

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CHARLES GONÇALVES BISPO

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E FINANCEIRA DE PROJETO HÍBRIDO
COM APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DE BIODIGESTOR E ENERGIA SOLAR
FOTOVOLTAICA EM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO SETOR AGROPECUÁRIO

CHARLES GONÇALVES BISPO

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E FINANCEIRA DE PROJETO HÍBRIDO
COM APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DE BIODIGESTOR E ENERGIA SOLAR
FOTOVOLTAICA EM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO SETOR AGROPECUÁRIO

Monografia apresentada ao curso de MBA em
Gestão Estratégica em Energias Renováveis e
Biocombustíveis, setor de ciências agrárias,
Universidade Federal do Paraná, como requisito
parcial à obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. M.Sc. Nicolás Lazzaretti
Berhorst

GOIÂNIA/GO

2020

RESUMO

O mercado de geração de energia distribuída cresce exponencialmente. Além de ser uma forma inovadora e econômica de gerar sua própria energia, nos últimos anos tem se mostrado uma grande fonte geradora de empregos. Aumentou também os níveis de governança na esfera pública no que compete à temas como sustentabilidade ambiental, social e financeira. O produtor rural, que possui uma grande demanda de consumo de energia adere gradativamente a essa tecnologia procurando ter previsibilidade em seus custos no consumo da eletricidade e menor impacto ambiental através do processo de descarbonização. Este estudo procurou realizar uma análise da viabilidade técnica e financeira de um projeto híbrido de um sistema com duas tecnologias diferentes de energia renovável, a energia solar fotovoltaica e o biogás, ambos conectados à rede elétrica e a tecnologia sendo aplicada no setor agropecuário, mais especificamente em uma granja de suinocultura. A análise foi realizada através de informações coletadas em campo, estudo de literatura técnica e revisões bibliográficas. Os dados foram coletados em uma granja de suinocultura localizada na região do sudoeste do estado de Goiás. Os resultados indicam que o arranjo possui viabilidade técnica e financeira para ser implantado, com payback em 5 anos e 1 meses, TIR de 28% ao ano e poderá evitar a emissão, em 25 anos, de aproximadamente 10.571.971 kg de CO₂, os resultados indicam que este arranjo trará benefícios ao produtor rural, tanto no impacto ambiental, quanto econômico.

Palavras-chave: geração de energia renovável. biogás. projeto híbrido. solar fotovoltaica. tratamento de resíduos da suinocultura.

ABSTRACT

The distributed power generation market has been growing exponentially. In addition to being an innovative and economical way to generate its own energy, in recent years it has proven to be a great source of job creation, also increasing the levels of governance in the public sphere with regard to issues such as environmental, social and financial sustainability. The rural producer, which has a high demand for energy consumption, has been gradually adhering to this technology seeking to have predictability in its costs in electricity consumption and lower environmental impact through the decarbonization process. This study aimed to perform an analysis of the technical and financial feasibility of a hybrid project of a system with two different renewable energy technologies, photovoltaic solar energy and biogas, both connected to the electricity grid and the technology being applied in the agricultural sector, more specifically in a swine farm. The analysis was performed through information collected in the field, study of technical literature and bibliographic reviews. The data were collected in a farm located in the southwest region of the state of Goiás. The result of the technical analysis showed that the arrangement is viable to be implemented, it has technical and financial feasibility to be implemented, with payback in 5 years and 1 month, TIR of 27.94% and can avoid the emission of approximately 10,571,971 kg of CO₂, this arrangement certainly bring great benefits to the farmer, both in environmental impact and in economic impact.

Keywords: renewable power generation. biogas. hybrid project. solar photovoltaic. treatment of swine waste.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	06
1.1	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	11
1.2	OBJETIVO.....	13
1.2.1	Objetivo geral.....	13
1.2.2	Objetivos específicos.....	13
1.3	JUSTIFICATIVA.....	14
2	METODOLOGIA.....	17
2.1	MATERIAL E MÉTODOS.....	17
2.2	CÁLCULO SISTEMA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICO.....	19
3	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	20
3.1.	DESCRIÇÃO TÉCNICA.....	21
3.1.1	Funcionalidades Gerais da Solução.....	23
3.2	SISTEMA DE CONTROLE DE USINA HÍBRIDA.....	23
3.2.1	Comunicação entre geração biogás e UAC.....	23
3.2.2	Comunicação entre Geração Solar e UAC.....	24
3.2.3	Comunicação entre Estação Solarimétrica e UAC.....	24
3.2.4	Comunicação entre UAC e Sistema de Supervisão.....	25
3.2.5	Sistema Supervisório.....	25
3.3	ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA.....	25
3.4	ANÁLISE VIABILIDADE ECONÔMICA.....	26
4	CONCLUSÃO.....	29
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	29
5.1	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	30
	REFERÊNCIAS.....	31

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da sociedade humana está atrelado à transformação do meio ambiente e obtenção de energia. Nas últimas décadas foi visto, por várias vezes, situações que mostram o iminente fim dos combustíveis fósseis, o imenso impacto ambiental causado por essas fontes de energia e a insustentabilidade do modo como obtém-se a energia que nos move, com isso, para a continuidade da sociedade é essencial o uso das energias consideradas renováveis (Kimura, 2018).

As fontes renováveis de energia são aquelas consideradas inesgotáveis para os padrões humanos de utilização. Poderá ser utilizada continuamente e nunca se acabam, pois sempre se renovam. Alguns exemplos são as fontes de energia solar, aproveitada diretamente para aquecimento ou geração de eletricidade (solar fotovoltaica e heliotérmica ou solar termelétrica), hidrelétrica, eólica, oceânica, geotérmica, biomassa e biogás. No caso da energia solar, por ser uma fonte de energia renovável de aspecto mais amplo e favorecido, pois está disponível praticamente em todo o planeta, tornou-se mais acessível ao consumidor mundial, quer seja por meio de incentivos governamentais, quer seja por escala de produção (Greenpeace, 2015).

Outras formas de geração de energia elétrica, através de fontes renováveis encontram algumas barreiras para a sua popularização, sejam elas disponibilidade de recursos, como no caso da energia eólica, que necessita da disponibilidade de ventos constantes, sejam elas da disponibilidade de recursos financeiros, considerando seu valor de investimento e retorno, como no caso de usinas maremotriz, as quais enfrentam também outros problemas de técnicos e estruturais. Por outro, no caso da energia gerada pelo biogás, há o fator disponibilidade de insumo como uma grande barreira para a sua popularização, pois há a necessidade das fontes geradoras estarem próximas aos locais de extração do insumo, aos quais encontram-se em regiões específicas, como plantas fabris, meio rural, aterros sanitários ou usinas de conversão de insumos agrícolas.

O Brasil, independente do setor, tem avançado bastante na utilização de fontes de energias renováveis através da possibilidade do consumidor final gerar a sua própria energia elétrica através da geração distribuída. Segundo a ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica), muitos países utilizaram a regulamentação da geração distribuída como plataforma para a sua

sustentabilidade econômica e social, pois há casos de países como a China e Alemanha em que as fontes de energia atuais, baseadas em fontes fósseis não renováveis, tornaram-se obsoletas para o seu avanço tecnológico e econômico.

No Brasil, através da Resolução nº 482/2012 da ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, foi permitido a todo consumidor gerar a sua própria energia através de fontes renováveis de energia. Posteriormente, ela foi alterada para a Resolução 687/2015, aumentando a possibilidade do usuário conectar à rede sistemas maiores, dependendo da tecnologia utilizada, pois até a regulamentação anterior só era permitido usinas de até 1 MW. Também outras alterações positivas foram criadas como: i) estabelecer prazos para a concessionária homologar e conectar o sistema a rede, com a possibilidade de aplicação de multas no caso de descumprimento, ii) criação do sistema compartilhado onde o cliente poderá se unir a um sistema de consórcio ou cooperativa e também a possibilidade de geração remota de energia.

A partir de então o usuário pode instalar a sua usina longe do local de consumo, desde que esta usina geradora estivesse instalada no mesmo estado e fosse atendido pela mesma concessionária atendida pelo local de consumo. Abriu-se então uma aderência maior ao público consumidor com as fontes possíveis de geração distribuída, principalmente a fonte solar e então a tecnologia passou a ser explorada amplamente por diversas empresas, estas chamadas integradoras, que desenvolvem o produto e entregam ao cliente sem este ter que se preocupar com nenhum entrave burocrático (Martins, 2017).

