



Anais do IVº Congresso Internacional da Ordem dos Engenheiros de Angola

Engenharia Disruptiva: Construindo um Futuro Sustentável para Angola

**Luanda,
18 - 19 de Novembro 2021**

**Hotel InterContinental
Plataforma WEBEX Cisco**

**Copyright ©
Ordem dos Engenheiros de Angola
2021**

**ISSN 2790-2226
ISBN 978-989-33-2731-9**





Editado por Chivanga Barros, Rildo Francisco, Joelson Matos, André Baptista, Maria Solo e Vladimiro Francisco.

ISSN 2790-2226 (electrónico)
ISBN 978-989-33-2731-9 (eBook)

Copyright © **Ordem dos Engenheiros de Angola 2021**

Este trabalho está sujeito a direitos autorais. Todos os direitos são reservados pela Editora, seja todo ou parte do material em questão, especificamente os direitos de tradução, reimpressão, reutilização de ilustrações, recitação, transmissão, reprodução em microfilmes ou de qualquer outra forma física e transmissão ou armazenamento de informações e recuperação, adaptação eletrônica, software de computador ou por metodologia semelhante ou diferente agora conhecida ou desenvolvida no futuro. O uso de nomes descritivos gerais, nomes registados, marcas comerciais, marcas de serviço, etc. nesta publicação não implica, mesmo na ausência de uma declaração específica, que tais nomes estão isentos das leis e regulamentos de proteção relevantes e, portanto, livres para uso geral usar. O editor, os autores e os editores podem assumir com segurança que as informações neste livro são considerados verdadeiros e precisos na data da publicação. Nem o editor, nem os autores ou editores oferecem garantia, expressa ou implícita, com relação ao material aqui contido ou por quaisquer erros ou omissões que possam ter sido cometidos.

Publicado por: Ordem dos Engenheiros de Angola

Bairro dos Coqueiros, Rua Rainha Ginga,
Edifício da Hyundai (COSAL), 11ºAndar
Luanda, Angola

E-mail: geral@ordemengeneheiros.ao

Website: www.ordemengeneheiros.ao

FICHA TÉCNICA DO IVº CONGRESSO

Coordenação Geral

Engº Augusto Paulino de Almeida Neto – Bastonário da OEA

Engº Eduardo da Fonseca Constantino André – Vice - Presidente da OEA

Engº Augusto Baltazar de Almeida – Vice - Presidente da OEA

Comissão Técnico-Científica

Engº Rildo Francisco (Ph.D.) – Membro da OEA; Coordenador

Engº António André Chivanga Barros (Ph.D.) – Membro da OEA

Comissão Organizadora

Engº António André Chivanga Barros – Membro da OEA; Coordenador

Engº André Baptista - Membro da OEA

Eng. Manda satshishinga - Membro da OEA

Engº Joelson de Matos - Membro da OEA

Engº António Caldas – Membro da OEA

Engº José Sumbula - Membro da OEA

Dra Judite de Lima – Departamento Financeiro OEA

Dra Filomena Vieira – Secretariado Administrativo da OEA

IV INTERNATIONAL CONGRESS OF THE OEA

DISRUPTIVE ENGINEERING

BUILDING A SUSTAINABLE FUTURE FOR ANGOLA

— LUANDA —

18th & 19th
NOVEMBER 2021



INTERCONTINENTAL®
LUANDA MIRAMAR

INTERNATIONAL CONGRESS



O
E
A
RDER OF
NGENHEIROS OF
NGOLA



congresso@oea.ao
www.oea.ao

SPONSORS

SUPER PLATINUM Sonangol

PLATINUM RNT

GOLD BAI dar angola APROT

SILVER SOMILAN BDM ENDE EGTI

BRONZE tis CHITOTOLO SODIAME.P VTB África

MEDIA PARTNER OPais rádio mais NEGÓCIOS medianova Angop PARCEIROS SNCP OCL ASSOCIAÇÕES

ASSOCIACIONES tpa Journal de Angola HEALTHKYST Cejojer

IV CONGRESSO INTERNACIONAL DA OEA

ENGENHARIA DISRUPTIVA

CONSTRUINDO UM FUTURO SUSTENTÁVEL PARA ANGOLA

— LUANDA —

18 E 19
NOVEMBRO 2021



INTERCONTINENTAL®
LUANDA MIRAMAR

CONGRESSO INTERNACIONAL



O
E
A
RDEM DOS
NGENHEIROS DE
NGOLA



congresso@oea.ao
www.oea.ao

SPONSORS

SUPER PLATINUM Sonangol

PLATINUM RNT

GOLD BAI dar angola APROT

SILVER SOMILAN BDM ENDE EGTI

BRONZE tis CHITOTOLO SODIAME.P VTB África

MEDIA PARTNER OPais rádio mais NEGÓCIOS medianova Angop PARCEIROS SNCP OCL ASSOCIAÇÕES

ASSOCIACIONES tpa Journal de Angola HEALTHKYST Cejojer

IVº CONGRESSO INTERNACIONAL DA OEA

“ENGENHARIA DISRUPTIVA: CONSTRUINDO UM FUTURO SUSTENTÁVEL PARA ANGOLA”

A volatilidade e incerteza deste novo mundo, potencializadas, mais recentemente, pela pandemia do Coronavírus, que fez com que tendências que estavam projectadas, no mínimo, para um futuro de médio prazo, passassem a fazer parte das urgências do presente - trazem consigo não só desafios, mas também e sobretudo inúmeras oportunidades e possibilidades para os profissionais de engenharia, para o nosso País e para a humanidade como um todo.

O ambiente é de disrupções contínuas, nas mais diversas áreas, com paradigmas considerados verdadeiros dogmas que estão a ser quebrados a todo momento. Quem poderia pensar, por exemplo, que, na maior parte das actividades humanas, o trabalho passaria a ser feito a partir da casa dos profissionais? Que a Medicina e a Psicologia pudessem ser praticadas virtualmente? Ou que a promessa do comércio electrónico se transformasse tão rapidamente numa realidade? E que a Inteligência Artificial e a Engenharia Genética contribuíssem tão rapidamente no desenvolvimento de vacinas, em tempo recorde?

Perante este cenário, vislumbra-se a necessidade premente que a Engenharia acelere também o seu processo de disrupção.

Estudar as possibilidades de construções sustentáveis e de baixo custo, adequadas para cada região, para que se possa diminuir o deficit habitacional e que atendam às premissas de sustentabilidade definidas no quadro do Acordo de Paris (Objectivos do Desenvolvimento sustentável da ONU), constitui exemplo dos desafios actuais e urgentes para uma engenharia inovadora e que contribua de facto na materialização de tais objectivos. Rever e reinventar técnicas e processos para dar suporte à economia verde, ao provimento de energias alternativas e sintonizar o passo com a Indústria 4.0 e tantas outras acções, permitirão à Engenharia continuar cumprindo a sua missão: **A de fornecer soluções novas para os desafios novos que surgem a cada momento.** O caminho, como não podia deixar de ser, passa por intensificar a interação com outras áreas do conhecimento de forma interdisciplinar, para garantir soluções que permitam o crescimento e o desenvolvimento das sociedades, num cenário em permanente mutação.

Este é o contexto que nos impele a reunir uma vez mais engenheiros e especialistas de vários países para debaterem o que há de mais actual e relevante para a área da Engenharia, os caminhos para a reinvenção desta que é uma das mais importantes actividades humanas e a sua contribuição para a construção de um futuro sustentável para Angola e quiçá para a humanidade.

Patrocinadores

SUPER PLATINA:



PLATINA:



OURO:



PRATA:



BRONZE:



PARCEIROS MEDIA:



PARCEIROS:



ASSOCIAÇÕES PROFISSIONAIS DE ENGENHARIA :



Mensagem do Bastonário

Eng.º Augusto Paulino de Almeida Neto

Bastonário da Ordem dos Engenheiros de Angola 2021 - 2024

“Zaya tanga e sinsu ya ntango”

É uma expressão que na língua nacional Kikongo, é entendida como sendo a leitura dos sinais dos tempos, ou ainda as características que determinam uma época e nos preparam para enfretarmos o futuro.



No nosso último Congresso realizado em 2019, debatemos e defendemos de entre outros, a necessidade da existência de políticas públicas de incentivo para que a estratégia da diversificação da nossa economia e da criação de empregos, estivessem alinhadas com um novo mundo que se anunciava; um novo mundo que tinha como características evidentes, a criação de novas profissões e a eliminação de muitas das actuais profissões.

De repente o que parecia fantasia ou um mero exercício de futurologia, passou a ser uma questão de sobrevivência. Resta-nos agora saber ler os sinais dos tempos, compreender o contexto e, agir.

Compreender o contexto como um todo ao mesmo tempo em que estamos nele mergulhados, é uma tarefa desafiadora, o que leva muitas vezes ao comportamento fácil e limitante de olharmos para as árvores e não para a floresta inteira. Neste emaranhado de “árvores” e à cacofonia sonora e visual, desta nova realidade, é nossa missão enquanto organização profissional, ajudar a classe de engenheiros e a comunidade como um todo, para que consigam visualizar o todo da floresta, para encontrarmos os melhores caminhos, dentro desta imensa floresta, caminhos esses que nos permitam ter um país e um mundo melhores para todos.

Nestes 3 dias de Congresso, reunimos de forma híbrida – presencial e remota – profissionais de excelência e conseguimos perceber que estamos num processo de constante reinvenção do nosso modo de comunicar, viver, trabalhar e estudar. O Coronavírus obriga-nos a ser mais eficientes em todas as vertentes, onde o virtual muitas vezes se sobrepõe ao presencial, com uma maior participação e redução significativa de custos.

O Coronavirus trouxe-nos um ambiente de busca de oportunidades, caracterizado por novas formas de partilha de conhecimento. Trouxe-nos um ambiente propício para o crescimento contínuo das nossas competências profissionais e também para o nosso crescimento como seres humanos.

Durante o Congresso, verificou-se que o Coronavírus e os seus desdobramentos são apenas uma das muitas variáveis da equação disruptiva.

No mundo de hoje, temos outras variáveis disruptivas, como o aquecimento global e o clamor crescente por maior sustentabilidade, no modo de viver e produzir, com maior atenção ao meio ambiente, aos aspectos sociais e de governança, pública e empresarial. Estas variáveis são muito bem explicitadas no emergente conceito de ESG (Environment, Social, Governance), bem como no de “Great Reset” (Grande Reinicialização), proposto pelo Fórum Económico Mundial, numa demonstração clara de que os próprios defensores do modelo económico vigente compreendem a necessidade de aprimorá-lo, como forma de garantir uma vida saudável, para os actuais e futuros cidadãos do mundo.

As intervenções que tivemos o grato prazer de acompanhar e debater, mostraram-nos que estamos perante uma panóplia de mudanças que têm estado a ter impactos significativos nas nossas vidas e na vida das nossas sociedades. Mudanças na matriz energética mundial e nos pólos da geopolítica estão cada vez mais nítidas. Mudanças nos hábitos de consumo, levam as famílias a preocuparem-se mais com o essencial relegando para segundo plano o que é considerado supérfluo. O teletrabalho traz-nos uma nova abordagem sobre a necessidade e o custo de se manter funcionários todos os dias na empresa. As compras online começam a ser uma rotina e temos o grande desafio da busca de um modelo pedagógico que nos permita casar na perfeição, a educação e a tecnologia.

Estamos perante um desafio enorme e que espera por propostas concretas de soluções. Aos especialistas que se juntaram a nós nestes três dias de trabalho intenso, para ajudarem-nos nesta imensa tarefa, aos profissionais e prelectores que atenderam ao nosso convite quero em nome da Ordem dos Engenheiros de Angola expressar-lhes os nossos agradecimentos.

