e o aumento da temperatura ultrapassou os 90 °C muito rapidamente o que ocasionou a uma baixa eficiência na separação do etanol. Esta eficiência foi facilmente percebida pelo cheiro do produto da destilação que comparativamente com outras biomassas já estudadas apresentou odor forte da mistura inicial.



Figura 7: Colunas de destilação

A utilização de duas colunas de fracionamento reduziu bastante esse cheiro, na solução final da destilação, no entanto ele ainda era presente. Fez-se a aferição do volume do produto da destilação, Tabela 2, e em seguida armazenada em frasco fechado a 5 °C.

Tabela 2. Volume do destilado em cada uma das amostras.

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Volume do destilado (mL)	3,0	2,1	2,1	3,3

4.4. A determinação do teor alcoólico

A determinação do teor alcoólico com espectrofotômetro de UV-VIS não foi apropriada para a amostra em questão. Embora essa metodologia já tenha sido utilizada em outros estudos, neste caso não houve uma estabilidade na medida da absorbância das amostras. Assim que a amostra era colocada no equipamento a absorbância aumentava e não se estabilizava mesmo passados mais de 60 minutos após o que é recomendado para a análise. Acredita-se que os subprodutos arrastados junto com o etanol (aqueles associados ao cheiro) durante a destilação sejam responsáveis por reagir também com os íons dicromato causando a baixa estabilidade da medida.

Por esse motivo optou-se pelo uso da técnica de HPLC (Cromatografia Líquida de Alta Eficiência). Esta é uma técnica de separação onde o analito interage com duas fases imiscíveis, a fase móvel e a fase estacionária, sendo a fase móvel obrigatoriamente um líquido. Essa técnica é uma alternativa para os analitos que possui compostos não voláteis e termicamente instáveis.

O procedimento começa com a leitura da curva padrão no HPLC, para se obter a equação da curva. Os resultados da regressão mostraram que as variáveis estão linearmente correlacionadas na faixa de concentração entre 1,0 a 10,0 % v/v de etanol, com um coeficiente de correlação de 0,9922, conforme apresentado na Figura 8.

O coeficiente de correlação (R^2) obtido está de acordo com as normas da ANVISA (2003), indicando, portanto, que existe uma resposta linear na faixa supracitada. Na tabela 3 temos o teor de etanol nas amostras que foi calculado a partir da equação da reta da curva padrão. Embora o procedimento de fermentação e destilação tenha sido realizado da mesma forma quatro vezes o teor de etanol foi diferente em cada uma das repetições. Isso se deve a alguns fatores como por exemplo a eficiência e sensibilidade do operador no procedimento de destilação, a concentração dos reagentes, o equipamento que poderia estar descalibrado, entre outros fatores.

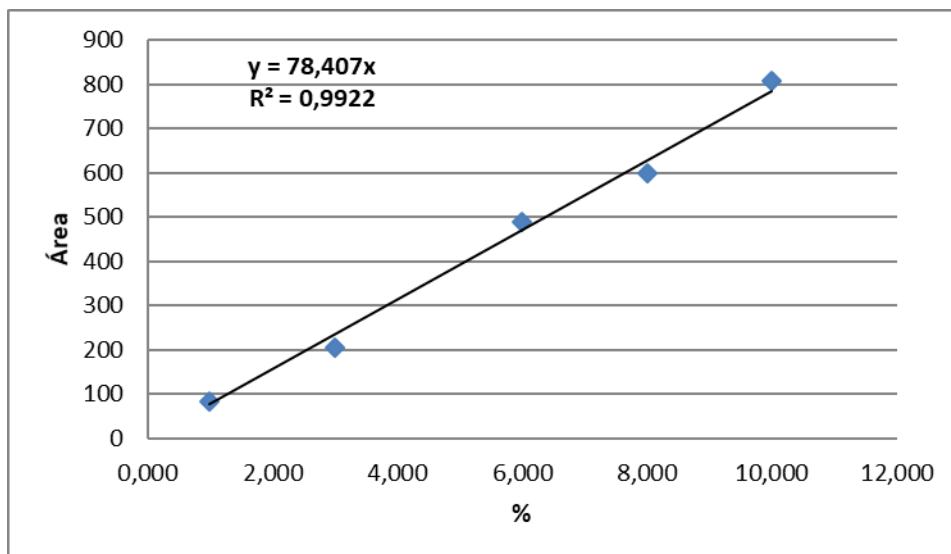


Figura 8: Curva analítica obtida pela análise de soluções aquosas de etanol

Tabela 3. Concentração de etanol em cada amostra.