As fontes de energia renováveis, constituem exemplos reais para geração de energia elétrica em regiões rurais detentoras das fontes de insumo. Contudo, os custos de investimento para implantação de sistemas que utilizam esses recursos são altos, sendo primordial uma boa configuração dos recursos energéticos e da demanda elétrica, de maneira a configurar o sistema de geração que melhor atenda à demanda de energia com o menor custo.

Há regiões em que há viabilidade técnica e econômica para o uso de mais de uma fonte renovável, podendo ser as mesmas, dependendo da utilização, serem combinadas em um único arranjo, que em diversos casos pode mostrar-se bem atrativo financeiramente, além de seguro e ajustável. Neste ajuste têm-se a definição de sistema híbrido de energia, ou simplesmente sistema híbrido.

Define-se esse sistema como aquele que utiliza mais de uma fonte de energia que, dependendo da disponibilidade dos recursos, deve gerar e distribuir energia elétrica, de forma otimizada e com custos mínimos, a uma determinada carga ou a uma rede elétrica, isolada ou conectada a outras redes (Villalva, 2015).

Dada a possibilidade de uma fonte suprir a falta temporária de outra, esse tipo de sistema tem capacidade de operar com menor risco de interrupção.

Inúmeros sistemas híbridos de energia têm sido instalados em muitos países do mundo nas últimas quatro décadas, tanto para fornecer eletricidade para comunidades isoladas, para pequenos sistemas de bombeamento e dessalinização de água, refrigeração, entre outras aplicações rotineiras as quais são utilizadas comumente um sistema de energia renovável (solar) e um sistema de backup de energia (bateria ou gerador a diesel), assim como para sistemas mais complexos, como por exemplo os sistemas híbridos conectados à rede elétrica, como é o caso do arranjo híbrido - fotovoltaico e baterias - as quais estas são utilizadas como backup de energia e passam a serem utilizadas no horário de ponta onde o custo da energia é mais alto ou utilizadas para movimentar o carro elétrico para uso durante o dia. Essa solução é bastante comum em países europeus cuja regulamentação local já permite o seu uso e viabiliza o retorno financeiro.

A utilização dos sistemas híbridos teve seu início na década de 1970 (EPE, 2015), decorrente da busca de uma alternativa energética frente à crise do petróleo de 1973. Esses sistemas tiveram um importante papel na construção dos arcabouços de inúmeros outros sistemas ao redor do mundo, cuja principal finalidade, especialmente na década de 1980, era a redução do consumo de óleo combustível e, conseqüentemente, dos custos operacionais associados.

A partir do final da década de 1990, a inserção destes sistemas híbridos de energia passam também a ter como motivação a questão ambiental. Na mesma década, a maturidade das tecnologias fotovoltaica e eólica e o bom desempenho dos sistemas híbridos fotovoltaico-diesel e eólico-diesel abriram caminho para a combinação desses dois sistemas em um único, sistema híbrido fotovoltaico-eólico-diesel.

No início deste século, a IEA (International Energy Agency), previu a inserção das células a combustível nos sistemas híbridos, dada sua alta eficiência global na conversão de energia – elétrica e térmica – a partir do hidrogênio, desde que este possa ser obtido localmente, sem a necessidade de transportá-lo de outro local. A

partir de 2009 começaram os estudos em larga escala com células de lítio, principalmente LifePO (Lítio-Ferro-Fosfato), para utilização em veículos de tração ou mesmo em arranjos de sistemas de geração de energia isolados, sendo estes híbridos ou não (EPE, 2018).

A eficiência da utilização de arranjos híbridos, aliados a disponibilidade abundante de insumos para conversão da energia renovável, vem sendo um grande aliado na diminuição dos impactos ambientais negativos causados pelo crescimento populacional e industrial ao redor do planeta (ABGD, 2018).

Por outro lado, há diversos setores mapeados como causadores destes impactos ambientais com grande quantidade de GEE (gases de efeito estufa) produzidos.

O setor agropecuário está elencado como sendo um dos principais causadores de GEE. É um mercado em permanente evolução, pois paralelamente a ele acompanha o crescimento populacional e a expansão em seus sistemas produtivos, o que cria diversos problemas com o acréscimo às agressões ambientais por causa dos dejetos animais.

Os dejetos originários da agropecuária são encarregados por 20% das emissões de diversos gases poluentes na atmosfera, tendo uma quantidade extremamente significativa, se equiparado às indústrias, que representam 32% do total dos emissores (KONZEN, 2005). No meio das atividades agropecuárias a suinocultura é tida pelas entidades de fiscalização ambiental, a de maior impacto ambiental negativo. A grande dificuldade é conseguir um sistema ao qual tenha capacidade de combinar a perenidade dos trabalhos desta significativa estrutura de produção com a utilização lógica dos recursos naturais e a continuidade da qualidade ambiental.

O depósito em lagoas ou locais abertos não diminui a capacidade de contaminação dos dejetos de suínos, pois contribuem para a criação de gases nocivos, contaminações de recursos naturais e influenciam significativamente na questão ambiental e social no entorno dos grandes núcleos produtores de suínos (KONZEN, 2005).

A harmonização produtiva do ciclo de tratamento dos dejetos de suínos com biodigestores vem tendo grande destaque, por causa das questões sanitárias e também como proeminentes na produção de energia renovável, além de

disponibilizar possibilidades econômicas de reaproveitamento orgânico e de nutrientes (KONZEN, 2005).

A exploração do potencial energético dos dejetos da agropecuária através da tecnologia do biogás é somente um dos benefícios da biodigestão anaeróbia, sendo capaz também de serem elencados a diminuição de odores, erradicação de patógenos, redução da necessidade bioquímica de oxigênio (DBO), geração de biofertilizante de excelente qualidade, pouca produção de lodo, baixos custos operacionais e de capital investido e viabilidade de estruturas descentralizadas de tratamento de dejetos (OLIVEIRA, 2004).

FIGURA 1 - BIODIGESTOR MODELO LAGOA COBERTA APLICADO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DA SUINOCULTURA



FONTE: Imagem aérea – CIBiogás (2017)

Visando o melhor aproveitamento energético e ambiental, este estudo buscou analisar a viabilidade de aplicação de um sistema híbrido unindo duas tecnologias de energia renovável, sendo elas a energia solar fotovoltaica, fonte segura, tendo sua fonte abundante na região centro oeste e o biogás gerado através de biodigestores (FIGURA 1), instalado em uma granja de suínos, onde a fonte de geração de energia serão os dejetos do plantel de suínos.

O arranjo será conectado à rede da concessionária de energia elétrica através do sistema de compensação regulamentada pela Resolução ANEEL 482/2012 e 687/15.

Tal sistema é considerado seguro e complementar, já que a solar fotovoltaica possui uma fonte blindada pela frequência e intensidade da irradiação do sol e a do biogás é armazenável e despachável.

1.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os métodos de operação usados em sistemas híbridos (FIGURA 2) visam um atendimento intermitente e de qualidade, conforme o padrão requerido, assim como à diminuição da utilização de óleo combustível (diesel) e, portanto, dos custos operacionais do subsistema diesel-elétrico.

Normalmente, a operação dos sistemas híbridos é pautada no atendimento das unidades consumidoras, em princípio pela eletricidade originária das fontes de energia renováveis (Villalva, 2015). Contudo, dependendo do arranjo, em um sistema desconectado solar-bateria, caso ocorra uma continuidade de problemas causando falta do recurso renovável, reduzindo assim o estado de carga do banco de baterias, é relevante ter um grupo gerador a diesel como back-up, que será ativado automaticamente, com a finalidade de garantir a ininterrupção do serviço.

Assim que ativado, o gerador continuará conectado ao sistema até que o estado de carga do banco de baterias chegue a um determinado valor, que poderá ser indicado pelo nível de tensão do banco.

Uma técnica relativamente mais sofisticada, sendo inclusive uma melhoria da técnica utilizada na estratégia anterior, é a que também leva em consideração a potência demandada pela carga no instante do acionamento do grupo gerador (Villalva 2015). Nesta situação, o gerador é ativado quando o estado de carga do banco de baterias estiver baixo ou quando a potência demandada pelas cargas for muito alta. O fator de potência no qual o grupo gerador deverá ser acionado chama-se de potência crítica e é definida por uma associação excelente entre o custo da energia das baterias e o custo de operação do grupo gerador (Barley e Winn, 1996).

Outra estratégia de operação constitui no atendimento das cargas sincronicamente, tanto pelo subsistema de geração diesel-elétrica, quanto pela

energia gerada pelos geradores renováveis (operação em paralelo). Nesta técnica poderá ter ou não um sistema de armazenamento.

Grande parte dos sistemas híbridos estão implantados em áreas remotas, de difícil acesso e, basicamente, com carência de mão-de-obra qualificada para a operação destes sistemas (Greenpeace, 2015).