Os nossos agradecimentos vão também para a contribuição dos que aqui representaram o Governo de Angola, na pessoa do Ministro dos Recursos Minerais Petróleo e Gás, do Secretário de Estado da Ciência e Tecnologia, do Secretário de Estado das Tecnologias da Informação, do Vice – Governador da Província do Bengo para a área técnica e infraestruturas e do Vice - Governador da Província de Malanje para a área técnica e infraestruturas.

Os nossos agradecimentos aos nossos parceiros e patrocinadores sem os quais não seria possível aqui estarmos. Agradecimentos à Federação Mundial das Associações de Engenharia, à Federação Africana das Associações de Engenharia, à Federação Europeia das Associações de Engenharia, à Ordem dos Engenheiros de Cabo-Verde, à Confederação de Engenharia e Agronomia do Brasil, à Associação dos Engenheiros Técnicos da Guiné Bissau, à Ordem dos Engenheiros de Portugal, à Associação do Engenheiros do Zimbabwe e à equipa de membros voluntários e colaboradores da OEA que constituíram as diversas comissões do Congresso, sem os quais seria impossível realizar este evento.

Finalmente um agradecimento especial à FFDigital que desde 2004 continua marcando presença em todos os nossos eventos, não só com comunicações, mas também com a assessoria necessária. À Ordem dos Engenheiros Técnicos de Portugal, pelos mini-cursos e que não poupou esforços, em produzir e trazer-nos alguns dos materiais tão necessários para este nosso Congresso.

ÍNDICE

TEORIA DE QUALIDADE DE SERVIÇO DE ENERGIA QUE PERMITE A OPTIMIZAÇÃO ESTOCÁSTICA DE MICRO-REDES	2
PRODUÇÃO DE BODIESEL A PARTIR DE ÓLEO DE FRITURA, BASEADO NOS PRINCÍPIOS DE INTENSIFICAÇÃO DE PROCESSOS	18
A IMPORTÂNCIA DA BIOMASSA, COMO FONTE ENERGÉTICA NO DESENVOLVIMENTO RURAL EM ANGOLA	29
ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO DO BIM NA INDÚSTRIA AECO EM ANGOLA	37
PRODUÇÃO DE ÁLCOOL ETÍLICO ANIDRO A PARTIR DA HIDRÓLISE E FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA DO AMIDO DO MILHO	43
PREDIÇÃO DE COBERTURA PARA REDE 5G DA ZONA ECONÓMICA ESPECIAL DE LUANDA-BENGO	55
ROTEADOR NA PLATAFORMA LINUX PARA UMA REDE LOCAL	65
VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE ENERGIA RENOVÁVEL PARA FORNECER ACESSO UNIVERSAL À ELETRICIDADE E COZINHA LIMPA: CASO DE ANGOLA	77
MELHORIA DA SINALIZAÇÃO DE SEGURANÇA NA DETONAÇÃO DE ROCHAS DA MINA DE CATOCA	90
MELHORIA DAS PROPRIEDADES DOS BLOCOS DE ADOBE USANDO MUCILAGEM DE CACTOS: ESTUDO DE CASO “FORÇA DE VONTADE- LUANDA”	104
AS TELECOMUNICAÇÕES EM SMART CITIES 3.0.....	113
IMPLEMENTAÇÃO DE UMA UNIDADE EM ESCALA DE BANCADA PARA A PRODUÇÃO BIO-OLEO POR CRAQUEAMENTO TÉRMICO DO ÓLEO DE PALMA.....	119

TEORIA DE QUALIDADE DE SERVIÇO DE ENERGIA QUE PERMITE A OPTIMIZAÇÃO ESTOCÁSTICA DE MICRO-REDES

Jackseário do Rosário¹ e Brian Kelley²

¹ Sonangol UNRP (Unidade de Negócio de Refinação e Petroquímica) Ex. Avenida Álvaro Ferreira, nº 8/16 - C.P. 1316, E-mail: jackseario.rosario@gmail.com, Tel: (+244) 929 298 081, Luanda, Angola.

² Professor Associado e Vice-Reitor Associado da University of Texas em San Antonio, no Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação. 1 UTSA Circle, San Antonio, TX 78249, E-mail: dr.brian.kelley@gmail.com, United States.

U.S. Patent # 10,211,638

RESUMO: A confiabilidade na prestação de serviços é um factor importante para uma rede eléctrica. A rede eléctrica tem sido historicamente projectada como uma rede de distribuição passiva, onde a energia flui em uma única direcção, capaz de fornecer 100% de disponibilidade de energia, incorporando centrais eléctricas de grande porte e centralizadas. Este modelo tradicional não leva em conta cenários futuros de produção de energia eléctrica, onde são encontradas variedades de redes eléctricas, distribuídas e baseadas em fontes renováveis. As redes eléctricas distribuídas e baseadas em fontes de energia renováveis, doravante abreviadamente designada por micro-redes, têm a característica de permitir que a energia flua em múltiplas direcções, introduzindo assim uma noção mais activa de rede eléctrica. As micro-redes, que produzem energia envolvendo energia eólica, solar, biogás, gás natural, células de combustível, microturbinas, entre outras, contrastam com a produção de energia centralizada tradicional. As fontes de energia renováveis introduzem obstáculos desafiadores para as redes de distribuição de energia actuais, tendo em conta que a energia produzida por elas varia aleatoriamente com a época do ano, sombreamento, temperatura, localização e outros factores. A intermitência e aleatoriedade dessas fontes introduz flutuações estocásticas no processo de produção e distribuição de energia, dificultando a interligação das micro-redes com as redes tradicionais, bem como o fornecimento de energia para o consumidor final. O sucesso da implantação das micro-redes depende criticamente da eficiência com que essas redes distribuídas possam fornecer uma garantia de disponibilidade contínua de fornecimento de energia para satisfazer a quantidade de energia requerida pelas cargas. Isto motiva a necessidade de produção de energia destacável com certa Qualidade de Serviço de Energia (QdSE). Para resolver o problema nos propomos uma teoria de produção de energia a partir de fontes renováveis, que é uma derivação do comportamento da fila de espera para modelos de qualidade de serviço usado na nova geração da comunicação sem fio. Lançamos um novo modelo de QdSE para sistemas de micro-redes distribuídas, cujo objectivo é o fornecimento de energia ininterrupta e destacável da rede eléctrica tradicional. O modelo de QdSE, nos permite projectar mecanismos de disponibilidade no fornecimento de energia que, quando

implementados, podem ser usados para otimizar as micro-redes para garantir a disponibilidade de energia especificada pelo usuário.

1. INTRODUÇÃO

A rede de distribuição pública, quando alterada de sua noção de rede de distribuição passiva, onde a energia flui em uma direcção, precisa integrar redes de produção distribuídas que são alimentadas por fontes de energia renovável, doravante abreviadamente designada por micro-redes. As micro-redes [1], aonde a energia flui em múltiplas direcções, introduzem noções mais activas de redes de distribuição. Definimos energia distribuída como à energia produzida localmente em níveis de tensão de distribuição que é integrada à rede de distribuição pública.

A produção de energia envolvendo energia eólica, solar, biogás, gás natural, células de combustível e microturbinas, definidas como fontes de energia distribuídas, contrasta com a produção de energia centralizada usada na rede de distribuição pública. A intermitência e aleatoriedade das fontes de energia renováveis podem dificultar a correspondência entre a energia fornecida e a energia requerida pelas cargas, introduzindo assim obstáculos desafiadores para a rede de distribuição de energia [2,3].

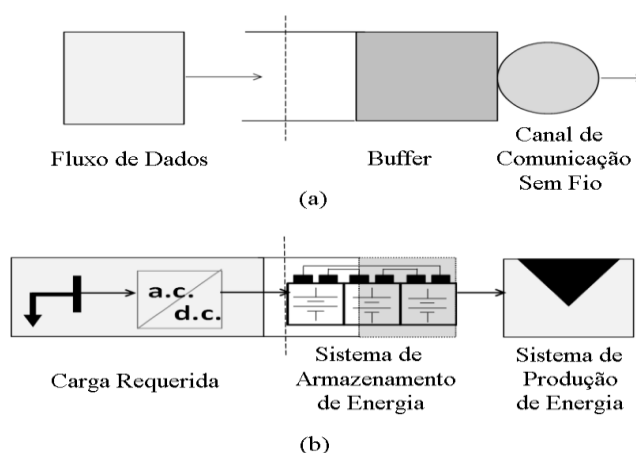


Fig. 1: (a) modelo da rede de comunicação versus (b) Modelo energético análogo

O sucesso da implantação de uma micro-rede depende criticamente da eficiência com que as fontes de energia distribuídas podem fornecer uma garantia de disponibilidade contínua de energia para satisfazer a carga requerida. Isto motiva uma necessidade de produção de

energia destacável com Qualidade de Serviço de Energia especificada, aqui designada como QdSE.

Os modelos existentes [4,5,6], proporcionam mecanismos que facilitam o desenho dos componentes das micro-redes para manter uma disponibilidade de energia esperada ao longo do ano, definida como uma métrica de probabilidade sobre uma janela de tempo adequada, indicando a frequência de tempo que a micro-rede irá satisfazer a carga requerida. No entanto, estes modelos não implementam mecanismos que realmente garantam que a disponibilidade de energia será mesmo fornecida e que os períodos de perda de carga sejam infinitesimais ou inexistentes durante o funcionamento contínuo das micro-redes [7].

Para resolver esse problema, foi necessário recorrer a outros campos que enfrentam o mesmo problema. O campo de comunicação digital enfrentou o mesmo problema quando teve que migrar de comutação de circuitos para a comutação de pacotes e de uma rede puramente de fios para uma rede híbrida incorporando redes fixas e sem fio. A transição da comutação de circuito para a comutação de pacotes exigiu a introdução da Fila de Espera e a análise do enfileiramento da ligação, como ilustrado na Figura 1a. Esta figura mostra que a origem do tráfego e o serviço de rede são interligados usando um *buffer* do tipo Primeiro a Entrar, Primeiro a Sair (PEPS), evitando assim a perda de pacotes que podem ocorrer quando a fluxo de dados a transmitir é maior do que a capacidade de transmissão do sistema. Assim, tornou-se importante caracterizar o efeito do padrão de tráfego de dados, bem como o desempenho comportamental do canal usado no sistema de comunicação, introduzindo-se assim o conceito de garantia Qualidade de Serviço (QoS).

Em contraste com as redes fixas, fornecer garantias de QoS em redes sem fio comutadas por pacotes foi um problema desafiador. Em seu estado nativo, os canais sem fio não melhorados têm um nível baixo de confiabilidade e a sua capacidade varia com o tempo, o que pode causar graves violações de QoS. Ao contrário das redes fixas, que normalmente têm uma capacidade constante, a capacidade dos canais sem fio depende de factores aleatórios como o desvanecimento de múltiplos caminhos, interferência de canais adjacentes e do ruído. Consequentemente, o fornecimento de garantias de QoS sobre os canais sem fio requer modelos precisos da sua capacidade que varia no tempo e a utilização eficaz desses modelos

para suportar a QdS [8]. Como o conceito de fornecimento de QdS na rede de comunicação é bem pesquisado e definido [8], aplicamos estes conceitos ao problema da micro-redes para fornecer garantias de disponibilidade de energia.

A funcionalidade do buffer do tipo PEPS, Figura 1a, assemelha-se à funcionalidade do sistema de armazenamento de energia (SAE), Figura 1b. O SAE da Figura 1b é de importância crucial para as micro-redes, pois pode ser usado como uma fonte de energia à prova de falhas para o consumidor final. No entanto, as setas na Figura 1b estão invertidas, contrário com os modelos convencionais, porque aqui se perspectiva a carga requerida, como uma fonte ao invés de uma carga consumidora.