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Concentração de etanol (%)	34,3	58,0	74,9	42,1

4.5. Rendimento do processo

De forma resumida, são três os pontos importantes a serem considerados ao analisar o custo do etanol: custo da biomassa, custo do processamento e a taxa de conversão da biomassa para os produtos (MACEDO; NOGUEIRA, 2004). Para se obter a quantidade de etanol (mL) produzida para a massa de casca de banana utilizada (200 g) é necessário utilizar a Equação 1.

Quantidade de etanol no destilado (mL) = {[Quantidade do destilado (mL)] * [Concentração de etanol (%)]}/100

Equação 1

Sabendo-se o teor de etanol em cada amostra e seu volume é possível calcular a quantidade de etanol produzida em cada fermentação, Tabela 4. A partir desse resultado observa-se que a média da quantidade de etanol produzida por cada 200 g de banana foi de 1,30 mL. Sabendo que o teor de umidade da casca de banana é de cerca de 83,46 %, Tabela 5, temos que

são 1,30 mL de etanol produzido para cada 33,08 g de casca de banana seca. Ou então 39,29 mL de etanol por quilo de casca de banana seca ou 6,5 mL de etanol por quilo de casca de banana *in natura*.

Tabela 4. Quantidade de etanol no volume do destilado.

Amostra	Quantidade do destilado (mL)	Concentração de etanol (%)	Quantidade de etanol (mL)
1	3,0	34,30	1,03
2	2,1	58,00	1,22
3	2,1	74,90	1,57
4	3,3	42,10	1,39

Tabela 5. Teor de umidade da casca de banana.

Teor de umidade (%)	Média	Desvio Padrão
84,62		
85,50	83,46	2,13
80,26		

O etanol hidratado (média CEPEA) com aproximadamente 95% de pureza custa R\$ 2,0570 o litro. Isto significa que 6,5 mL de etanol, produzido por cada quilo de casca de banana *in natura*, resultaria em R\$ 0,0133. Esse valor foi obtido sem considerar o valor da matéria prima (casca de banana), custos do processo e da purificação do etanol até atingir a pureza de 95%.

Segundo Soffener (2001) a polpa da banana nanica madura apresenta, em média, 19% de açúcares e 1% de amido. Basicamente composto de água (70%), carboidrato rico em fósforo (27%), proteína (1,2%), e teores de cálcio, ferro, cobre, zinco, iodo, manganês, cobalto, vitamina A, tiamina, riboflavina, niacina e vitamina C. De acordo com Mohapatra (2010), quanto mais madura a fruta maior o teor de açúcar na casca e menor a presença de amido. Hammond *et al.* (1996) afirmam que na banana verde quase a totalidade do carboidrato não-estrutural da fruta está na forma de amido, mas durante o seu amadurecimento, rapidamente são convertidos em açúcar.

Já fibra bruta da cenoura, que foi a biomassa utilizada pelo Kiran *et al.* (1999), com base em seu peso seco é composta em sua grande parte por fibra insolúvel; o teor de celulose

corresponde em 80%, a hemicelulose ocupa uma fração de aproximadamente 10% e, a lenhina perfaz cerca de 2%, enquanto a fibra solúvel, principalmente a pectina, representa aproximadamente 7% (Nawirska e Kwasniewska, 2005). Yoon *et al.* (2005) determinaram a composição de fibra solúvel e insolúvel de resíduos de polpa de cenoura oriundo do processamento industrial de sumo

Considerando a média de etanol por quilo de casca de banana seca de 39,29 mL, valores próximos foram apresentados por Schulz, (2010) com rendimento de 42,5 mL/kg de casca de banana e 60,0 mL/kg de etanol de polpa de banana, através da hidrólise enzimática com *Saccharomyces cerevisiae*.