Esta ocorrência justifica a relevância da inserção de ferramentas automáticas que concedam a monitoração e o controle da operação do sistema, proporcionando desta maneira a diminuição dos custos operacionais e a sua confiabilidade.

O sistema de monitoração e controle, seja ele local ou remoto, deverá possuir as seguintes características (Guerreiro, 2018):

- Viabilidade de medições de grandezas elétricas CC (corrente contínua) e CA (corrente alternada) do sistema (tensão, corrente, e frequência de operação – lado CA) e de outras diversas variantes, como por exemplo, temperatura dos painéis solares e/ou das baterias (a temperatura está associada com a eficiência desses equipamentos), velocidade e direção do vento, densidade do ar, irradiância, quantidade e consumo de óleo diesel, gás, biomassa, velocidade angular (rpm) da turbina eólica, entre outras;
- Ajuste do ciclo de carga e descarga dos sistemas de armazenamento, a fim de impedir a redução de sua vida útil;
- Capacidade de armazenar as informações obtidas pelo sistema de monitoração;
- Definição de um sistema de proteção (chaves, disjuntores, relés) e alerta (luminoso e/ou sonoro), de modo a prevenir e identificar condições de contingências;
- Monitoração em tempo real das condições operacionais, bem como a previsão das mesmas através das informações coletadas;
- Capacidade de transmitir sinais de monitoração e comando via protocolo de comunicação.

FIGURA 2 - USINA HÍBRIDA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E EÓLICA



FONTE: Imagem aérea - ENGIE (2015)

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivos Geral

Analisar a viabilidade técnica, econômica e financeira na aplicação de uma usina de energia híbrida de energia solar fotovoltaica e biogás, conectadas à rede elétrica de energia, na modalidade geração distribuída, em uma granja de suinocultura localizada na região sudoeste do estado de Goiás a qual já possui um sistema biodigestor instalado e operando isoladamente.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Atender o consumo elétrico total da granja do produtor rural, dentro da regulamentação de energia atual, que se encontra impedido de ampliar seu plantel de suínos, por limitação de área e infraestrutura e dessa maneira sem poder ampliar o seu sistema de biodigestores atual e assim gerar mais energia.

- Conceituar a aplicabilidade do uso de energias renováveis no mercado de suinocultura.
- Conceituar como um sistema híbrido de energia renovável poderá trazer benefícios sociais e econômicos ao produtor rural.
- Estudar os dados econômicos para compreender o retorno financeiro do projeto. Entender a aplicação técnica de ambas as tecnologias sugeridas para sustentar a sua eficiência.

1.3 JUSTIFICATIVA

Este estudo foi baseado na utilização em paralelo de dois sistemas de energias renováveis, sendo eles a energia gerada através de um sistema de biodigestores, obtendo-se o biogás e a energia gerada através de um sistema de energia solar fotovoltaico.

O biogás é um significativo recurso renovável de energia com capacidade de complementar ou até mesmo substituir outras diversas fontes e que possui vantagens adicionais pelo tratamento e saneamento de efluentes e resíduos sólidos, isto é, possui o potencial de transformar um passivo ambiental em ativo financeiro.

Para os empresários que idealizam investimentos de longo prazo, é primordial que possuam um sinal de que este é um setor estratégico para o país. A respeito dos impactos positivos dos arranjos de biogás em setores como saneamento, agricultura, indústria, infraestrutura, meio ambiente, etc., os incentivos oficiais existentes não supõem estas particularidades, e não mostram sinergia entre si. De acordo com Amaro Pereira (FGV, 2016), é extremamente difícil desenhar um projeto faltando políticas específicas para o biogás, além do biometano já regulamentado pela Agência Nacional do Petróleo (ANP). Um exemplo disso é a possibilidade em transportar biogás bruto, sem retirada de CO₂ e outros elementos, em baixa pressão e por gasodutos particulares.

Este é um potencial existente e até já aplicado no Paraná, em um projeto executado pelo CIBiogás com recursos da COPEL em Entre Rios do Oeste (Agência de Notícias do Paraná - AEN, 2019), que pode ser replicado em outros estados desde que haja clareza sobre a interpretação da legislação e um bom modelo de negócios.

Demonstrando a importância do tratamento de resíduos sólidos no setor agropecuário brasileiro, segundo dados da ABPA (Associação Brasileira de Proteína Animal), a suinocultura vem se consolidando como uma das atividades econômicas mais importantes para o país. Geradora de empregos, renda e divisas, é determinante para o saldo positivo da balança comercial do agronegócio. Cerca de 70 países pelo mundo já conhecem o sabor da carne suína brasileira. No mercado interno ela é protagonista na segurança alimentar, como uma das proteínas mais consumidas e apreciadas no Brasil. Uma cadeia de milhões que movimenta bilhões. Conforme dados da ABGD (Associação Brasileira de Geração Distribuída), associado à figura deste produtor há o papel de protagonismo na emissão de gases poluentes na atmosfera e de grandes causadores de impactos ambientais negativos. Assim, ganham cada vez mais relevância as discussões sobre formas sustentáveis de tratamento dos passivos ambientais gerados por este mercado produtor.

A importância da possibilidade da aplicação no mercado suinocultor, de sistemas renováveis de energia, sejam eles sistemas fotovoltaicos ou de biodigestores, ou mesmo combinados entre si, como os sistemas híbridos, para maior eficiência de aplicabilidade e atendimento total da demanda, torna-se ainda mais perceptível diante do crescimento exponencial do Brasil no cenário mundial de fornecimento de proteína animal e principalmente pelos recentes episódios relacionados à crise climática e hídrica do planeta.

Os sistemas elétricos projetados no hibridismo da geração de energia renovável (e não renovável) com a alternativa, dependendo do arranjo, de acumulação de energia, como baterias e sistemas de biodigestores, refletem hoje uma possibilidade madura para o fornecimento de energia, devido especialmente a:

- Progresso na conversão elétrica de energia pelo meio do desenvolvimento da eletrônica de potência;
- Avanço no desenvolvimento de programas computacionais para simulação e análise de sistemas híbridos (Hybrid 2, Homer, Vipor entre outros.);
- Constante aumento da eficiência e robustez dos equipamentos geradores (principalmente dos módulos fotovoltaicos, aerogeradores e sistemas de biodigestão);
- Desenvolvimento de sistemas de controle automático mais confiáveis;

- Desenvolvimento de tecnologia mais segura e eficiente de acumuladores de energia para sistemas de eletrificação com fontes renováveis.

Contudo, assim como qualquer outro arranjo de geração de energia elétrica, o uso dos sistemas híbridos apresenta vantagens e desvantagens. A determinação dessas características, adquiridos através de uma análise qualitativa de fatores técnicos, econômicos, ambientais e sociais, estão listadas abaixo:

EVENTO	VANTAGEM	DESVANTAGEM
LOCAL DE IMPLANTAÇÃO	Recursos energéticos – utilização dos recursos que estão disponíveis no local.	Recursos energéticos – a disponibilidade energética dos recursos precisa ser favorável para geração de eletricidade.
EQUIPAMENTO E INVESTIMENTO	Flexibilidade – sistemas facilmente ampliáveis, devido à modularidade dos subsistemas de geração – arranjos complementares de geração e armazenamento.	Investimento inicial – bastante elevado em face da necessidade da importação dos principais equipamentos de geração.
OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	Sistemas independentes – não precisam estar ligados à rede de energia elétrica convencional. Confiabilidade – pouca necessidade de manutenção para as tecnologias de geração renovável, exceto biogás, e sua redução para os sistemas diesel-elétricos de pequeno porte e células lithium em eletrocenter devidamente equipado. Geração – proximidade da carga a ser atendida (geração descentralizada). Qualidade de energia – qualidade melhor da energia fornecida, em comparação com a convencional.	Sistema de armazenamento – necessidade de armazenamento de energia, em função da intermitência das fontes primárias. Baterias – ciclo de vida relativamente curto, quando utilizadas tecnologia chumbo ácida, comparado aos demais equipamentos do sistema. Sistema de controle – pode ser bastante complexo, dependendo do porte do sistema.
QUESTÕES AMBIENTAIS	Sistema comissionado – ambientalmente benigno, dado o baixo nível de emissão de CO ₂ e outros gases, comparado à geração exclusivamente a partir de combustíveis fósseis.	Baterias - descarte e reciclagem das baterias são pontos fracos. Porte do sistema - para sistemas de grande porte tem-se a ocupação de grandes áreas (arranjo fotovoltaico), além do aspecto visual (aerogeradores).
ORGANIZAÇÃO	Usuários - completamente adaptável às necessidades energéticas dos usuários.	Usuários - necessidade de maior envolvimento do usuário com os sistemas durante e após a implantação, através do uso racional da energia.