Neste artigo ilustramos as semelhanças anteriormente inexploradas entre a otimização de redes de comunicação e a otimização de micro-redes. O modelo de QdSE, que incorpora a modelação da carga requerida, do sistema de produção de energia (SPE) a partir de fontes renováveis, e do SAE pode ser considerado como uma estrutura dupla do modelo de sistema de enfileiramento de redes de comunicação com origem de tráfego, serviço de rede e um *buffer* [8]. Uma vez que a análise de fila requer a caracterização do tráfego e do serviço, o modelo de QdSE que empregamos também requer a caracterização da carga requerida e do SPE. A carga requerida e a caracterização do SPE são análogas à caracterização do tráfego e do serviço.

O resto do trabalho está organizado da seguinte forma. Na Secção IIA, propomos e desenvolvemos uma estrutura energético que designamos como a Capacidade Efectiva de Produção Eléctrica (CEPE). Nesta abordagem, primeiro modelamos a fonte de energia renovável por duas funções do CEPE, nomeadamente, a probabilidade de que o SAE não estar totalmente carregado e o expoente QdS da ligação. Usamos um algoritmo simples e eficiente para estimar estas funções do CEPE [9]. Uma vantagem chave da modelagem e estimação do CEPE é a simplicidade de implementação e a facilidade de tradução em garantias de QdS, tais como horas de armazenamento. Na secção IIB, construímos uma estrutura estocástica de QdS para o desempenho das micro-redes. Na secção IIB, também derivamos fórmulas explícitas das métricas de desempenho para a análise da fiabilidade e dimensionamento do SPE. Em particular, as principais métricas que consideramos são a probabilidade de perda de carga

(PPC), o desperdício de energia, devido á um descompasso entre o SAE e o SPE, e a duração da perda de carga. Na secção III, ilustramos a validade do nosso modelo estocástico de QdSE realizando um caso de estudo para a implementação de uma micro-rede distribuída usando o sol como fonte energética numa área isolada e sem o uso da rede pública.

1.1. Derivação do Modelo de Qualidade de Serviço de Energia

Para proporcionar os mecanismos que permitem a implantação bem-sucedida de micro-redes, propomos uma garantia de continuidade da disponibilidade de energia para satisfazer a energia requerida pela carga. Um postulado fundamental subjacente a esta estrutura é que a produção assintota de energia a partir das fontes renováveis durante uma duração suficientemente longa converge para a energia assintótica necessária para satisfazer a carga requerida. Quando tivermos abundância de energia, o excesso da energia produzida alimentará a sistema de armazenamento até que ele esteja totalmente carregado. Sempre que houver uma deficiência na produção de energia, o sistema de armazenamento compensará essa deficiência até que toda energia nesse armazenada de esgote cobrindo assim a necessidades energéticas da carga [4,10].

O modelo de QdSE proposto é avaliado utilizando as seguintes métricas de desempenho: disponibilidade, número de horas de armazenamento, probabilidade de perda de carga e desperdício de energia. A disponibilidade refere-se à probabilidade global do tempo de funcionamento do sistema ou à percentagem de tempo em que o sistema irá satisfazer a necessidade energética durante um determinado período. O número de horas de armazenamento [5], definido como o tempo que o sistema de armazenamento pode fornecer energia a um sistema autónomo, melhorando a disponibilidade do sistema. Este parâmetro, incorporado a uma fila de armazenamento de energia, denota a capacidade de SAE. A PPC, definida como a probabilidade de falha de fornecimento de energia a carga, reconhece um processo controlável entre a produção de energia e a qualidade de serviço, e pode ser estimada como a relação entre a energia não servida pelo sistema e a energia total requerida. A energia não utilizada, conhecida como perda/desperdício, denota a quantidade de energia que é desperdiçada devido a um descompasso entre o SPE e SAE. Devido à extensa notação, fornecemos um glossário de notações na Tabela 1.

Tabela 1: Resumo da Notação dos Parâmetros

Notação	Definição dos Parâmetros
<i>Micro-Redes</i>	Redes eléctricas distribuídas e baseadas em fontes de energia renováveis
QdS	Qualidade de Serviço
$QdSE$	Qualidade de Serviço de Energia
$PEPS$	Buffer do tipo Primeiro a Entrar, Primeiro a Sair
SAE	Sistema de armazenamento de energia
SPE	Sistema de produção de energia
$CEPE$	Capacidade Efectiva de Produção Eléctrica
PPC	Probabilidade de Perda de Carga
$\Gamma(t)$	Envelope de requisição
$\Psi(t)$	Curva de produção
$A(t)$	Quantidade de energia real requerida ao longo do tempo T
$\lambda_p^{(s)}$	Pico máximo de potência requerido em watts
$\lambda_s^{(s)}$	Potência máxima requerida em condições estáveis em watts
$\sigma^{(s)}$	Tamanho do copo de transbordo em watt-hora
$S(t)$	Energia real fornecida à carga pelo sistema de produção de energia
$\tilde{S}(t)$	Processo de produção de energia fornecido pelo sistema de produção de energia
$\lambda_s^{(c)}$	Fonte de alimentação constante em watts
$\sigma^{(c)}$	Horas de armazenamento
$D(\tau)$	Energia para a carga está a ser fornecida pelo sistema de armazenamento
$Q(\tau)$	Quantidade de energia consumida do sistema de armazenamento
ε	Probabilidade de que a energia produzida pelo sistema de produção não será capaz de suportar o limite inferior prometido
$r(t)$	Potência instantânea produzida pelo sistema de produção de energia no intervalo
$\Lambda(-u)$	Função assintota de geração do momento logarítmico de um processo estacionário
$\alpha(u)$	Função da capacidade efectiva de produção eléctrica
B	Capacidade disponível do sistema de armazenamento
$\gamma(\mu)$	Probabilidade de que o sistema de armazenamento não esteja totalmente carregado
$\theta_B(\mu)$	Taxa de desintegração da probabilidade de perda de carga
$Pr\{Q(t) \geq B\}$	Probabilidade de perda de carga
D_{max}	Número máximo de horas de armazenamento
μ	Potência máxima requerida pela carga
\mathcal{A}	Conjunto de cargas
a	Qualquer carga pertencente ao conjunto de cargas
X_a	Vector de programação de consumo de energia
n	Unidade de tempo
x_a^n	Consumo de energia que está programado para a carga
E_a	Consumo total de energia para carga
l^n	Consumo total de energia de todas as cargas para qualquer unidade de tempo
α_a	Início de um intervalo de tempo no qual o consumo de energia para carga pode ser programado
β_a	Fim de um intervalo de tempo no qual o consumo de energia para carga pode ser programado
f	Funções de optimização
$Acc(n)$	Padrão do usuário final

Como a caracterização da carga requerida e do SPE são análogas à caracterização do tráfego e do serviço, usando a estrutura de Wu [8], caracterizamos a carga requerida de acordo com o limite superior da quantidade de energia requerida (ou seja, watts em função do tempo t).

Esta caracterização é definida pelo parâmetro do envelope de requisição, $\Gamma(t)$. A caracterização do SPE é uma garantia de um fornecimento mínimo de energia para satisfazer a carga [9]. O nível mínimo é especificado por uma curva de produção $\Psi(t)$. Como ilustrado na Figura 2a, o comportamento da carga requerida pode ser caracterizado pelo envelope de requisição $\Gamma(t)$ como se segue.

Considerando uma janela de tamanho T em que a quantidade de energia real requerida pela carga $A(t)$ não excede $\Gamma(t)$ ou $A(t) \leq \Gamma(t)$ para qualquer altura t , o envelope de requisição satisfaz:

$$\Gamma(t) = \min\{\lambda_p^{(s)}t, \lambda_s^{(s)}t + \sigma^{(s)}\} \quad (1)$$

Na equação (1), $\lambda_p^{(s)}$ é a pico máximo de potência requerido em watts, $\lambda_s^{(s)}$ é a potência máxima requerida em condições estáveis em watts, e $\sigma^{(s)}$ é o tamanho do copo de transbordo em watt-hora. A curva de produção $\Psi(t)$ representa o limite inferior da energia real $S(t)$ fornecida à carga pelo SPE, em que $\Psi(t) \leq S(t)$ para qualquer instante de tempo t , e:

$$\Psi(t) = [\lambda_s^{(c)}(t - \sigma^{(c)})]^+ \quad (2)$$

onde $\lambda_s^{(c)}$ é uma fonte de alimentação constante em watts e $\sigma^{(c)}$ são as horas de armazenamento.

Na Figura 2a, observamos que o envelope de requisição $\Gamma(t)$ e curva da produção $\Psi(t)$ consistem em dois segmentos. Para o envelope de requisição, o primeiro segmento tem a sua inclinação igual ao pico máximo de potência requerido $\lambda_p^{(s)}$. O segundo tem a sua inclinação igual à potência máxima requerida em condições estáveis $\lambda_s^{(s)}$ (i.e. $\lambda_s^{(s)} < \lambda_p^{(s)}$). Para a curva da produção, o segmento horizontal indica que o SPE não está fornecendo nenhuma energia para a carga, por um intervalo de tempo igual a $\sigma^{(c)}$ e o segundo tem a inclinação igual a uma fonte de alimentação constante representativa do SPE $\lambda_s^{(c)}$. Além disso, observamos que a diferença horizontal entre $A(t)$ e $S(t)$, denotado por $D(\tau)$ é o tempo em que a energia para a carga está a ser fornecida pelo SAE. A diferença vertical entre as duas curvas, denotada por $Q(\tau)$ é a quantidade de energia consumida do SAE.

Assumindo que o par $\{\Psi(t), \varepsilon\}$ representa o conjunto curva de produção $\Psi(t)$ e o processo de QdS, em que o parâmetro ε é a probabilidade de que a energia produzida $\tilde{S}(t)$ pelo processo

estocástico do SPE não será capaz de suportar o limite inferior prometido $\Psi(t)$. Neste caso a propriedade chave do QdS é definida por:

$$\sup_t \Pr\{\tilde{S}(t) < \Psi(t)\} \leq \varepsilon \tag{3}$$

Na equação (3), um processo estocástico QdS da curva de produção, define uma chave para a qualidade de serviço do SPE.

1.2. Modelo de Capacidade Efectiva de Produção Eléctrica

O comportamento estocástico do SPE pode ser modelado assintoticamente pela sua CEPE. Deixemos $r(t)$ ser a potência instantânea produzida pelo SPE no instante t . Temos $\tilde{S}(t) = \int_0^t r(\tau) d\tau$ como o processo ideal de produção de energia fornecido pelo SPE em watt-hora. O parâmetro $\tilde{S}(t)$ não leva em conta o desperdício de energia e, portanto, é diferente da energia real $S(t)$ fornecido à carga; assim, $\tilde{S}(t)$ depende apenas da potência instantânea produzida pelo SPE e é independente da energia real $A(t)$ exigida pela carga.