Já a produção de etanol de segunda geração obtido a partir do bagaço de cana-de-açúcar tem o rendimento variando em base seca entre 158 mL e 335 mL por quilo de acordo com o pré-tratamento utilizado. Em termos de comparação, o rendimento do etanol de primeira geração a partir do milho é de 460 mL e da beterraba a 100 mL por quilo (MANOCHIO, 2014).

Ao avaliar a produção de etanol de segunda geração a partir de hidrólise enzimática, Aimaretti *et al.* (2012) obtiveram 77,5 mL de etanol por 1 quilo de resíduos de cenoura como matéria-prima. Kiran *et al.* (1999) relatou concentração conhecida de etanol de 62,5 ml/kg de farinha de sorgo doce e batata doce através de hidrólise enzimática com *S. Cerevisiae*. Já segundo Swain *et al.* (2013) após 120 horas de fermentação obteve-se rendimento de 143,45 ml/kg de etanol a partir de *Trichoderma sp.* e *Saccharomyces cerevisiae* como co-cultura em fermentação de estado sólido usando farinha de batata doce.

5. CONCLUSÕES

Neste experimento foi possível obter para cada 200 g de casca de banana produzir 1,30 mL de etanol. Sabendo que o teor de umidade da casca de banana é de cerca de 83,46 %, temos que são 1,30 mL de etanol produzido para cada 33,08 g de casca de banana seca. Ou então 39,29 mL de etanol por quilo de casca de banana seca ou 6,5 mL de etanol por quilo de casca de banana *in natura*. Esse rendimento de etanol a partir da casca de banana é baixo em relação ao etanol de segunda geração obtido a partir do bagaço da cana-de-açúcar, resíduos da cenoura e também se comparado com a farinha de batata doce, como descrito na literatura, mas quando comparado com a farinha de sorgo doce, casca de banana de acordo com as metodologias descritas, obteve-se valores próximos de rendimento de etanol.

Sendo assim as cascas de banana podem ser utilizadas como substrato alternativo na produção de etanol, apresentando resultados promissores na formação de etanol. Por ser uma fruta sazonal e ter consequentes oscilações de disponibilidade no campo, o uso da casca de banana como único substrato de fermentação poderia provocar a redução da produção de etanol ou mesmo a interrupção de uma unidade industrial. Recomenda-se a busca de substratos alternativos à casca de banana para esses períodos. Ainda como proposta para trabalhos futuros, analisar outros métodos de pré-tratamento, como a hidrólise alcalina ou ácida com o objetivo de aumentar a quantidade de etanol produzido, além do uso de cascas previamente secas e moídas também podem ser uma alternativa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBURQUEQUE, B. L. **Gestão de Resíduos sólidos na Universidade Federal de Santa Catarina: Os programas desenvolvidos pela coordenadoria de Gestão Ambiental.** X Coloquio Internacional sobre Gestión Universitária en América del Sur. Mar Del Plata, dez. 2010. Disponível em: <http://gestaoderesiduos.ufsc.br/files/2016/04/05_GRS-na-UFSCdesenvolvido-pela-coordenadoria-de-GA.pdf> Acesso em junho. 2020.
- AIMARETTI, N.R. e YBALO, C. (2012) – **Valorização de descartes de cenoura e fermento para obtenção de etanol.** Biomassa e Bioenergia vol. 42, n. 1, p. 18-23. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.03.022> Acesso em Nov. 2020.
- ALMEIDA, C. O. **Livro da Banana - Sócio economia.** Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia40/AG01/Abertura.html>. > Acesso em: março. 2020.
- ALVES, E. J. **A cultura da banana: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais.** 2 ed. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). 585 p. Brasília – DF, 1999.
- BASTOS, Valéria Delgado. **Etanol, alcoolquímica e biorrefinaria.** BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 25, p. 5-38, mar. 2007.
- Balat, M.; Balat, M. e Öz, C. (2008) – **Progress in bioethanol processing. Progress in Energy and Combustion Science**, vol. 34, n. 5, p. 551-573. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pecs.2007.11.001> Acesso em Nov. 2020.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário. Estado de Goiás: número de contratos e montante do crédito rural do Pronaf. 2006. Disponível em: . Acesso em: 29.03.2020.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RE nº 899, de 29 de maio de 2003. Determina a publicação do “Guia para validação de métodos analíticos e bioanalíticos”. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 20 out. 2020.
- CARRIJO, E. L. O. **A expansão da fronteira agrícola no estado de Goiás: setor sucroalcooleiro.** 2008. 101 p. Dissertação de mestrado apresentada ao programa de pós-graduação em Agronegócios da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 2008.
- CAUME, D. J. **A agricultura familiar no Estado de Goiás.** Goiânia: Ed. da UFG, 1997.
- CRUZ et al. **Qualidade da silagem de milho em função do teor de matéria seca na ocasião da colheita.** Circular técnica 112 Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA). Minas Gerais, 2008.
- DOTTO, D. C. 2004. **Obtenção de farinha de banana verde, sua caracterização quanto a alguns componentes e avaliação de seu uso em formulações de bolo como substituta parcial**