2 METODOLOGIA

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo baseou-se em uma pesquisa qualitativa, de caráter exploratório, por meio de pesquisa de campo para colher dados técnicos na granja de suínos objeto do estudo, localizada na região de Rio Verde no estado de Goiás e também de pesquisa de relatórios técnicos da CIBiogás, Probiogás e órgãos técnicos do setor de energia.

A coleta de dados, para verificação de demandas elétricas da granja, histórico de consumo, análise do arranjo do sistema elétrico já instalado no consumidor, assim como os custos de energia elétrica para verificação da viabilidade financeira do arranjo técnico, foram extraídas de faturas de energia do Sr. Carlos Alberto Brands, (FIGURAS 3 – 4) proprietário da Granja São João, para verificação de histórico de consumo, análise financeira do investimento e demandas energéticas.

FIGURA 3 - FATURA DE ENERGIA DO ANO 2018

DADOS DA UNIDADE CONSUMIDORA / MEDIÇÃO / CONTRATO

ATIVIDADE

CRIAÇÃO DE SUÍNOS

CLASSE / TIPO DE LIGAÇÃO

RURAL TRIFÁSICO (26 KW EM DIANTE)

VENCIMENTO BASE

06/11/2018

DADOS DA MEDIÇÃO

MÊS DE REFERÊNCIA

10/2018

DEMANDA

140

DATA DA LEITURA ATUAL

25/10/2018

Nº MEDIDOR KWh/KW

DATA DA LEITURA ANTERIOR

26/09/2018

Nº MEDIDOR KVarth/Qh

DATA DA PRÓXIMA LEITURA

27/11/2018

Nº MEDIDOR ELETRÔNICO

11555831-4

NÚMERO

CUSD C 1293/2017

DATA DA APRESENTAÇÃO

01/11/2018

FM

80

TIPO

FORNECIMENTO

NÚMERO DE DIAS

29

IND PERDA

2,5%

VALIDADE

05/04/2019

MÉDIA/DIAS

603,0831

LANÇAMENTOS

PRODUTO	QUANTIDADE	TARIFA	VALOR	PRODUTO	QUANTIDADE	TARIFA	VALOR
UFER FP	258,3	0,332970	*****86,00	DMCR	1,89	17,132080	*****32,45
DESCONTO RURAL 10%		0,000000	*****770,61	DESCONTO RURAL 10%		0,000000	*****87,44
DEMANDA ULTRAPASSAGEM 2X	9,1744	34,264160	*****314,35	DEMANDA	149,1744	17,132080	****2.555,66
CONSUMO P	30,79	1,609440	*****49,55	CONSUMO HR	6578,04	0,368980	****2.427,16
CONSUMO FP	10880,58	0,368980	****4.014,71	ADICIONAL BANDEIRA VERMELHA P	30,79	0,060740	*****1,87
ADICIONAL BANDEIRA VERMELHA FP	10880,58	0,060740	*****660,88	ADICIONAL BANDEIRA VERMELHA HR	6578,04	0,060740	*****399,55

PERÍODO	MÉTODO DE FATURAMENTO	CONSUMO FATURADO TOTAL (kWh)	DEMANDA FATURADA (kW)			UFER FATURADA TOTAL (kVarh)	DMCR FATURADA (kVar)		
			MÁXIMA	PONTA	FORA PONTA		MÁXIMA	PONTA	FORA PONTA
OUT / 18	LIDA	17489,41	149,1744	0,0000	0,0000	258,30	1,8942	0,0000	0,0000
SET / 18	LIDA	26792,57	157,6368	0,0000	0,0000	145,14	0,0000	0,0000	0,0000
AGO / 18	LIDA	48613,46	171,9048	0,0000	0,0000	528,90	0,0000	0,0000	0,0000
JUL / 18	LIDA	45224,36	164,6232	0,0000	0,0000	509,22	0,0000	0,0000	0,0000
JUN / 18	LIDA	45907,85	174,8568	0,0000	0,0000	411,70	2,0418	0,0000	0,0000
MAI / 18	LIDA	42386,09	163,5408	0,0000	0,0000	804,76	0,0000	0,0000	0,0000
ABR / 18	LIDA	44155,03	166,6896	0,0000	0,0000	1036,10	0,0000	0,0000	0,0000
MAR / 18	LIDA	43468,61	163,9344	0,0000	0,0000	990,56	0,0000	0,0000	0,0000
FEV / 18	LIDA	48907,62	170,5272	0,0000	0,0000	1000,13	0,0000	0,0000	0,0000
JAN / 18	LIDA	48526,18	163,3440	0,0000	0,0000	756,17	0,0000	0,0000	0,0000
DEZ / 17	LIDA	71388,70	169,5432	0,0000	0,0000	339,48	0,0000	0,0000	0,0000
NOV / 17	LIDA	61511,34	193,9464	0,0000	0,0000	430,50	0,0000	0,0000	0,0000

PERÍODO	CONSUMO LIDO (kWh)			DEMANDA LIDA (kW)		
	PONTA	FORA PONTA	HOR. RES.	PONTA	FORA PONTA	HOR. RES.
OUT / 18	30,79	10880,58	6578,04	71,9304	149,1744	70,8480
SET / 18	1698,11	18804,24	6290,22	89,6424	157,6368	70,7496
AGO / 18	3755,36	36425,22	8432,88	90,4296	171,9048	60,5160
JUL / 18	3674,96	34312,08	7237,32	80,4912	164,6232	54,8088
JUN / 18	3290,81	35266,56	7350,48	94,0704	174,8568	63,2712
MAI / 18	3286,85	32887,74	6211,50	79,8024	163,5408	54,3168
ABR / 18	3144,37	34543,32	6467,34	88,1664	166,6896	55,1040
MAR / 18	3392,75	33005,82	7070,04	95,8416	163,9344	57,0720
FEV / 18	3267,24	37768,38	7872,00	86,1000	170,5272	104,2056
JAN / 18	3842,74	36334,20	8349,24	98,5968	163,3440	88,0680
DEZ / 17	5534,50	51674,76	14179,44	112,0776	169,5432	102,3360
NOV / 17	4889,52	45224,64	11397,18	103,3200	193,9464	112,4712

FONTE: Dados fornecidos pelo proprietário da granja

FIGURA 4 - FATURA DE ENERGIA DO ANO 2019

DADOS DA UNIDADE CONSUMIDORA / MEDIÇÃO / CONTRATO

ATIVIDADE
CRIAÇÃO DE SUINOS
CLASSE / TIPO DE LIGAÇÃO
RURAL TRIFÁSICO (26 kW EM DIANTE)
VENCIMENTO BASE
06/12/2019

DADOS DA MEDIÇÃO

MÊS DE REFERÊNCIA	11/2019			DEMANDA	164
DATA DA LEITURA ATUAL	28/11/2019	Nº MEDIDOR kWh/kW			
DATA DA LEITURA ANTERIOR	28/10/2019	Nº MEDIDOR KVarh/Oh			
DATA DA PRÓXIMA LEITURA	27/12/2019	Nº MEDIDOR ELETRÔNICO	11555831-4	NÚMERO	CUSD C 4616/2018
DATA DA APRESENTAÇÃO	04/12/2019	FM	80	TIPO	CUSD CATIVO
NÚMERO DE DIAS	31	IND PERDA	2,5%	VALIDADE	05/11/2020
MÉDIA/DIAS	579,3284				

LANÇAMENTOS

PRODUTO	QUANTIDADE	TARIFA	VALOR	PRODUTO	QUANTIDADE	TARIFA	VALOR
UFER FP	437,88	0,303970	*****133,10	UFER P	60,66	0,303970	*****18,43
PARCELA TE P	217,66	0,486510	*****105,89	PARCELA TE FP	11190,54	0,287390	*****3.216,04
PARCELA TE HR	6550,98	0,287390	*****1.882,68	DESCONTO RURAL 08%		0,000000	*****-671,57
DESCONTO RURAL 08%		0,000000	*****-56,17	DEMANDA	129,0024	21,628250	*****2.790,09
DADOS DE MEDIÇÃO - MEMÓRIA DE MASSA		0,000000	*****58,90	CONSUMO P	217,66	1,432740	*****311,85
CONSUMO HR	6550,98	0,098450	*****644,94	CONSUMO FP	11190,54	0,098450	*****1.101,70
DIF. COMPENS. FIC 4 TRIMESTRE 2016		0,000000	***-3.141,34	COMPENSAÇÃO DE DIC MENSAL		0,000000	***-4.296,84
DIF. COMPENS. FIC ANUAL 2016		0,000000	***-2.282,01	ATUALIZ. IGPM FIC 4 TRIM/2016		0,000000	*****-380,16
ATUALIZ. IGPM FIC ANUAL/2016		0,000000	*****-276,16	AD. BAND. AMARELA PARCELA TE P	217,66	0,001730	*****0,37
AD. BAND. VERMELHA PARCELA TE P	217,66	0,045080	*****9,81	AD. BAND. AMARELA PARCELA TE FP	11190,54	0,001730	*****19,35
AD. BAND. VERMELHA PARCELA TE FP	11190,54	0,045080	*****504,46	AD. BAND. AMARELA PARCELA TE HR	6550,98	0,001730	*****11,33
AD. BAND. VERMELHA PARCELA TE HR	6550,98	0,045080	*****295,31				