Suponha que a função assintota de geração do momento logarítmico de um processo estacionário $\tilde{S}(t)$ é definido como [9]:

$$\Lambda(-u) = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \log E[e^{-u\tilde{S}(t)}] \tag{4}$$

e que ela exista para todos $u \geq 0$. A função da capacidade efectiva de produção eléctrica, $\alpha(u)$ de $r(t)$ é:

$$\alpha(u) = \frac{-\Lambda(-u)}{u} = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{ut} \log E[e^{-u \int_0^t r(\tau) d\tau}], \forall u \geq 0 \tag{5}$$

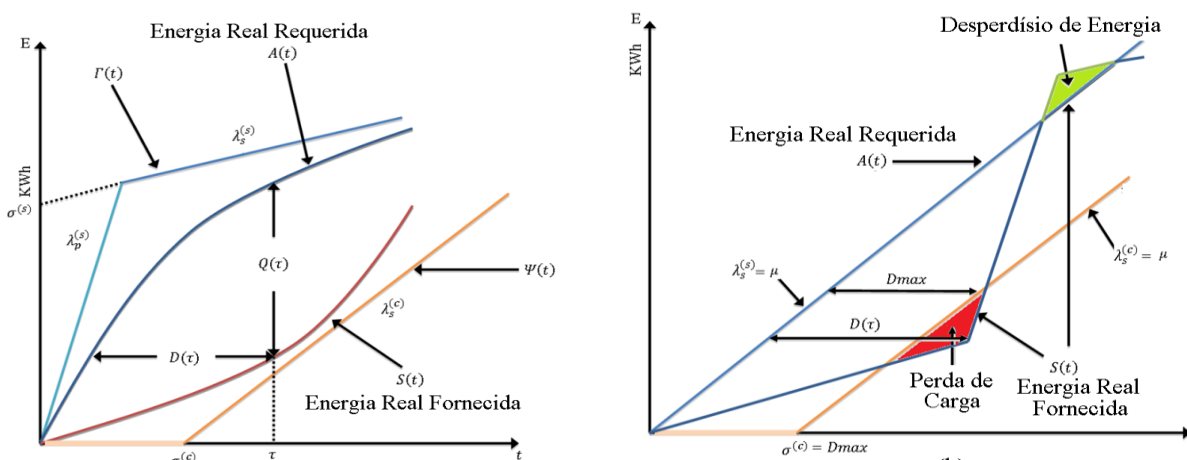


Fig. 2: (a) Caracterização da produção e requisição de energia (b) disponibilidade de energia e perda de carga

1.3. Modelo de Qualidade de Serviço de Energia

Assumimos apenas para facilitar o cálculo numérico computacional que temos um SAE com capacidade infinita e uma carga com potência máxima requerida constante μ . Quando $A(t)$ é maior do que $S(t)$, a quantidade de energia consumida $Q(t)$ do SAE não é zero. Usando a teoria dos grandes desvios, e assumindo que $\lim_{t \rightarrow \infty} D(t)$ define o estado estacionário de $Q(t)$, a probabilidade de $\lim_{t \rightarrow \infty} Q(t)$ ultrapassar um limite B torna-se [9]:

$$\Pr \left\{ \lim_{t \rightarrow \infty} Q(t) \geq B \right\} \sim e^{-\theta_B(\mu)B} \text{ as } B \rightarrow \infty \quad (6)$$

onde $f(x) \sim g(x)$ significa que $\lim_{x \rightarrow \infty} f(x)/g(x) = 1$. De Choudhury (ver [10]) está provado que para valores menores de B a equação (6) torna-se:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \Pr\{Q(t) \geq B\} \approx \gamma(\mu)e^{-\theta_B(\mu)B} \quad (7)$$

onde B é a capacidade disponível do SAE e $\gamma(\mu), \theta_B(\mu)$ são funções da potência requerida μ . Para uma determinada energia requerida,

$$\gamma(\mu) = \Pr\{Q(t) > 0\} \quad (8)$$

que é a probabilidade de que o SAE não estar totalmente carregado, enquanto o expoente $\theta_B(\mu)$ é a taxa de desintegração da PPC, $\Pr\{Q(t) \geq B\}$, que é definido como:

$$\theta_B(\mu) = \alpha^{-1}(\mu) \quad (9)$$

onde, $\alpha^{-1}(\mu)$ é o inverso da função de $\alpha(u)$.

A partir da Figura 2b, fica claro que quando o SAE está totalmente carregado e a energia produzida pelo SPE é maior do que a energia requerida pela carga, a energia extra produzida ($\tilde{S}(t) - S(t)$) será perdida. Além disso, sabemos que o evento $\{D(t) > D_{\max}\}$ e o evento $\{\Psi(t) > S(t)\}$ são iguais. Sempre que a curva $S(t)$ está abaixo de $\Psi(t)$, a linha horizontal $D(t)$ irá atravessar a linha $\Psi(t)$ e, uma vez que a distância horizontal entre $A(t)$ e $\Psi(t)$ é D_{\max} . Então, nós temos:

$$\left(\lim_{t \rightarrow \infty} \Pr\{Q(t) > B\} = \lim_{t \rightarrow \infty} \Pr\{D(t) > D_{\max}\} = \lim_{t \rightarrow \infty} \Pr\{S(t) < \Psi(t)\} \right) < \varepsilon \quad (10)$$

Com base na equação (10) chegamos a

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \Pr\{D(t) \geq D_{\max}\} \approx \gamma(\mu)e^{-\theta(\mu)D_{\max}} \quad (11)$$

onde $D_{\max} = \frac{B}{\mu}$ é o número máximo de horas de armazenamento, e $\theta(\mu) = \mu\theta_B(\mu)$.

A partir das equações acima, concluímos que quando se utiliza um SPE que tem um número de horas de armazenamento igual a D_{\max} é modelado pelo par $\{\gamma(\mu), \theta(\mu)\}$, e quando uma carga pode tolerar uma PPC de no máximo ε , o sistema precisa limitar a energia requerida a um máximo μ , onde μ é a solução para:

$$\varepsilon = \gamma(\mu)e^{-\theta(\mu)D_{\max}} \quad (12)$$

As equações (11) e (12) mostram que o modelo de CEPE pode ser totalmente definido pelo par de funções $\{\gamma(\mu), \theta(\mu)\}$. Para calcular a função $\gamma(\mu)$ and $\theta(\mu)$ recorreremos ao algoritmo em Wu [8]. O algoritmo estima com precisão as funções $\gamma(\mu)$ and $\theta(\mu)$ a partir das medições do SPE.

Assumindo que a potência instantânea produzida $r(t)$ pelo SPE no intervalo t é num senso amplo estacionária e ergódico, e ajustando $D_{\max} = 0$, nós temos:

$$\gamma(\mu) = \Pr\{D(\infty) > 0\} \quad (13)$$

e

$$\frac{\gamma(\mu)}{\theta(\mu)} = \frac{E[Q(\infty)]}{\mu} \quad (14)$$

então,

$$\theta(\mu) = \frac{\gamma(\mu) \times \mu}{E[Q(\infty)]} \quad (15)$$

A partir das equações acima, podemos estimar a função $\gamma(\mu)$ and $\theta(\mu)$ ao estimar $\Pr\left\{\lim_{t \rightarrow \infty} D(t) > 0\right\}$ e $E[Q(t)]$.

A estimativa do parâmetro $\Pr\left\{\lim_{t \rightarrow \infty} D(t) > 0\right\}$ e $E[Q(t)]$ pode ser alcançado através da recolha de uma série de amostras, digamos N_T , ao longo de um intervalo de tempo T , em seguida, gravar o $S(n)$ o indicador de que o SAE está totalmente carregado ou não ($S(n) \in \{0, 1\}$), e o $Q(n)$ a quantidade de energia a ser consumida do SAE. São computados os seguintes meios de amostra [8],

$$\hat{\gamma} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N S(n) \quad (16)$$

$$\hat{q} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N Q(n) \quad (17)$$

$$\hat{\theta} = \frac{\hat{\gamma} \times \mu}{\hat{q}} \quad (18)$$

O parâmetro estimado pode ser usado para a probabilidade de perda de carga aproximando:

$$\Pr\{D(t) \geq D_{\max}\} \approx \hat{\gamma} e^{-\hat{\theta} D_{\max}} \quad (19)$$

Para encontrar uma energia requerida sustentável μ que irá garantir uma certa QoS para uma micro-rede com uma PPC de ε e um número máximo de horas de armazenamento D_{\max} temos de resolver a equação (12) ou (13) para μ . Para uma estimativa rápida da energia requerida μ . Podemos usar o algoritmo de pesquisa binária proposto por Wu [8], como será demonstrado na Secção III. O modelo de CEPE pode ser usado para calcular e definir as garantias de qualidade de serviço usando o par $\{\gamma(\mu), \theta(\mu)\}$. O modelo é válido quando [8]:

1. $\{\gamma(\mu), \theta(\mu)\}$ é o modelo CEPE, que existe se a função assintota de geração do momento logarítmico de um processo estacionário $\Lambda(-u)$ existe também, e,
2. se $r(t)$ for estacionário e ergódico, permitindo a estimativa do par $\{\gamma(\mu), \theta(\mu)\}$.

2. Simulação da Qualidade de Serviço de Energia Eléctrica

Para simular a veracidade do modelo de CEPE, simulamos o sistema na Figura 1b. Para a simulação, definimos um SPE que usa o sol como a sua fonte energética, classificado em 19,626kW, que produz em média 64,4 kWh/dia, localizado em San Antonio. Os painéis solares usados são da marca SunPower e módulo E20 [11]. A carga requerida é considerada como uma carga constante. Analisamos os dados da simulação em uma janela de um mês (ver [12-14]).

Simulamos uma micro-rede que fornece energia a uma casa. Para esta simulação, os utilizadores finais são os ocupantes da casa e as cargas são os electrodomésticos da casa. Os dados para a simulação são gerados a partir do modelo de requisição de carga doméstica de Richardson [28]. Este modelo é inclusivo, fornece informações para os padrões de ocupação, bem como a energia requerida pela casa.

3. Resultados de Simulação de Disponibilidade, Armazenamento de Energia e Perda de Carga

Da Figura 3a podemos ver que a probabilidade de que o SAE não esteja totalmente carregado aumenta conforme a carga requerida aumenta de 100W para 2000W, confirmando o que já foi previamente postulado pelos pesquisadores Ru, Khatib, Klise e Stein, e Richardson [15-18]. Também, à medida que a carga aumenta, Figura 3b, o expoente do QoS $\theta(\mu)$ diminuições indicando um decréscimo exponencial lento da PPC. Assim, a PPC $\Pr\{D(t) \geq D_{max}\}$ deverá aumentar à medida que o $\theta(\mu)$ diminui. Isto pode ser confirmado pela figura 3c. A figura mostra que a PPC $\Pr\{D(t) \geq D_{max}\}$ segue uma decadência exponencial.

De acordo com a Figura 3d, podemos ver que para diferentes requisições de carga, precisaremos de um SAE com diferentes capacidades. Conforme a carga requerida aumenta, o número de horas de armazenamento para manter a mesma PPC aumenta. A frequência da perda de carga aumentará à medida que o valor da carga requerida aumentar, provando assim o que foi dito e espelhado na Figura 2b. Também pode ser implícito que se mantivermos a carga requerida constante e diminuirmos o tamanho do SPE, o mesmo comportamento será observado.

A Figura 3e ilustra a dependência entre o número de horas de armazenamento e a carga requerida. À medida que a carga requerida aumenta, a quantidade de energia a ser consumida do SAE aumenta, diminuindo a quantidade de energia que seria perdida por um descompasso entre o SAE e a SPE. A Figura f mostra esta relação de forma mais clara. Para todas as simulações, é evidente que a PPC será pequena para cargas requeridas inferiores a 1000W com uma capacidade do SAE de 36 horas.

Usando uma abordagem de baixo para cima, no lugar de uma micro-rede, use-se um aglomerado de micro-redes, procedimento caracterizado pelo mesmo comportamento.