da farinha de trigo. Monografia (Especialização). Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste/Departamento de Engenharia Química, Toledo/PR, 51 p

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Agência de informação**

Embrapa: Banana. Brasília. Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/82218/1/500-Perguntas-Banana-ed02-2012.pdf> Acesso em: março. 2020

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Agência de informação**

Embrapa: Banana. Brasília. Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/82218/1/500-Perguntas-Banana-ed02-2018.pdf> Acesso em: abril 2020

ESSIEN, J. P.; AKPAN, E. J.; ESSIEN, E. P. **Studies on mould growth and biomass production using waste banana peel.** Bioresource Technology, Essex, v. 96, n. 13, p. 1451–1456, 2005.

FIGUEIREDO, P.S. **A sociedade do lixo: os resíduos, a questão energética e a crise ambiental.** Piracicaba: UNIMEP, 1995. P. 47-56.

FOLEGATTI, I. S. **Banana: Pós-colheita.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001, p.15- 19.

GASPAROTTO, L.; PEREIRA, J.C.R. (Ed.). **A Cultura da bananeira na região Norte do Brasil.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2010. 310 p.

GÍRIO, F.M.; FONSECA, C.; CARVALHEIRO, F.; DUARTE, L.C.; MARQUES, S. e BOGEL-ŁUKASIK, R. (2010) – **Hemicelluloses for fuel ethanol: a review.** *Bioresource Technology*, vol. 101, n. 13, p. 4775-4800. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2010.01.088> Acesso em Nov. 2020.

HAMMOND, J. B., EGG, R., DIGGINS, D., COBLE, C.G., **Alcohol from bananas.** Bioresource Technology, v.56, p.125-130, 1996.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2007 Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: março, 2020.

IBGE. Produção Agrícola Municipal: culturas temporárias e permanentes. Goiás, 2016. p. 101

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) 2010. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em 25.03. 2020.

KASAVI, C.; FINORE, I.; LAMA, L.; NICOLAUS, B.; OLIVER, S.G.; ONER, E.T.; KIRDAR, B. (2012) – **Evaluation of industrial**

Saccharomyces cerevisiae strains for ethanol production from biomass. Biomass and Bioenergy, vol. 45, n. 1, p. 230-238. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.06.013> Acesso em Nov. 2020.

KIRAN S. N., SRIDHAR M. **Ethanol production in solid substrate fermentation using a thermotolerant yeast.** *Process Biochem.* 1999; 34: 115–119.

LICHTEMBERG, L. A. **Colheita e pós-colheita da banana.** Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.20, n.196, p.73-90, 1999.

LIMA, Divina Aparecida L. L. **Estrutura e expansão da agroindústria canavieira no sudoeste goiano. Impactos no uso do solo e na estrutura fundiária a partir de 1990.** Tese de Doutorado em Desenvolvimento Econômico. Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, 2010, 248p.