PERÍODO	MÉTODO DE FATURAMENTO	CONSUMO FATURADO TOTAL (kWh)	DEMANDA FATURADA (kW)			UFER FATURADA TOTAL (kVarh)	DMCR FATURADA (kVar)		
			MÁXIMA	PONTA	FORA PONTA		MÁXIMA	PONTA	FORA PONTA
NOV / 19	LIDA	17959,18	129,0024	0,0000	0,0000	498,54	0,0000	0,0000	0,0000
OUT / 19	LIDA	38946,08	151,7328	0,0000	0,0000	232,76	0,0000	0,0000	0,0000
SET / 19	LIDA	35855,18	155,2752	0,0000	0,0000	120,85	0,0000	0,0000	0,0000
AGO / 19	LIDA	22804,56	150,9456	0,0000	0,0000	81,27	0,0000	0,0000	0,0000
JUL / 19	LIDA	28016,42	139,8264	0,0000	0,0000	81,18	0,0000	0,0000	0,0000
JUN / 19	LIDA	34787,86	147,6000	0,0000	0,0000	66,42	0,0000	0,0000	0,0000
MAI / 19	LIDA	22642,92	143,7624	0,0000	0,0000	54,14	0,0000	0,0000	0,0000
ABR / 19	LIDA	26767,23	149,8632	0,0000	0,0000	63,98	0,0000	0,0000	0,0000
MAR / 19	LIDA	33456,68	153,6024	0,0000	0,0000	161,00	0,0000	0,0000	0,0000
FEV / 19	LIDA	30904,90	148,4856	0,0000	0,0000	186,96	0,0000	0,0000	0,0000
JAN / 19	LIDA	18475,23	146,3208	0,0000	0,0000	137,09	0,0000	0,0000	0,0000
DEZ / 18	LIDA	23948,10	164,1312	0,0000	0,0000	206,64	0,0000	0,0000	0,0000
NOV / 18	LIDA	32943,23	180,9576	0,0000	0,0000	420,26	0,0000	0,0000	0,0000
PERÍODO	CONSUMO LIDO (kWh)			DEMANDA LIDA (kW)			HOR. RES.		
	PONTA	FORA PONTA	HOR. RES.	PONTA	FORA PONTA	HOR. RES.			
NOV / 19	217,66	11190,54	6550,98	80,7864	129,0024	73,2096			
OUT / 19	1266,26	28430,22	9249,60	101,5488	151,7328	84,6240			
SET / 19	1801,40	25532,34	8521,44	91,6104	155,2752	77,8344			
AGO / 19	312,78	14708,34	7783,44	76,4568	150,9456	64,7472			
JUL / 19	1266,38	19736,58	7013,46	82,5576	139,8264	57,5640			
JUN / 19	2158,42	25726,68	6902,76	86,5920	147,6000	64,1568			
MAI / 19	645,60	15820,26	6177,06	75,9648	143,7624	87,6744			
ABR / 19	501,81	20063,76	6201,66	64,4520	149,8632	65,7312			
MAR / 19	1107,68	24181,80	8167,20	73,3080	153,6024	63,4680			
FEV / 19	974,08	21224,88	8705,94	71,3400	148,4856	93,0864			
JAN / 19	610,71	11402,10	6462,42	101,6472	146,3208	98,9904			
DEZ / 18	0,00	16969,08	6979,02	0,0000	164,1312	110,5032			
NOV / 18	677,87	24058,80	8206,56	70,2576	180,9576	126,6408			

FONTE: Dados fornecidos pelo proprietário da granja

2.2.1 Cálculo Sistema de Energia Solar Fotovoltaico

Consumo mensal granja:	<i>17.000 kWh/mês</i>
Irradiação Rio Verde/GO:	<i>5,75 Wh/m²</i> <i>insolação obtida pelo site SWERA para</i> <i>Latitude: 17° 47' 53" S e Longitude: 50°</i> <i>55' 41" W</i>
Eficiência módulo fotovoltaico de 345W:	<i>21%</i>

Portanto para sabermos o tamanho da usina fotovoltaica que atenderá a demanda da granja:

Nome	Valor	Unidade
Consumo mensal / dias mês	17.000/30	567 kW / dia
Watts dia / irradiação local	567 / 5,75	98.550,72 Watts
Watts dia / eficiência módulo	98.550,72 / 0,79	124.748 Watts
Watts eficiência módulo x fator proteção	124.748 x 11,5%	139.094 Watts corrigido
Watts corrigido / potência módulo solar	139.094 / 345	403 (quantidade de módulos de 345 Watts)
Número de módulo fotovoltaicos x potência de cada módulo fotovoltaico	403 x 345	139.035 kWp

Arredondando a potência teremos uma usina de energia solar fotovoltaica de 140 kWp (kilowatt pico).

3 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

3.1 DESCRIÇÃO TÉCNICA

Para levantamento da potência total do sistema foi analisada a fatura da concessionária de energia para verificar o histórico do consumo da granja no ano de 2018, ano em que ainda não havia sido instalado o biodigestor e posteriormente foi comparado com a fatura atual de energia no ano de 2019. Como a geração de energia do sistema biodigestor está funcionando isoladamente, ou seja, desconectado do sistema de energia da concessionária, foi constatado que a granja consumia anterior a implantação do sistema biodigestor o equivalente a 71.000 kWh/mês. A partir do uso dos geradores este consumo diminuiu para 17.000 kWh/mês, portanto atualmente há um sistema biodigestor na propriedade que está

suprindo cerca de 54.000 kWh/mês do consumo de energia total. Considerando que, conforme informações fornecidas pelo proprietário da granja, a quantidade de gás produzido é de 1.310 m³ / dia e que os geradores operam durante 13 horas há o seguinte cenário atual:

Onde

Eg = Energia gerada no período - kWh

Vd = Volume diário de biogás - m³/h

Fc = Fator de conversão - kWh/m³

n = rendimento - % (percentual)

Egi = Energia gerada de forma isolada no período - kWh

Kcal = Quilocaloria (valor energético)

Equação cálculo potencial de geração de energia

$$Eg = Vd \times Fc = 1.310 \text{ m}^3 \times 1,4 \text{ kWh/m}^3 = \mathbf{1.834 \text{ kWh/dia}}$$

Equação cálculo potencial de geração de energia isolado (Egi)

$$Egi = Vd \times Kcal \times n \text{ (rendimento porcentagem)}$$

$$Egi = 1.310 \text{ m}^3 \times 5,74 \text{ Kcal} \times 23,99\% = \mathbf{1.804 \text{ kWh/dia}}$$

$$Egi \text{ mês} = 1804 \text{ kWh/dia} \times 30 \text{ dias} = \mathbf{54.120 \text{ kWh/mês}}$$

Portanto o sistema híbrido contará com um sistema biodigestor, que já se encontra implantado na Granja São João, funcionando isoladamente, com 2 geradores produzindo um total de 54.120 kWh/mês, e o restante do consumo de energia da fazenda será abastecido por um sistema fotovoltaico ao qual, de acordo com as informações obtidas em fatura de energia e localização e cálculo demonstrado anteriormente.

Tendo a geração e potência de ambos os sistemas de energia renovável, houve a possibilidade de compor o sistema híbrido (FIGURA 5). Este será composto por um biodigestor do tipo lagoa coberta, que já se encontra instalado na

propriedade, com homogeneizador por bomba e dois geradores de 108 kVA da marca LEÃO LGB120 (108 kVA / 87 kW - Potência Prime), um sistema de energia solar fotovoltaica com a capacidade de 139,04 kW, a ser implantado no mesmo barramento do sistema biodigestor, que será composto por 403 módulos fotovoltaicos com a capacidade de 345 Watts de potência cada, da marca TRINA modelo TALLMAX345, dois inversores da marca SUNGROW modelo SG60KTL-M, um sistema de supervisão (gerenciamento e monitoramento de energia) da marca Follow Energy desenvolvido pela ENGIE, um sistema UAC (Unidade Automática de Controle) Sicam A8000, com capacidade de processamento para fazer lógicas de controle suficiente para atender as lógicas referentes ao sistema microgrid. Essa UAC irá requisitar as medições de potência, sinais de supervisão e pontos que forem necessários para se fazer a lógica via comunicação com os equipamentos que forem necessários definidos nesta solução.