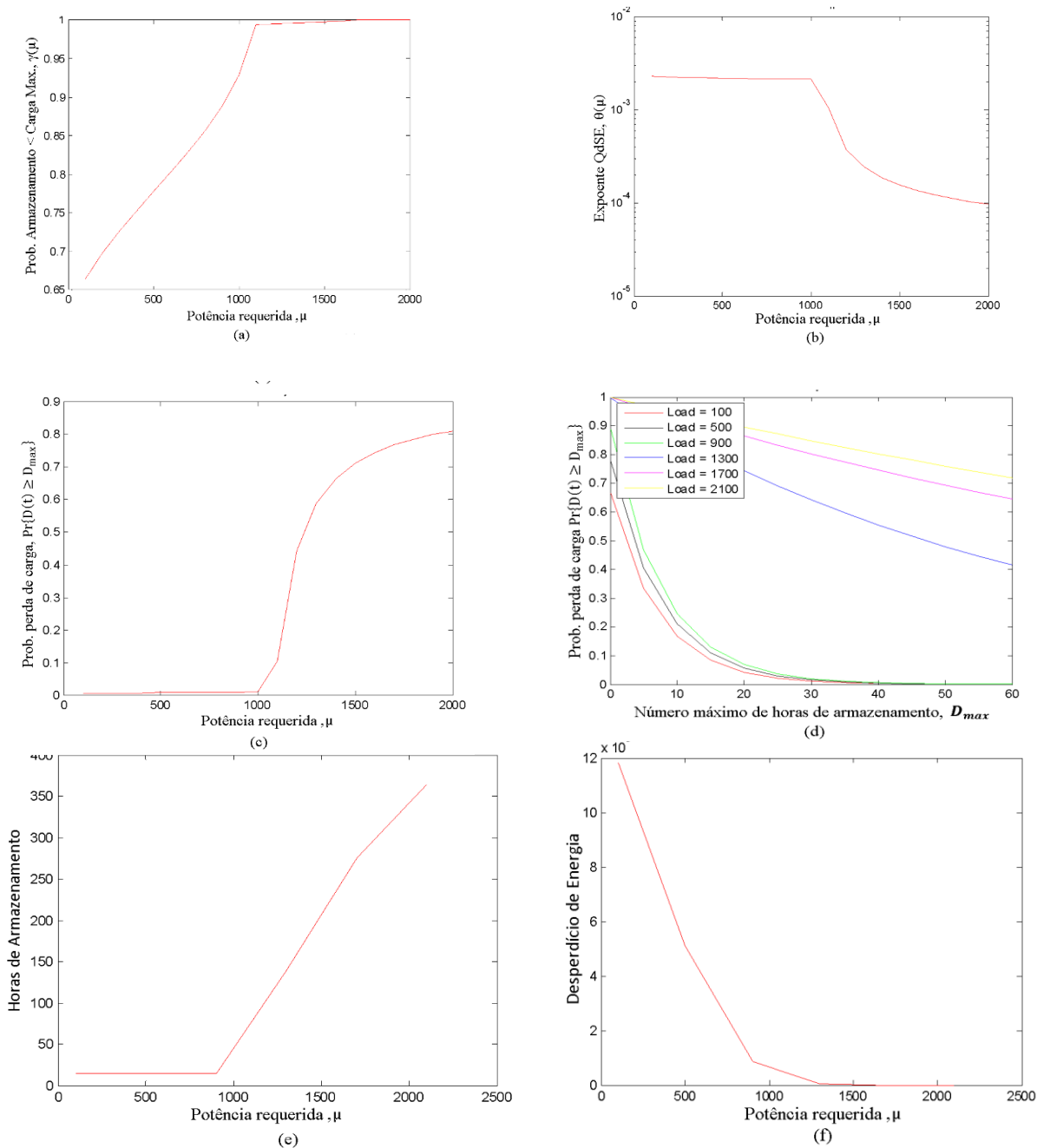


Fig. 3 (a) Probabilidade do SEA não estar totalmente carregado à carga vs. Potência requerida; (b) Exponente QdSE vs. Potência requerida; (c) Probabilidade de perda de carga vs. Potência requerida; (d) Probabilidade de perda de carga vs. Número máximo de horas de armazenamento; (e) Horas de armazenamento de energia utilizável vs. Potência requerida; (f) Desperdício de energia vs. Potência requerida.

4. Conclusões

Desenvolveu-se e apresentou-se o modelo energético análogo ao modelo de enfileiramento utilizado nas redes de comunicação. O modelo energético foi totalmente descrito por duas funções, a probabilidade de que o sistema de armazenamento não esteja totalmente carregado $\gamma(\mu)$ e a qualidade do expoente do serviço $\theta(\mu)$ que representa a taxa de desintegração da probabilidade de perda de carga que é utilizada para definir as garantias de qualidade de energia do serviço. Foi evidente que $\gamma(\mu)$ e $\theta(\mu)$ podem ser usados para modelar o sistema de produção de energia, que resulte do equilíbrio que pode ser descrito como: a) horas de armazenamento de energia útil; b) probabilidade de perda de carga e; c) carga máxima permitida pelo sistema.

Em suma, se a micro-rede com um sistema de armazenamento com D_{\max} de capacidade de armazenamento útil, e desejar-se que o sistema tolere uma probabilidade de perda de carga não superior a ε , a potência máxima requerida pela carga deve ser igual a μ , onde μ é a solução para $\varepsilon = \gamma(\mu)e^{-\theta(\mu)D_{\max}}$. Usando o modelo acima, chegamos à conclusão de que a probabilidade de perda de carga pode ser reduzida aumentando o tamanho do sistema de armazenamento; no entanto, ela pode aumentar a perda de energia. Além disso, a frequência de perda de carga é altamente dependente das características de insolação e da capacidade do sistema de armazenamento. A medida que a capacidade do sistema de armazenamento aumenta, a perda de energia e a frequência de perda de carga diminuirá devido à mitigação da variação instantânea da insolação pelo sistema de armazenamento. Assim, o tamanho do sistema de produção de energia e a capacidade do sistema de armazenamento têm efeitos diferentes sobre os índices de desempenho da micro-rede. Um descasamento entre o sistema produção de energia e o sistema de armazenamento de energia pode produzir perda de carga em alguns momentos e perda de energia em outros. De qualquer maneira, com base nos resultados, podemos concluir que uma programação otimizada pode reduzir a perda de probabilidade de carga, bem como o desperdício de energia, melhorando a qualidade de energia do fornecimento de serviços do sistema. Quando o modelo é implementado, nós otimizamos as micro-redes para garantir a disponibilidade de energia em um período anual.

O principal resultado desta pesquisa foi a criação de um modelo para a otimização da qualidade de serviço de energia em tempo real.

Referências

- [1] S. Chowdhury, *Microgrids and Active Distribution Networks*. London, United Kingdom: IET, 2009.
- [2] J. Widén, "Distributed Photovoltaics in the Swedish Energy System." Licentiate of Technology Thesis, Fac. Sci. and Tech., Uppsala Univ., Uppsala, Sweden, 2009.
- [3] C. Bennett and D. Highfill, "Networking AMI Smart Meters," *Energy 2030 Conference, 2008. ENERGY 2008. IEEE*, vol., no., pp.1,8, 17-18 Nov. 2008.
- [4] K. Wang et al, "A Stochastic Power Network Calculus for Integrating Renewable Energy Sources into the Power Grid," *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, vol.30, no.6, pp. 1037-1048, July 2012.
- [5] T. Khatib et al, "A new approach for optimal sizing of standalone photovoltaic systems," *International Journal of Photoenergy*, vol. 2012, Article ID 391213, 7 pages, 2012.
- [6] G.B. Shrestha and L. Goel, "A study on optimal sizing of stand-alone photovoltaic stations," *Energy Conversion, IEEE Transactions on*, vol.13, no.4, pp. 373-378, December 1998
- [7] U. Bossel, "On the Way to a Sustainable Energy Future," *Telecommunications Conference, 2005. INTELEC '05. Twenty-Seventh International*, vol., no., pp.659,668, Sept. 2005.
- [8] D. Wu, "Providing Quality-of-Service Guarantees in Wireless Networks," Ph.D. dissertation, Dept. Elect. Eng and Comp. Eng., Carnegie Mellon Univ., Pittsburgh, PA, 2003.
- [9] Jackseário António Dionísio do Rosário, "A Quality of Service Electric Generation Capacity and Stochastic Optimization Theory for Microgrids Utilizing Photovoltaic Sources," Masters Thesis, The University of Texas at San Antonio, June 2013.
- [10] G. L. Choudhury et al, "Squeezing the most out of ATM," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 44, no. 2, pp. 203–217, Feb. 1996.

- [11] <http://us.sunpowercorp.com/>
- [12] J. Polo et al. "A simple approach to the synthetic generation of solar irradiance time series with high temporal resolution." *Solar Energy*, vol. 85, no 5, pp. 1164-1170. May 2011.
- [13] Stand-Alone Photovoltaic System, Sandia Nat. Lab. Albuquerque, NM, SAND87-7023, Jul. 2003.
- [14] J.H. Lucio et al, "Loss-of-load probability model for stand-alone photovoltaic systems in Europe," *Solar Energy*, vol.86, no. 9, pp. 2515-2535, September 2012.
- [15] Y. Ru et al, "Storage Size Determination for Grid-Connected Photovoltaic Systems," *Sustainable Energy, IEEE Transactions on* , vol.4, no.1, pp. 68-81, January 2013
- [16] T. Khatib, "A review of designing, installing and evaluating standalone photovoltaic power systems," *Journal of Applied Sciences*, vol. 10, no. 13, pp. 1212-1228, 2010.
- [17] G. Klise and J. Stein, "Models Used to Assess the Performance of Photovoltaic Systems," Sandia Nat. Lab. Albuquerque, NM, Rep. SAND2009-8258, Dec 2009.
- [18] I. Richardson, "Integrated high-resolution modelling of domestic electricity demand and low voltage electricity distribution networks." Ph.D. dissertation, Dept. E.E. Eng, Loughborough Univ., Leicestershire, United Kingdom, 2010.

PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DE ÓLEO DE FRITURA, BASEADO NOS PRINCÍPIOS DE INTENSIFICAÇÃO DE PROCESSOS

Ana Kiese Zelema Jeremias¹ ([anakessezeleme@gmail.com](mailto:anakiessezeleme@gmail.com)), Elson João¹ (elsonjoao@gmail.com), Garcia Cussiala¹ (cusseiala@hotmail.com), Paulo Francisco¹ (paulo.francisco@isptec.co.ao), José Luís Correia¹ (jose.correia@isptec.co.ao) e António André Chivanga Barros¹ (chivanga.barros@isptec.co.ao)

¹ Departamento de Engenharia e Tecnologia (DET), Instituto Superior Politécnico de Tecnologias e Ciências (ISPTEC), Avenida Luanda Sul, Rua Lateral S10, Talatona, Luanda, Angola.

RESUMO: As preocupações ambientais decorrentes do uso dos combustíveis fósseis têm resultado na proposição de tecnologias passíveis de uso na conversão de biomassa em biocombustíveis, com as mesmas características dos derivados do petróleo, mas com reduzidas taxas de emissões dos gases do efeito estufa, principalmente por não incorporarem enxofre nas suas estruturas moleculares. Para a reflexão sobre as mudanças de paradigmas da indústria química, é apresentado neste trabalho o resultado dos estudos de produção de biocombustíveis baseados nos princípios de intensificação de processos, que usam um único equipamento para produzir biodiesel, a partir do óleo de fritura. O processo é realizado numa coluna de destilação reativa (CDR), equipamento composto por três módulos que envolvem as reações de esterificação e transesterificação e destilação extrativa. Na operação, as correntes do vapor de etanol em excesso ascendem, a partir de um evaporador instalado na base da coluna e a alimentação dos reagentes em posições periféricas, previamente definidas. As vazões de alimentação obedecem as proporções dos balanços estequiométricos, usados na definição das massas dos reagentes envolvidos no processo. No percurso da reação, o biodiesel e o glicerol residuais são recuperados na base da coluna e quando purificados, atendem as especificações estabelecidas pelas normas técnicas adotadas internacionalmente. As vantagens do uso dos princípios de intensificação de processos estão associadas ao envolvimento e uso de processos contínuos com a purificação e recuperação do álcool em excesso, no topo da coluna, e conseqüente reciclo, sem perdas significativas deste reagente, mas com grau de pureza suficiente para a sequência de reações químicas de conversão de matéria-prima em produtos com elevado valor agregado, como os descritos neste trabalho. Para qualificar o desempenho do processo, os produtos obtidos foram caracterizados com a determinação do índice de acidez, massa específica, viscosidade e índice de refração, cujos se enquadram nos limites de qualidade estabelecidos pelas normas técnicas internacionais. Assim, pode-se concluir que a intensificação de processos é um diferencial tecnológico que surge para minimizar os custos de operação industrial e o investimento na proposição de novas unidades industriais. Por outro lado, a produção de biodiesel potencializa a ampliação da matriz energética nacional com a incorporação de combustíveis alternativos e com reduzido impacto

sobre o meio ambiente, potencializando desta forma, trabalho e renda para a população do país.