MACEDO, I. C.; NOGUEIRA, L. A. H.. **Avaliação da Expansão da Produção de Etanol no Brasil.** Cgee: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Brasília, jan. 2004.

MANOCHIO, C. **Produção De Bioetanol De Cana-De-Açúcar, Milho E beterraba: Uma Comparação Dos Indicadores tecnológicos, Ambientais E Econômicos.** UNIFAL - MG, Poços de Caldas, 2014. 1-35.

MATOS, A. T. **Tratamento e Aproveitamento Agrícola de Resíduos Sólidos.** Viçosa, Minas Gerais: Ed. UFV, 2014.

MEDINA, J. C. **Banana: cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos.** 2º ed. Campinas: ITAL, 1995.

MEDINA, J.C. **Plantas fibrosas da flora mundial.** Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1959. 913p.

MENDES, C. Q. M. & FERREIRA, E. M. **Por que utilizar a casca de soja na alimentação do rebanho.** *Radars Técnicos Farmpoint*, 2007. Disponível em: <<https://www.milkpoint.com.br/artigos/producao/por-que-utilizar-a-casca-de-soja-na-alimentacao-do-rebanho-33654n.aspx>>. Acesso em: 26/03/2020.

MINTEER, S., *Alcoholic Fuels: An Overview*, em Minteer, S., 2006, *Alcoholic Fuels*, Estados Unidos da América: Taylor & Francis Group, Cap. 1.

MOHAPATRA, D.; MISHRA, S.; SUTAR, N. **Banana and its by-product utilization: an overview.** *Journal of Scientific & Industrial Research*, Volume 69, pages 323- 329, 2010.

MOREIRA, J.R. Obtenção de etanol a partir de material celulósico. In ROSILLOCALE, BAJAY E ROTHMAN (org) **“Uso da Biomassa para Produção de Energia na Indústria Brasileira”.** ISBN 85-268-0685-8. Campinas, São Paulo. Editora da UNICAMP, 2005.

MORAES, Cinára Lopes de; LIMA, Divina Aparecida L. L. **Viabilidade econômica da cultura do algodão em propriedades familiares no sudoeste de Goiás**. Rio Verde: Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade de Rio Verde, 2005, 52p

NAWIRSKA, A. e KWANIEWSKA, M. (2005) – **Frações de fibra alimentar de resíduos de processamento de frutas e vegetais**. *Química Alimentar*, vol. 91, n. 2, p. 221-225. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.10.005> Acesso em 11 Nov. 2020

NOGUEIRA, L. A. H. **Bioálcool de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável**, Banco Nacional de Desenvolvimento e Economia Social- BNDES e Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - CGEE, Rio de Janeiro, 2008.

NOLASCO, A.M. **Utilização de resíduos da indústria de papel na produção de materiais para construção civil**. São Carlos, 1993. 171 p. Dissertação (Mestrado). Escola de engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo.

OGEDA, T.L. e Petri, D.F.S. (2010) – **Hidrólise enzimática de biomassa**. *Química Nova*, vol. 33, n. 7, p. 1549-1558. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422010000700023>

PIRES, Murilo José de Souza. **As implicações do processo de modernização conservadora na estrutura e nas atividades agropecuárias da Região Centro-Sul de Goiás**. Tese de Doutorado em Desenvolvimento Econômico. Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008, 146 p.

RABELO, A. C. **Avaliação e otimização de pré-tratamentos e hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar para a produção de etanol de segunda geração**. 2010. Tese (Doutorado em engenharia química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2010. 447 p.

RAELE, R.; Boaventura, J.M.G.; Fischmann, A.A. e Sarturi, G. (2014) – **Scenarios for the second generation ethanol in Brazil**. *Technological Forecasting & Social Change*, vol. 87, n. 1, p. 205-223. <https://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2013.12.010>

ROJAS, B. M. L. **Beneficiamento e polpação da ráquis da bananeira ‘nanição’ (Musa AAA, ‘Giant Cavendishii’)**. Dissertação (Mest do em Agricultura 150 p. – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2013.