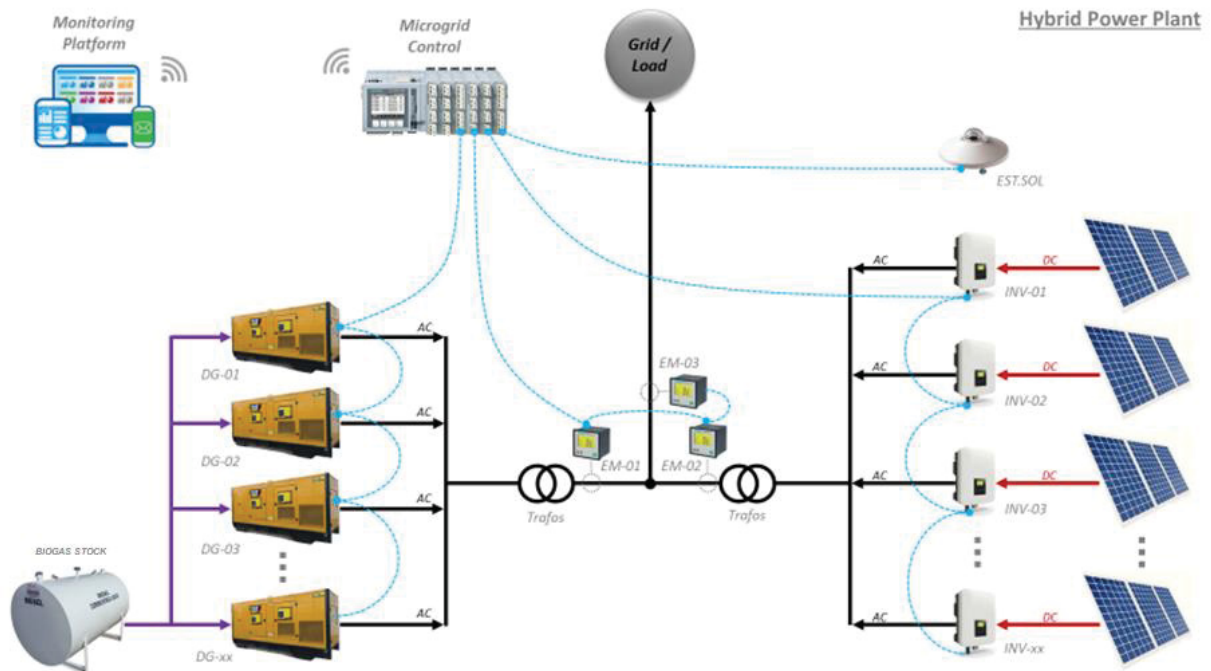
O sistema de controle de geração que será desenvolvido deve agir nos sistemas de controle de geração do biogás e no sistema de geração solar de forma a medir suas potências e definir *set points* necessários para reconfigurações da geração.

Não serão enviados comandos aos reguladores de tensão e velocidade com requisição de aumento ou diminuição. Será sim enviado *set point* de potência para que os controladores principais atuem nos seus sistemas.

Será previsto um sistema de supervisão utilizando o software WinCC que será instalado em um servidor que ficará na sala de comando da contratante. Esse sistema irá se comunicar com a UAC aquisitando todos os dados necessários para a supervisão. Os comandos necessários para o controle serão enviados do sistema supervisorio para a UAC utilizando esse mesmo meio de comunicação.

Nesse mesmo servidor do sistema WinCC será previsto um sistema com relatório de energia e historiador, com armazenamento temporal.

FIGURA 5 - ESTRUTURA TÉCNICA DE UM ARRANJO HÍBRIDO BIOGÁS E ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA



FONTE: O autor (2020)

3.1.1 FUNCIONALIDADES GERAIS DA SOLUÇÃO

- Será realizado o controle de potência do sistema entre a geração de biogás, solar e carga
- Será feita a supervisão de inversor unitariamente (02 inversores) conforme projeto atual;
- Serão feitas lógicas de despacho de potência reativa entre a geração biogás e o sistema fotovoltaico;
- Poderá ser feita definição do ponto ótimo da geração biogás;
- Será feito relatórios de energia com historiador que será armazenado por tempo.

3.2 SISTEMA DE CONTROLE DE USINA HÍBRIDA

3.2.1. Comunicação entre geração biogás e UAC

A comunicação entre a UAC e o sistema biodigestor será via Modbus TCP/IP, comunicando diretamente com o DSE8610 MKII que faz o controle do sistema de gerador biogás. Todos os dados necessários a lógicas, supervisão, comandos, *set points*, serão requisitados diretamente desse equipamento DSE8610. Não haverá comunicação com os demais equipamentos individuais do sistema de geração biogás.

Qualquer ponto que necessite ser supervisionado dos sistemas individuais biogás tem que ser enviado para o DSE primeiramente para que dele seja enviado para a UAC A8000.

A comunicação deve necessariamente ser via TCP/IP devido a necessidade de se ter mais velocidade na comunicação.

3.2.2 Comunicação entre geração solar e UAC

Deverá ser instalado um medidor com comunicação em Modbus TCP/IP para que sejam requisitadas todas as medições analógicas de potência geral do sistema solar necessárias a lógica de controle de potência. Deve ser previsto do lado do contratante a instalação de TC e TP para que se possa fazer aquisição da medição geral do sistema de geração Solar. Esse medidor deve ter comunicação em Modbus TCP/IP necessariamente devido à velocidade de comunicação do sistema.

Os demais dados referentes aos inversores serão requisitados pela UAC através de uma comunicação Modbus RTU. Será feita uma rede entre todos os inversores e esse deve ser levado a UAC através de uma rede em RS485. Necessariamente estes inversores devem estar próximos uns dos outros e estar próximo da UAC, isso para preservar uma velocidade mínima de comunicação entre os equipamentos.

3.2.3 Comunicação entre estação solarimétrica e UAC

Essa comunicação deve ser feita via Modbus RTU. Esses dados serão requisitados para se fazer a supervisão da estação solarimétrica e também para se gerar lógicas de performance.

3.2.4 Comunicação entre UAC e sistema de supervisão

Deverá ser previsto um sistema de comunicação via fibra para que se possa comunicar a UAC com o servidor do sistema supervisório que ficarão em salas separadas. Esse sistema de comunicação está fora do escopo da contratada.

A comunicação será feita utilizando o protocolo MMS previsto na norma IEC61850, onde através dela irão trafegar todos os dados necessários para se fazer a supervisão ou comandos necessários ao controle do sistema de gerenciamento de geração.

3.2.5 Sistema supervisório

O sistema de operação e visualização proposto possui um sistema Sicam SCC. Este sistema oferece ao operador tanto a visão geral quanto os detalhes em formato gráfico da instalação elétrica e de seus equipamentos, possuindo suporte do tipo mensagens de eventos e alarmes. O sistema também é responsável por disponibilizar as informações de estado de equipamentos, defeito de vários tipos, posição indefinida, falta de alimentação e outras variantes.

Todos os alarmes operacionais gerados pelos dispositivos de controle e proteção do nível 1 serão sinalizados no supervisório, via protocolo IEC61850. Além das funcionalidades mencionadas acima, o sistema também provê a possibilidade de utilizar todas as informações adquiridas para geração de relatórios de rateio e consumo, de acordo com a necessidade do operador.

3.3 ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Para o cálculo de viabilidade econômica do arranjo foi tomado como base os cálculos de *payback* e TIR (taxa interna de retorno) de um investimento, que pode ser entendida, para fins comparativos, como a taxa de juros de uma aplicação financeira e o VPL (valor presente líquido) que é uma fórmula de orçamento de capital que calcula a diferença entre o valor presente das entradas e saídas de caixa de um projeto ou investimento em potencial.

No estudo de *payback* o indicador tempo de vida da planta foi definido em 25 anos e analisado o retorno tendo como premissa o custo total do sistema (R\$

3.016.351,34) multiplicado pelo custo da energia com impostos (R\$ 0,492 / kWh), custo da tarifa de demanda (R\$ 27,573 / kW) e projeção tarifária de IPCA + 3% a.a. Em seguida, tendo estes indicadores como base do estudo, foi alcançado o resultado (FIGURA 9).