Palavras-chave: Destilação Reativa, Transesterificação, Biodiesel, Coluna, Intensificação do Processo.

1. Introdução

A produção de biodiesel por esterificação e transesterificação, usando as rotas metílicas ou etílicas têm sido simbolizadas pelo uso de processos em batelada cujas limitações técnicas associam-se pela dinâmica característica destes processos, que exigem paradas para a carga da matéria-prima e descarga dos produtos. Por isto, são desenvolvidos estudos que visam implementar processos contínuos que garantam a contínua alimentação e retirada dos produtos, que deve resultar no incremento das taxas de produção, melhoria da qualidade dos produtos e redução do consumo da energia [1], [2], [3].

Por outro lado, na produção do biodiesel, tem sido usado amplamente o metanol por não formar ponto azeotrópico com a água, garantindo fácil recuperação, purificação e reutilização do reagente em excesso. Porém, o metanol tem características tóxicas que limitam o uso e por advir da produção por síntese química [3], [4], [6].

Entretanto, outros tipos de álcoois podem ser utilizados, com destaque para o etanol, um produto obtido da fermentação da biomassa sob condições devidamente controladas. Para o uso deste reagente na produção de biodiesel, as limitações estão associadas com a formação do ponto azeotrópico com a água o que exige a implementação dos processos de destilação extrativa ou azeotrópica para garantir o grau de pureza mínima necessária para o uso deste como reagente [1], [5], [8].

Os aspectos apontados têm exigido aprofundamento de estudos que perspetivam o desenvolvimento de processos contínuos baseados nos princípios de intensificação de processos, realizados em colunas de destilação reativa, capazes de envolver a destilação convencional, destilação extrativa, decantação e reações químicas de esterificação e transesterificação em um único equipamento.

Neste contexto, a proposta metodológica desenvolvida neste trabalho possibilita mudanças conceituais, com a proposição da coluna de destilação reativa que incorpora a destilação convencional e extrativa e reações químicas de esterificação e transesterificação em um mesmo equipamento, para produzir biodiesel com qualidade suficiente para atender as necessidades de biocombustíveis no mundo da sustentabilidade tecnológica.

Como referenciado, a destilação reativa é baseada nos princípios de intensificação de processos, conceito que envolve as sinergias entre reações química e separação em um único equipamento e que permite escoamento das fases em contracorrente, para se obter produtos com elevado grau de pureza e valor agregado e recirculação do reagente em excesso usado no processo. Neste processo, as reações químicas e a separação dos componentes ocorrem mediante forte interação entre as fases, que culmina na retirada contínua dos produtos, na base deste equipamento. Os princípios aqui descritos promovem o incremento da produtividade e seletividade, reduz o uso de energia, elimina as necessidades de solventes e garante elevadas taxas de conversão e, portanto, potencializa a sustentabilidade técnica e ambiental [1] [9], [10], [11].

A destilação extrativa tem sido foco de muitos estudos, devido a elevadas taxas de conversão envolvidas e capacidade para o uso como processo contínuo [8]. Por outro lado, a destilação reativa constitui-se numa das tecnologias que impulsionam a redução dos custos associados ao consumo de energia, incremento das taxas de conversão, seletividade e uso dos calores de reação [9]. A destilação reativa tem sido objeto de estudos e implementação em processos envolvidos na produção de biodiesel, por reações químicas de esterificação e transesterificação [15], [16], [12], [13].

A complexidade deste processo restringe-se a presença de múltiplas alimentações, com reações químicas, presença de catalisadores e solventes, usados para a melhoria da performance operacional destes equipamentos.

É neste contexto que no presente estudo são realizadas as reações de esterificação e transesterificação, com uso de catalisadores homogêneos, numa coluna de destilação reativa contínua, para avaliar a performance operacional em termos da produção do biodiesel. Os

experimentos foram realizados no equipamento referenciado, cujas alimentações foram inseridas nas posições definidas no projeto, nas condições de vazões estequiométricas.

Os princípios de intensificação do processo foram implementados baseado nas reações químicas referenciadas, separação, recuperação e recirculação do reagente em excesso, num único equipamento. Neste estudo, foi usado o módulo de topo da coluna para a separação por destilação extrativa com o objetivo de quebrar o ponto azeotrópico na mistura etanol e água, garantindo desta forma a reutilização do etanol como reagente e a recuperação do solvente na base da coluna com o biodiesel produzido (Figure 3).

2. Experimental

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi projetada, construída e instalada uma coluna de destilação reativa (Figura 3), composta por três módulos, que incorporam internamente recheios cilíndricos. No interior de cada módulo são inseridos aleatoriamente recheios randômicos cilíndricos, de aço inoxidável com o objectivo de aumentar a área de transferência de massa e calor necessárias para o aumento das taxas de reação química e de separação entre as fases envolvidas. O módulo localizado na parte intermediária da coluna recebe o reagente limitante (óleo) e o reagente em excesso (álcool etílico) com o catalisador ácido previamente diluído e é realizada a reação de esterificação que consiste na conversão de ácidos graxos livres em ésteres. As vazões de alimentação dos reagentes obedecem, estritamente, os balanços estequiométricos previamente calculados. Neste módulo, as misturas alimentadas descem verticalmente por ação da gravidade, interagindo fortemente com o vapor do álcool em excesso ascendente, vindo do reboiler, instalado na base deste equipamento.

Depois da reação de esterificação, a mistura descendente, entra no módulo da base da coluna, onde é alimentada a mistura estequiométrica do reagente limitante e o catalisador básico. Para este caso, a massa do catalisador alimentado deve garantir a neutralização do catalisador ácido, alimentado no módulo intermediário, e impulsionar a reação de transesterificação, realizada no último módulo. Como referenciada, no módulo da base da coluna de destilação reativa ocorre a reação de transesterificação, que resulta na produção de esteres etílicos e glicerol, que são coletados em um funil de decantação presente na base da coluna. Os

produtos contidos no funil de decantação são separados em duas fases, sendo a fase leve que concentra o biodiesel bruto e a fase pesada que contém essencialmente o glicerol bruto.

A reação de esterificação e a mistura dos catalisadores com o reagente em excesso, resulta na formação de água que é incorporada na corrente do valor ascendente. A realização das reações referenciadas com álcool hidratado, inviabiliza a reação química o que exige a instalação do módulo de topo, com a função de realizar a destilação extrativa que perspectiva a continua produção do álcool anidro necessário para a efetividade das reações químicas envolvidas no equipamento aqui concebido.

Para isto, o glicerol residual da produção do biodiesel oriundo da reação de transesterificação é alimentado na posição de alimentação contido no topo da coluna e desce por gravidade, interagindo com o vapor ascendente, condição que favorece a modificação das características termodinâmicas do etanol e que garantem a obtenção do álcool anidro. O condensado no topo desce até o reboiler onde recebe nova carga térmica e retorna, na forma de vapor, para fluir no interior da coluna de destilação reativa.

Baseado neste princípio, o vapor de álcool em excesso opera em um circuito fechado, com recirculação e purificação prévia realizada no módulo do topo da coluna de destilação reativa, usando os princípios da destilação extrativa, tendo como solvente o glicerol residual da produção do biodiesel. Por outro lado, a característica do estado estacionário deste processo é garantida pela preparação prévia dos reagentes e contínua alimentação, para a retirada dos produtos da base e a recirculação dos produtos do topo.

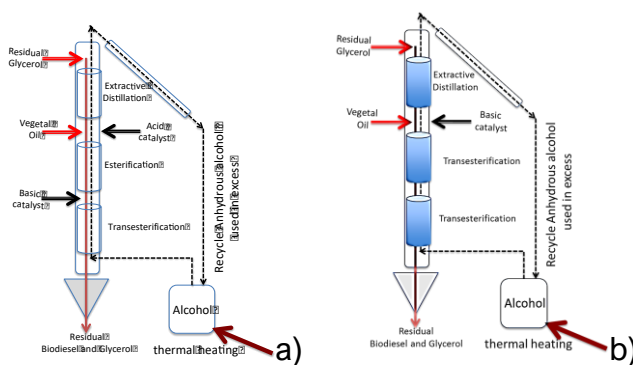


Figura 1. Coluna de destilação reativa proposta quando: a) matéria-prima com alto índice de acidez e b) matéria-prima com reduzido índice de acidez

2.1. Medida do desempenho do processo

Depois de concluída a reação, os produtos recuperados na base deste equipamento foram inseridos numa coluna de destilação em bateladas para recuperar o álcool em excesso remanescente e conseqüente separação das fases. Este procedimento possibilitou determinar o desempenho do processo em relação a massa do biodiesel produzido, comparativamente a massa do óleo alimentada no processo. O biodiesel produzido foi, em seguida, neutralizado e a fração de água foi evaporada para garantir qualidade e potencialidade de uso nos processos de combustão interna, para a produção de energia elétrica.

2.2. Produção de biodiesel em batelada

Antes da realização dos ensaios experimentais na coluna de destilação reativa, foram realizados os ensaios em um reator em batelada, utilizando os reagentes e as condições de operação usadas no sistema em batelada foram implementadas no processo contínuo, principalmente em relação ao percentual do catalisador.

2.2.1. Caracterização dos produtos da reação

A caracterização do biodiesel foi realizada através da análise do teor de éster, viscosidade cinemática, índice de acidez e massa específica. A viscosidade cinemática foi obtida utilizando um viscosímetro Ostwald baseado na metodologia ABNT NBR 10441 e, para determinação do índice de acidez, foi realizada titulação com hidróxido de potássio baseada no método ABNT NBR 14448. A massa específica foi determinada à temperatura ambiente, 20 ± 2 ° C, em picnômetro de 25 ml calibrado com água destilada. Esses procedimentos também foram usados por AAC Barros et. al. [1], quando se fez o experimento com reator em batelada.

3. Resultados e Discussões

3.1. Ensaios experimentais em batelada

Para suportar a execução dos ensaios experimentais na coluna de destilação reativa, foram realizados experimentos e feita a aquisição de dados em um reator em batelada, tendo como parâmetros de referência: a) tempo de reação; b) massa dos reagentes e catalisador; c) grau de agitação e; d) razão massa do reagente limitante e do reagente em excesso. Depois de

realizados os estudos aqui referenciados, fez-se o fecho dos balanços de massa que possibilitaram determinar as taxas de conversão, em termos da massa do biodiesel produzido. Para este caso, foi usada a massa de 92,352 gramas de óleo de fritura, 88,9 gramas de etanol etílico anidro (99,9%) e 1,108 gramas do catalisador, este último equivalente a 1,2% da massa do óleo usado no processo. O biodiesel bruto produzido foi caracterizado quando foram determinadas as principais variáveis de qualidade deste biocombustível. Para este caso, a massa específica calculada foi de 0,8785 g/ml; a viscosidade cinemática de 1,920 mm²/s e o índice de acidez de 3,1668 mgOH/g, parâmetros que apresentam desvio parcial das especificações estabelecidas pela ANP do Brasil.