SANTANA, L. N. S. **Estudo cinético da produção de etanol por *saccharomyces cerevisiae* imobilizado em alginato de sódio**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 8, 2009, Uberlândia. Anais... Uberlândia, 2009 Santos, F.A.; Queiróz, J.H.; Colodette, J.L.; Fernandes, S.A.; Guimarães, V.M. e Rezende, S.T. (2012) – **Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol**. *Química Nova*, vol. 35, n. 5, p. 1004-1010. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422012000500025>

SANTOS, F.A.; QUEIRÓZ, J.H.; COLODETTE, J.L.; FERNANDES, S.A.; GUIMARÃES, V.M. e REZENDE, S.T. (2012) – **Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol**. Química Nova, vol. 35, n. 5, p. 1004-1010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422012000500025> Acesso em Nov. 2020.

SCHULZ, M. A. **Produção de bioetanol a partir de rejeitos da bananicultura: polpa e cascas de banana**. 2010. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) - Universidade da Região de Joinville, Joinville, 2010.

SILVA JÚNIOR, G. S. e. **Respostas biométricas, ecofisiológicas e nutricionais em genótipos diplóides de bananeira (Musa spp) submetidos à salinidade**. 2007. 106 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2007.

SILVA, L. D. **Sustentabilidade do etanol brasileiro: uma proposta de princípios e critérios**. 2010. 174 p. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2010.

SIMMONDS, N.W. **Bananas**. 1.ed. London: Tropical Agriculture Series, 1959. 466p. Sindicato Da Indústria De Fabricação De Açúcar E Etanol Do Estado De Goiás (SIFAEG). Disponível em: <http://www.sifaeg.com.br/index.html> Acesso em: 28. 03. 2020.

SOFFENER, M. L. A. P. **Produção de polpa celulósica a partir de engaço de bananeira**. 2001. 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior Luiz de Queiroz- ESALQ - USP, Piracicaba.

SOTO B. M. **Bananos: cultivo y comercialización**. 2.ed. San José: Litografía e Imprenta LIL, 1992. 674p

SOUZA, A. T.; PEIXOTO, A. N.; WAACHHOLZ, D. **Banana**. Florianópolis: Instituto de Planejamento e Economia Agrícola de Santa Catarina, 1995. 103 p.

SUKUMARAN, R. K. et al. Cellulase production using biomass feed stock and its application in lignocellulose saccharification for bio-ethanol production. **Renewable Energy**, v. 34, p. 421-424, 2009.

SWAIN, M. R.; MISHRA, J.; THATOI, H. **Bioethanol Production from Sweet Potato (Ipomoea batatasL.) Flour using Co-Culture of Trichoderma sp. and Saccharomyces cerevisiae in Solid-State Fermentation**. North Orissa University. Orissa - India, p. 1-10. 2013. (Vol.56, n.2: pp. 171-179, March-April 2013).

VILAS BOAS, E. V. de B. et al. Características da fruta. 2001 In: MATSUURA, F. C. A. U.,

YOON, K.Y.; CHA, M. (2005) – **Produção enzimática de um hidrolisado de fibra solúvel a partir de bagaço de cenoura e sua composição de açúcar**. Química Alimentar, vol. 92, n. 1, p. 151-157. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.07.014> Acesso em 11 Nov. 2020

RESOLUÇÃO nº 038/2020 - CEPE
ANEXO I
APÊNDICE ao TCC

Termo de Autorização de Produção Acadêmica

O(A) estudante Paula Ramos N. da Silveira do curso de Engenharia de Alimentos, matrícula 2016.1.0029.0361-7, telefone: (62) 99461-7117 e-mail paulla93@hotmail.com, na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei nº 9.610/98 (Lei dos Direitos do Autor), autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado Uso da α -amilase na produção de etanol a partir de resíduos da casca de banana Gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificados Texto (PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 03 de dezembro de 2020.

Assinatura do(a) autor(a): _____

Nome completo do(a) autor(a): Paula Ramos Nunes da Silveira

Assinatura do(a) professor(a)-orientador(a): _____

Nome completo do(a) professor(a)-orientador(a): Danny Pereira Barbosa