O cálculo da TIR foi realizado somando cada entrada do fluxo de caixa menos o investimento inicial, em que este valor seja igual a zero, através da fórmula:

$$\sum_{i=1}^n \frac{FC_i}{(1 + TIR)^i} - \text{Investimento inicial} = 0$$

FC = fluxos de caixa

i = período de cada investimento

N = período final do investimento

O resultado da TIR (FIGURA 11) foi de 27,94%, considerando o dinheiro no tempo a uma taxa de desconto de 6,40%.

Para o cálculo do VPL PL foi utilizado a seguinte fórmula:

$$VPL = FC_0 + FC_1 / (1 + TMA) + FC_2 / (1 + TMA)^2 + \dots + FC_n / (1 + TMA)^n$$

$$n=0 \text{ a } N = FC_n / (1 + TMA)^n$$

TMA – Taxa Mínima de Atratividade

FC₀ – Representa o fluxo de caixa no início da operação (período zero).

3.4 ANÁLISE VIABILIDADE ECONÔMICA

FIGURA 6 - RESULTADO DE ANÁLISE DE PAYBACK

PAYBACK:	Economia na Conta de Luz:	
Seu sistema poderá se pagar em:	Você poderá deixar de pagar até:	Você poderá economizar aproximadamente
entre 5 e 6 anos	95 %	R\$ 524.200
	de sua Conta de Luz antiga.	apenas no primeiro ano de operação.

Fonte: O autor (2020)

Conforme demonstrativo acima (FIGURA 6) e detalhado na tabela abaixo (FIGURA 7) o payback se dará entre o ano 5 e o ano 6 após implantação do projeto. Mais precisamente no mês 61. Após a instalação do sistema híbrido o cliente deixará de pagar cerca de 95% da sua fatura de energia anterior, pois não há como realizar o abatimento de 100% conforme regulamentação de geração distribuída vigente pois há que se pagar demanda e ou taxa de disponibilidade.

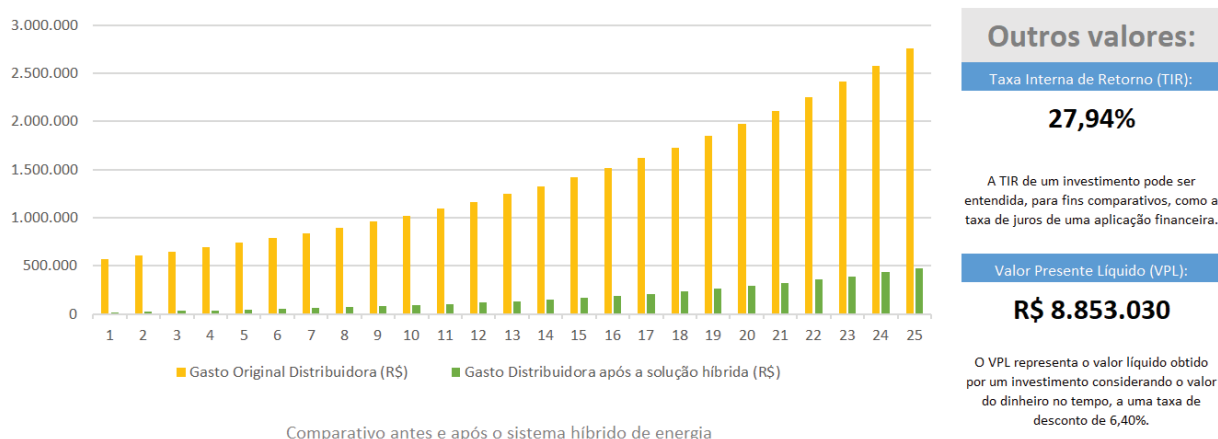
O produtor rural, ao instalar o arranjo técnico proposto, deixará de pagar somente no primeiro ano R\$ 524.267,00, tendo valores graduais crescentes de economia no decorrer dos anos de produção de energia (FIGURA 8).

FIGURA 7 - RETORNO FINANCEIRO NO PERÍODO DE 25 ANOS

Ano	Consumo (em kWh)	Produção do Sistema Híbrido (em kWh)	Consumo sem Sistema Híbrido (em R\$)	Consumo com Sistema Híbrido (em R\$)	Benefício (R\$)	Desconto ICMS (R\$)	Investimento (em R\$)	Fluxo de Caixa Acumulado (em R\$)
1	71.000	834.997	R\$ 566.613	R\$ 11.308	R\$ 524.267	R\$ -	-R\$ 3.016.351	-R\$ 2.492.084
2	71.000	818.297	R\$ 607.505	R\$ 24.032	R\$ 552.414	R\$ -	R\$ -	-R\$ 1.939.670
3	71.000	812.978	R\$ 650.100	R\$ 29.775	R\$ 587.845	R\$ -	R\$ -	-R\$ 1.351.825
4	71.000	807.694	R\$ 693.746	R\$ 36.077	R\$ 623.810	R\$ -	R\$ -	-R\$ 728.016
5	71.000	802.444	R\$ 739.625	R\$ 43.020	R\$ 661.355	R\$ -	R\$ -	-R\$ 66.660
6	71.000	797.228	R\$ 788.688	R\$ 50.702	R\$ 701.297	R\$ -	R\$ -	R\$ 634.637
7	71.000	792.046	R\$ 841.186	R\$ 59.193	R\$ 743.815	R\$ -	R\$ -	R\$ 1.378.452
8	71.000	786.897	R\$ 897.389	R\$ 68.571	R\$ 789.100	R\$ -	R\$ -	R\$ 2.167.552
9	71.000	781.783	R\$ 957.514	R\$ 78.913	R\$ 837.293	R\$ -	R\$ -	R\$ 3.004.845
10	71.000	776.701	R\$ 1.021.866	R\$ 90.312	R\$ 888.606	R\$ -	R\$ -	R\$ 3.893.451
11	71.000	771.652	R\$ 1.090.690	R\$ 102.857	R\$ 943.195	R\$ -	R\$ -	R\$ 4.836.646
12	71.000	766.637	R\$ 1.164.354	R\$ 116.659	R\$ 1.001.320	R\$ -	R\$ -	R\$ 5.837.966
13	71.000	761.654	R\$ 1.243.164	R\$ 131.826	R\$ 1.063.179	R\$ -	R\$ -	R\$ 6.901.144
14	71.000	756.703	R\$ 1.327.495	R\$ 148.482	R\$ 1.129.024	R\$ -	R\$ -	R\$ 8.030.169
15	71.000	751.784	R\$ 1.417.732	R\$ 166.760	R\$ 1.199.110	R\$ -	R\$ -	R\$ 9.229.279
16	71.000	746.898	R\$ 1.514.304	R\$ 186.804	R\$ 1.273.723	R\$ -	-R\$ 601.947	R\$ 9.901.055
17	71.000	742.043	R\$ 1.617.671	R\$ 208.773	R\$ 1.353.168	R\$ -	R\$ -	R\$ 11.254.223
18	71.000	737.219	R\$ 1.728.331	R\$ 232.839	R\$ 1.437.772	R\$ -	R\$ -	R\$ 12.691.995
19	71.000	732.428	R\$ 1.846.748	R\$ 259.179	R\$ 1.527.830	R\$ -	R\$ -	R\$ 14.219.826
20	71.000	727.667	R\$ 1.973.466	R\$ 287.990	R\$ 1.623.692	R\$ -	R\$ -	R\$ 15.843.517
21	71.000	722.937	R\$ 2.109.066	R\$ 319.486	R\$ 1.725.732	R\$ -	R\$ -	R\$ 17.569.249
22	71.000	718.238	R\$ 2.254.172	R\$ 353.900	R\$ 1.834.347	R\$ -	R\$ -	R\$ 19.403.597
23	71.000	713.569	R\$ 2.409.449	R\$ 391.481	R\$ 1.949.962	R\$ -	R\$ -	R\$ 21.353.559
24	71.000	708.931	R\$ 2.575.611	R\$ 432.500	R\$ 2.073.028	R\$ -	R\$ -	R\$ 23.426.587
25	71.000	704.323	R\$ 2.753.420	R\$ 477.250	R\$ 2.204.024	R\$ -	R\$ -	R\$ 25.630.611

Fonte: O autor (2020)

FIGURA 08 - GRÁFICO COMPARATIVO ANTES E DEPOIS DE IMPLANTADO O SISTEMA



Fonte: O autor (2020)

O gráfico comparativo antes e depois do sistema híbrido instalado (FIGURA 8) mostra que o produtor rural terá uma TIR (Taxa Interna de Retorno), considerando um IPCA de 3% ao ano de 27,94%, ou seja, esta taxa seria a taxa de investimento, caso o sistema híbrido fosse um produto financeiro, para o seu investidor. Abaixo (FIGURA 09) está o resumo do demonstrativo da análise financeira do sistema híbrido. Nota-se que para fins de equivalência, os cálculos foram realizados levando em consideração o tarifário Bandeira Vermelha - Patamar 1, pois essa seria a média anual de cálculo entre o pior cenário de geração de energia (estiagens prolongadas - bandeira vermelha patamar 2) e o melhor cenário possível (bandeira verde).