As características referenciadas possibilitaram o uso da coluna de destilação reativa, baseado na configuração da Figura 1b, que envolve somente a reação de transesterificação e a purificação progressiva do vapor do álcool ascendente, por destilação extrativa, realizada no último módulo da coluna.



Figura 2. Biodiesel bruto obtido usando reação em batelada

3.2. Operação da Coluna de Destilação Reativa

Os ensaios experimentais realizados na coluna de destilação reativa que envolveram a reação de transesterificação em dois módulos e a destilação extrativa no módulo do topo deste equipamento apresentou desempenho efetivo, quanto aos fluxos de escoamento do vapor de etanol que atua como reagente em excesso, garantindo a interação entre as fases e a turbulência necessária para a efetiva transferência de massa e calor, com reação química. O aquecimento das massas alimentadas minimizou os fenômenos de formação de barreiras térmicas, e não se observou qualquer diminuição das taxas de escoamento do álcool no topo da coluna. A operação da coluna de destilação reativa possibilitou a recuperação da corrente

da base da coluna que depois da destilação, resultou na formação de duas fases, sendo a fase leve o biodiesel e a fase pesada o glicerol.

Para o alcance dos resultados referenciados, foram usados em média 1 240 gramas de óleo de fritura, 208,79 gramas da massa do etanol etílico anidro (99,9%) e 14,888 gramas do catalisador, este último equivalente a 1,2% da massa do óleo usado no processo. A implementação do processo em estado estacionário possibilitou a realização dos experimentos em uma hora, o que resultou na definição das vazões das correntes de alimentação, assim determinadas: a) vazão do óleo de fritura: 20,67 g/min e; b) vazão do etanol anidro com o catalisador dissolvido: 3,728 g/min. Nestas condições de operação, depois de estabilizado o fluxo de vapor de etanol em excesso, com vazão de 16,42 g/min, a vazão do reagente em excesso foi 4,4 vezes a vazão estequiométrica.

No percurso dos ensaios experimentais, os produtos da reação foram coletados na base da coluna que em seguida foram destilados, tendo resultado na formação de duas fases, sendo a leve o biodiesel bruto e a pesada o glicerol bruto, conforme a Figura 3.



Figura 3. Biodiesel obtido da coluna de destilação reativa

3.3. Caracterização dos produtos da reação

O biodiesel bruto advindo da reação de transesterificação em batelada e da coluna de destilação reativa, baseado nos princípios de intensificação de processo foi caracterizado e purificado mediante ensaios físicos e químicos, e teve os seus resultados comparados com aqueles estabelecidos nas normas técnicas internacionais. Parâmetros como massa

específica, índice de acidez, índice de refração e viscosidade cinemática foram calculados e presentes na Tabela 1.

Tabela 1. Dados físicos e químicos do biodiesel purificado

Amostra do Biodiesel	Massa Processada (g)	Massa Específica a 20°C (kg/m ³)	Índice de Refração a 20°C	Índice de Acidez (mgKOH/g)	Viscosidade Cinemática a 40°C (mm ² /s)	Rendimento (%)
Processo em Batelada	92,352	876,387	1,456	1,1077	1,885	92,306
Processo Contínuo	1 240,0	880,682	1,455	0,5027	1,651	15,441
Biodiesel Padrão	----	850,0 – 900,0	1,450	≤ 0,5	3,0 – 6,0	-----

Os dados do biodiesel padrão foram extraídos das normas NBR 7148 e NBR 14065 para a massa específica a 20°C, NBR 14448 para o índice de acidez e NBR 10441 para a viscosidade cinemática a 40°C [6].

Os dados contidos na Tabela 1 mostram a diminuição do índice de acidez do biodiesel oriundo da destilação reactiva, enquadrando-se na faixa estabelecida nas normas técnicas, condição não observada com o biodiesel produzido no processo em batelada. Para os dois casos, a viscosidade cinemática situou-se abaixo da faixa estabelecida, provavelmente devido a qualidade da matéria-prima utilizada neste estudo.

Os resultados obtidos neste estudo foram similares aos oriundos dos estudos realizados por Colombo et al [2], [4], [5], e Barros et al. [1], que realizaram estudos de produção de biodiesel por esterificação e transesterificação, em processos em batelada e em reatores de recirculação ou não tendo resultado em produtos com características similares às descritas neste artigo.

A limitação identificada neste estudo relaciona-se a reduzida taxa de conversão da matéria-prima em biodiesel, de 15,441% devido, principalmente, ao tempo de residência envolvida no processo. Para este caso, estudos subsequentes de avaliação das vazões de alimentação dos reagentes são necessários para maximizar o tempo de residência e aumentar o grau de conversão ou aumentar a quantidade de módulos reativos na coluna de destilação reactiva

para incrementar as taxas de reação.

Contudo, os fenómenos de turbulência que envolvem a interação entre as fases líquida e vapor devem ser avaliados para melhor entender a sua relevância nas taxas de conversão, com o uso de outros tipos de recheios e com o incremento das taxas de escoamento do vapor no interior da coluna de destilação reativa.

4. Conclusões

Com os resultados descritos neste artigo, pode-se concluir que:

- a) A coluna de destilação reactiva construída e usada neste estudo é um equipamento com elevada flexibilidade operacional e que pode envolver reações de esterificação, transesterificação, destilação convencional e destilação extrativa, condição que favorece a avaliação paramétrica dos processos;
- b) Os processos em batelada, considerando o domínio tecnológico advindo dos estudos recentes, potencializa o suporte para a implementação de processos contínuos, caracterizados pelo uso de colunas de destilação reactiva com flexibilidade operacional;
- c) O reduzido tempo de residência da reação em colunas de destilação reactiva limita a implementação deste processo, o que exige a optimização paramétrica para incrementar as taxas de conversão e obter produtos com elevado grau de pureza;
- d) Caracteriza-se como inovação tecnológica, neste estudo, o uso do reagente em excesso como vapor circulante, que é purificado no módulo do topo por destilação extrativa, garantindo grau de pureza dos produtos e, portanto, passível de como reagente;
- e) A destilação reativa promove o desenvolvimento de processos contínuos que perspectivam o incremento das taxas de produção e capazes de garantirem melhores resultados operacionais nas unidades produtivas.

Referências

- [1] Barros, A.A.C., Wust, E., Meier, H.F., Estudo da viabilidade técnico-científica da produção de biodiesel a partir de resíduos gordurosos. Eng. Sanit. Ambient 13 (3), 255–262, 2008.
- [2] Colombo K., Ender L., MM Santos M.M., Barros A.A.C., Production of Biodiesel from Soybean Oil and Methanol, Catalyzed by Calcium Oxide in a Recycle Reactor; South African Journal of Chemical Engineering; 28, 19-25, 2019.

- [3] Colombo, K., Produção de Biodiesel via transesterificação com catálise heterogênea utilizando CaO como catalisador. Dissertação de Mestrado. Universidade Regional de Blumenau, 2013.
- [4] Colombo, K., Ender, L., Barros, A.A.C., The study of biodiesel production using CaO as a heterogeneous catalytic reaction. *Egypt. J. Petrol.* 26 (2), 341–349, 2017.
- [5] Fernando D Pitt, Anabela M Domingos, AA Chivanga Barros; Purification of Residual Glycerol Recovered from Biodiesel Production, *South African Journal of Chemical Engineering*, Volume, 29, 42-51, 2019.
- [6] Luana Chiarello, Tuanne Porto, António Barros, Edésio Simionatto, Vanderleia Botton, Vinicyus Wiggers; Bosting an Oil Refinery into a Biorefinery; *Angolan Mineral, Oil & Gas Journal*, Volume 1, 1-5, 2020.
- [7] Semwal S., Arora A.K., Badoni R.P., Tulli D.K., Biodiesel production using heterogeneous catalysts., *Bioresour. Technol.* 102, 2151–2161, 2011.
- [8] Stankiewicz, A.I.; Moulijn, J.A. Process intensification: Transforming chemical engineering. *Chem. Eng. Prog.* 96, 22–34, 2000.
- [9] Cárdenas-Guerra, J.C.; López-Arenas, T.; Lobo-Oehmichen, R.; Pérez-Cisneros, E.S.A. Reactive distillation process for deep hydrodesulfurization of diesel: Multiplicity and operation aspects. *Comput. Chem. Eng.* , 34, 196–209, 2010.
- [10] Subawalla, H.; Fair, J.R. Design guidelines for solid-catalyzed reactive distillation systems. *Ind. Eng. Chem. Res.* 38, 3696–3709, 1999.
- [11] Taylor, R.; Krishna, R. Modeling reactive distillation. *Chem. Eng. Sci.* 55, 5183–5229, 2000.
- [12] Huss, R.S.; Chen, M.; Malone, M.F.; Doherty, M.F. Reactive distillation for methyl acetate production. *Comput. Chem. Eng.* 27, 1855–1866, 2003.
- [13] Huang, K.; Wang, S.J. Design and control of a methyl tertiary butyl ether (MTBE) decomposition reactive distillation column. *Ind. Chem. Eng. Res.* , 46, 2508–2519, 2007.
- [14] Kiss, A.A.; Novel Catalytic Reactive Distillation Processes for a Sustainable Chemical Industry. *Top Catal* 62, 1132–1148 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11244-018-1052-9>.
- [15] Barros, Mateus, E., & Gunza, R. D. (Setembro De 2020). PRODUÇÃO DE BIODIESEL PARA USO COMO ADITIVO NOS SISTEMAS DE COMBUSTÃO INTERNA (MOTORES) A PARTIR DE RESÍDUOS DE PROCESSAMENTO DE ALIMENTOS. Pp. 3-6.
- [16] Dib, F. H. (26 de Fevereiro De 2010). PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DE ÓLEO RESIDUAL RECICLADO. P. 113.

A IMPORTÂNCIA DA BIOMASSA, COMO FONTE ENERGÉTICA NO DESENVOLVIMENTO RURAL EM ANGOLA

Carlos Lopes

Universidade Agostinho Neto - Faculdade de Engenharia. Avenida 21 de Janeiro -Luanda – Angola. E-mail: carloslopes793@gmail.com, Tel: (+244) 912 502 719 / 945 618 238, Luanda, Angola.