FIGURA 09 - DEMONSTRATIVO ANÁLISE FINANCEIRA SISTEMA HÍBRIDO

Capacidade do Sistema:	SISTEMA HÍBRIDO UFV+UBIO 71.000 KWH/MÊS
PAYBACK:	5 anos e 1 meses
Valor Presente Líquido (VPL):	R\$ 8.853.030,35
Taxa de desconto	6,40%
TIR:	27,94%
Conta de Luz Antiga média:	R\$ 47.217,71
Conta de Luz Nova média:	R\$ 942,32
Equivalência da Conta de Luz:	2,00%
Bandeira Tarifária no 1o Ano	Vermelha - Patamar 1
Projeção Tarifária:	IPCA + 3%

Fonte: O autor (2020)

4 CONCLUSÃO

Após pesquisas realizadas com bibliografias, metodologia utilizadas em sistemas híbridos pré-existent e arranjos técnicos consolidados, obteve-se um projeto de um sistema híbrido com capacidade técnica para atender a demanda do produtor rural, sendo conectado em geração distribuída, a qual 30% da produção será injetada na rede.

Ressalta-se que o sistema gerador de biogás (biodigestor) já está instalado na propriedade funcionando isoladamente e o sistema de energia solar fotovoltaico será instalado no mesmo barramento do biodigestor e ambos conectados à rede elétrica da concessionária.

Os resultados da análise financeira do projeto se mostraram extremamente positivos, tendo um payback abaixo de 6 anos e índices econômico-financeiro muito atrativos. O principal objetivo deste estudo era analisar a viabilidade técnica, econômica e financeira na aplicação de uma usina de energia híbrida de energia solar fotovoltaica e biodigestor, conectadas à rede elétrica de energia e principalmente viabilizar um sistema que atendesse a demanda elétrica total da granja do produtor rural, dentro da regulamentação de energia atual, ao qual se encontra impedido legalmente de ampliar seu plantel de suínos, por limitação de área e infraestrutura e dessa maneira sem poder ampliar o seu sistema de biodigestores e gerar mais energia.

Considerando os dados obtidos e atendendo as necessidades do produtor rural foi concluído que o arranjo híbrido possui viabilidade de aplicação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O arranjo técnico teve como premissa a conexão à rede elétrica, portanto, considerando que este sistema é um arranjo em geração distribuída, buscou-se mostrar nesse protótipo, uma possibilidade ao modelo padrão de crescimento do sistema elétrico, trazendo diversas vantagens, tendo capacidade de acrescentar eficiência e segurança energética a todo o sistema, além de contribuir para a diminuição dos impactos ambientais peculiares ao setor agropecuário. O estudo foi de grande auxílio para a evolução do meu conhecimento técnico no mercado de

energia, trazendo diversos esclarecimentos sobre pontos importantes que me eram desconhecidos e consolidando iniciativas de negócios inovadores dentro de um mercado carente por tecnologia.

O mercado de geração distribuída vem crescendo exponencialmente no Brasil e acredito que será ele que trará, em poucos anos, o equilíbrio necessário para a cadeia de abastecimento de energia elétrica no Brasil. Este trabalho irá se transformar em uma proposta de implantação de projeto para o proprietário rural referência deste estudo e espero que essa iniciativa seja a primeira de muitas usinas híbridas biogás + solar no estado de Goiás.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho teve como referência o estudo pontual da viabilidade e implantação de um sistema híbrido de energia renovável utilizando concomitantemente um sistema de biogás e um sistema de energia solar fotovoltaica em uma granja de suínos situada na cidade de Rio Verde na região sudoeste de Goiás.

Em consideração aos resultados obtidos e visando a continuidade do trabalho e expansão do setor de energia renovável na região centro oeste do Brasil recomendo a aplicabilidade deste estudo de arranjo híbrido em todo o estado de Goiás, dividido por regiões, procurando aonde há maior aderência a tecnologia e os resultados de geração de energia pois dessa forma teríamos um mapeamento completo do potencial no estado.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Energia Solar [ABSOLAR]. 2018. Seminário geração solar distribuída: O avanço da conquista, São Paulo, Sede ABSOLAR, 18 de abril de 2019.

Aproveitamento dos Dejectos de Suinicultura – Parte Líquida. Disponível em <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/40832/1/Aproveitamento-dejectos.pdf>>. Acesso em 02 de nov. de 2019.

Associação Brasileira de Geração Distribuída [ABGD]. 2018. Seminário energia solar no Brasil: Oportunidades e desafios, São Paulo, Sede ABSOLAR, 16 de outubro de 2018.

Associação Brasileira de Proteína Animal [ABPA]. Relatório Anual de 2018. Disponível em: <<http://abpa-br.com.br/setores/suinocultura/publicacoes/relatorios-anuais/2018>>. Acesso em 03 dez. de 2019.

Empresa de Pesquisa Elétrica [EPE]. 2018 Anuário estatístico de energia elétrica. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Anuario Estatístico de Energia Elétrica 2015.xls](http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Anuario%20Estatistico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202015.xls)>. Acesso em 10 de novembro de 2019

Empresa de Pesquisa Elétrica [EPE], 2018. Energia Renovável: Hidraulica, Biomassa, Eolica, Solar. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/Documents/Energia%20Renov%C3%A1vel%20-%20Online%202018maio.pdf>> Acesso em 10 de abril. de 2019.

Energy International Agency [EIA]. Growth in electricity use slows but still increases by 28 percent from 2011 to 2040. In: Annual Energy Outlook, 2015. Disponível em: <http://www.eia.gov/forecasts/aeo/sector_energydemand_all.cfm>. Acesso em: 20 de maio de 2019

O petróleo e gás natural no Brasil e no mundo. Disponível em: <<https://www.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/administracao/o-petroleo-e-gas-natural-no-brasil-e-no-mundo/36205>>. Acesso em 20 de dez. 2019.

Portal Solar, 2019. Pesquisa empresas energia solar fotovoltaica. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/fornecedores/empresas-de-energia-solar/>> Acesso em 19 abril de 2019

Revista Brasileira de Energia Renováveis.2015. Biogás de bovinos como alternativa energética sustentável. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/pdf_39>. Acesso em 10 out de 2019.

Engie Brasil. Disponível em: <<http://www.engie.com.br>>. Acesso em: 04 de maio de 2019

Greenpeace. Uma viagem ao Brasil do futuro. 2015. Disponível em: <<http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Blog/24-de-agosto-de-2050-uma-viagem-ao-brasil-do-blog/57321/>> Acesso em 16 de dez. de 2019.

Guerreiro, A. Seminário Impacto dos Recursos Energéticos Distribuídos sobre o Setor de Distribuição. Perspectivas de Difusão dos RED. Rio de Janeiro, Firjan. 20 de mai. de 2018.

Kimura.R. 2018. Seminário Geração Solar Distribuída: Uma tendência que virou realidade no Brasil. Intersolar, São Paulo, Brasil.

Martins, F.R.; Abreu, S.L.; Pereira, E.B. 2017. Scenarios for solar thermal energy applications in Brazil. Energy policy: 640-649.

Resolução Normativa No 482 de 17 de abril de 2012. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 20 de março de 2019.

Resolução Normativa No 581 de 11 de outubro de 2013. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2013581.pdf>. Acesso em: 20 de março de 2019.

Resolução Normativa No 687 de 24 de novembro de 2015. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 20 de março de 2019.

Villalva, M. G. 2019. Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações. 2ed. Editora Érica, Brasil.

Pereira, Amaro. 2016. Fundação Getúlio Vargas [FGV]. A transição energética e a nova realidade do setor elétrico. Disponível em:

<http://www.fgv.br/fgvenergia/coluna_opiniao_amaro_pereira/files/assets/common/downloads/Coluna%20Opiniao%20Amaro%20Pereira.pdf> Acesso em 22 de janeiro de 2020.

Agência de Notícias do Paraná.

<<http://www.aen.pr.gov.br/modules/noticias/article.php?storyid=103025&tit=Parana-inaugura-primeira-termeletrica-de-biogas-do-Brasil>> Acesso em 20 de janeiro de 2020.