Resumo: O objectivo desta apresentação está relacionada com a análise do potencial de biomassa existente nas regiões rurais em Angola, no seu desperdício nas mais distintas vertentes, e na possibilidade para o seu aproveitamento para produção de energia nas mais diversas formas. As queimadas anárquicas que se têm observado a nível de todo território nacional, reflectindo-se numa grave agressão á biodiversidade e com um desaproveitamento energético evidente, que poderia eventualmente ser usado para o desenvolvimento do meio rural, mereceu também uma análise e reflexão no âmbito deste trabalho. Independentemente da biomassa ser uma das fontes de energia mais antigas no mundo e que surge com a descoberta do fogo, a realidade em Angola tem demonstrado num quase desaproveitamento desta importante fonte energética, devendo-se sobretudo ao desconhecimento desta potencialidade energética, junto das comunidades rurais. A quase inexistência de acesso á energia eléctrica no meio rural em Angola, associada ao nível de pobreza dos habitantes rurais, comparativamente ao que se verifica nos meios urbanos no geral, faz com que em alguns casos estes recorram a fontes de energia provenientes dos combustíveis fósseis, com o inconveniente do seu custo, e com as consequências negativas que estes provocam ao meio ambiente, com a emissão de gases causadores do efeito de estufa, contribuindo para alterações climáticas á escala global, e com consequências dramáticas que afectam a humanidade no geral. A falta de tratamento dos excrementos animais, que expostos ao ar livre provocam da mesma forma a libertação de gases nocivos ao meio ambiente, e proporcionando riscos á saúde pública, inconvenientes que poderiam ser minimizados com o uso adequado de biodigestores, com custos relativamente acessíveis e com o aproveitamento de gases combustíveis e de biofertilizante, para enriquecimento dos solos agrícolas. O aproveitamento racional da biomassa, nas suas mais distintas formas, e neste caso em particular a partir dos excrementos dos animais, apresenta-se como uma importante alternativa energética, para a sustentabilidade no meio rural, e numa perspectiva global. A ausência de energia eléctrica no meio rural, dificulta o crescimento da micro indústria, sobretudo no que concerne à moagem de grãos, para obtenção de farinhas que constituem a base alimentar da maior parte dos habitantes rurais, assim como na conservação de produtos agrícolas e outros. Da mesma forma a iliteracia ali observada, poderia ser minimizada com o acesso à iluminação e a fontes de informação e de educação por via remota, e que a inexistência de acesso a energia eléctrica assim não possibilita. Nesta apresentação, pretende-se reflectir sobre a importância desta fonte de energia, com base em dados quantitativos aplicados a alguns exemplos particulares,

no sentido de alertar e incentivar a busca de políticas que permitam a divulgação e implementação de geradores energéticos com base nos biodigestores, usando a biomassa como combustível, e na produção de biofertilizantes para empoderamento dos solos, funcionando como importante contributo sustentável para o desenvolvimento do meio rural.

Palavras-chave: Biomassa, energia, renovável, biodigestor, desenvolvimento, rural.

1. Introdução

A base de desenvolvimento do ser humano, assenta em distintas necessidades fundamentais sendo uma delas o acesso a fontes de energia, particularizando aqui a energia eléctrica como fonte indispensável para o contributo evolutivo do modo de vida de qualquer ser humano. A quase inexistência desta importante fonte de energia, no meio rural em Angola, não tem permitido proporcionar uma perspectiva de desenvolvimento aceitável e promissor nestas regiões. A evolução global, nos seus mais distintos segmentos, deveu-se sem sombra de dúvidas à disponibilidade de energia nas mais diversas vertentes, e a sua disponibilidade é um recurso indispensável para a garantia do desenvolvimento social, económico, e estratégico de qualquer comunidade, particularizando o meio rural que de uma forma geral, tem sido a mais penalizada no acesso a fontes energéticas.

2. A condição de pobreza no meio rural.

Embora as definições de pobreza sejam relativas em Angola, podemos considerar em resumo a pobreza como a insuficiência de recursos financeiros que garantam o asseguramento das condições básicas de subsistência e de bem-estar de qualquer família. Os dados estatísticos disponíveis indicam que a maior parte deste grupo se encontra no meio rural conforme mostrado na Figura 1.



Figura. Incidência de pobreza por sexo, grupo etário e área de residência. Fonte [1]

O acesso à energia eléctrica é determinante para a melhoria da qualidade de vida de qualquer comunidade. A existência desta fonte no meio rural, iria contribuir de forma marcante no

desenvolvimento deste sector nos mais diversos segmentos, desde a conservação de produtos, o acesso á informação associados uma melhoria na qualidade da educação por via da possibilidade de acesso á fontes de educação remota, entre outros. O quadro da Figura 2 mostra o percentual de acesso á energia eléctrica por parte da comunidade rural, mostrando que somente 7% da população rural tem acesso a esta fonte de energia. Fonte do INE (2008-2009) e IMS (2015-2016).

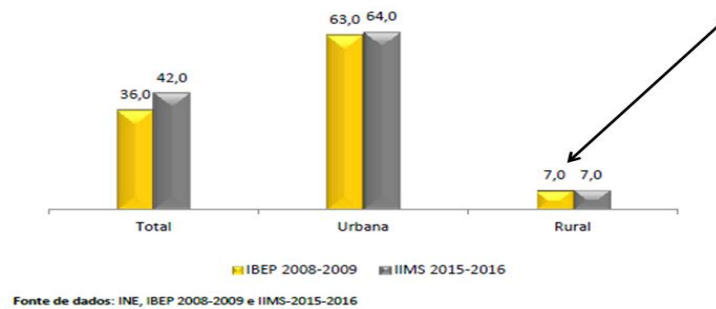


Figura 2. Percentagem de agregados familiares com acesso a energia eléctrica por área de residência, Fonte [2]

3. Os recursos energéticos mais usados em Angola

Devido á escassez de outras fontes de energia e sobretudo a nível das zonas rurais, verifica-se que o maior consumo de energia por parte das populações, está relacionado com a confecção de alimentos, aonde a grande fonte energética provém da lenha e do carvão, conforme mostrado na Figura 3.

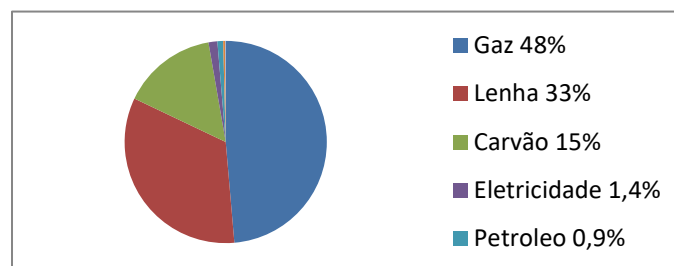


Figura 3. Fontes de energia para cozinhar em Angola - Fonte [3]

Esta situação tem provocado o desmatamento de imensas áreas florestais, com as consequências negativas ligadas ao impacto ambiental. Associa-se ainda o facto de todos os anos grandes áreas de savanas tropicais serem queimadas em Angola, provocando sérios distúrbios à natureza, e com sérios impactos, alguns deles ainda desconhecidos, mas com elevada influência no aquecimento global. As causas destas queimadas estão relacionadas principalmente com a preparação de campos agrícolas, produção de carvão, e caça. Realça-se aqui o facto de as queimadas também reflectirem um desaproveitamento energético, pois

existem actualmente técnicas que permitem um aproveitamento racional dos resíduos florestais para produção de energia

4. A biomassa como fonte energética.

A biomassa tem tido nos últimos anos, uma relativa relevância por permitir o aproveitamento de diversa matéria orgânica disponível na natureza, destacando aqui o uso dos dejectos animais como principal fonte, sobretudo no meio rural.

A massa biológica que por decomposição de resíduos orgânicos, resulte em energia é denominada por biomassa, assim sendo e numa perspectiva energética, a biomassa é o conjunto de toda a matéria orgânica que pode ter origem vegetal ou animal, e que pode ser aproveitada para produção de energia usando os mais diversos mecanismos. A diferenciação das fontes de biomassa é feita em função das suas características e origens, que podem ser obtidas desde a combustão directa, processos termoquímicos e processos biológicos como a digestão anaeróbia e fermentação. No âmbito desta apresentação, é destacado este último, os processos biológicos usando a digestão anaeróbia, com aproveitamento do biogás a partir dos dejectos animais, com recurso a biodigestores, a Figura 4 mostra um exemplo de biodigestor modelo indiano, embora existam outras tipologias mas que o objectivo final é o mesmo.

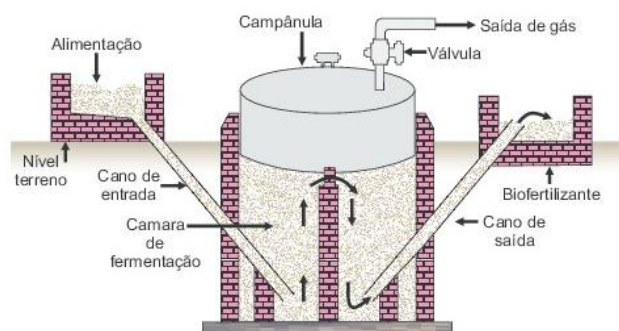


Figura 4. Exemplo de um biodigestor indiano. Fonte: [4]

Trata-se de uma prática de aproveitamento energético em uso com sucesso em vários países, sobretudo no meio rural e cujo custo é relativamente baixo. As populações rurais vulgarmente recorrem à criação animal para auto-suficiência, e normalmente os dejectos destes animais são deixados ao ar livre, os constituintes destes dejectos animais afectam as águas superficiais por serem constituídos por matéria orgânica, nutrientes, bactérias fecais e sedimentos. A emissão de gases originados pelos dejectos podem produzir efeitos prejudiciais e alterar de forma indesejada, as características do ar e do ambiente e causar eventuais prejuízos à saúde pública, para além de poder propiciar o surgimento de chuvas ácidas devido à emissão de gases originados pelos dejectos e contribuírem de forma negativa no aquecimento global da terra.

5. A biomassa a partir do esterco animal para produção de biogás

A decomposição dos dejectos pela acção de bactérias, num ambiente com ausência de ar, processo denominado como digestão anaeróbica que ocorre de forma natural com quase todos os compostos orgânicos, provoca a libertação de gases alguns destes combustíveis conforme mostrado na Figura 5. Este processo é realizado pela digestão anaeróbica em biodigestores, onde o processo é favorecida pela humidade e pelo aquecimento que é provocado pela própria acção das bactérias, com a vantagem de se aproveitar o material resultante do processo como biofertilizante, que segundo experiencias obtidas em vários sectores possui um bom potencial que em muitas circunstâncias pode substituir o adubo usual.

Tabela 1: Possíveis percentuais dos constituintes do biogás

Metano (CH ₄)	50% a 75%
Dióxido de carbono (CO ₂)	25% a 40%
Hidrogénio (H ₂)	1% a 3%
Nitrogénio (N ₂)	0,5% a 2,5%
Oxigénio (O ₂)	0,1% a 1%
Gás Sulfídrico (H ₂ S)	0,1% a 0,5%
Amónio (NH ₃)	0,1% a 0,5%
Monóxido de Carbono (CO)	0% a 0,1%
Água (H ₂ O)	Variável

Fonte: Cassini(2003)

Figura 5. Percentuais aproximados dos constituintes do biogás, Fonte [5]

Com base no modelo adoptado pelo “*Intergovernmental Panel on Climate Change*” IPCC, podemos encontrar uma equação para calcular o Factor de Emissão do metano, FEM Fonte [8]

$$FEM = SV \times 365 \times \beta_o \times 0,67 \times \frac{FCM}{100} \times SM$$

Onde:

FEM - Factor de emissão de metano (kgCH₄/Cab.ano)

SV -Sólidos voláteis (kgsv/Cab.dia)

Bo - Capacidade de produção de metano pelo dejecto (m³CH₄/kgsv)

0,67 - Conversão de m³ de metano para kg (Adimensional)

FCM - fator de conversão de acordo com o manejo (%)

SM - Factor do sistema de gerenciamento dos dejectos (Adimensional)

Tabela 1. Valores tabelados da metodologia do IPCC para os parâmetros qualitativos.

Categoria	SV (kg cab ⁻¹ dia ⁻¹)	B ₀ (m ³ _{CH₄} kg _{SV} ⁻¹)	FCM (%)	SM
Suínos	0,3	0,29	0,79	1
Vacas de leite	2,9	0,13	0,79	1
Outros bovinos	2,5	0,1	0,79	1

Fonte: IPCC, 2006.

Tabela 1. Parâmetros qualitativos - Fonte [6]

A Tabela 2 mostra-nos a relação comparativa de 1mm³ de biogás com outros combustíveis usuais, no sentido de se aferir melhor o potencial energético aproximado do biogás.

Gasolina	Gasóleo	Biodiesel	GPL	Eletricidade	Lenha	Pellets madeira
0,61 litros	0,7 litros	0,55 litros	0,45 Kg	6,9 kWh	1,538 Kg	0,304 g

Fonte: Silva (2009)

Tabela 2. Relação comparativa de 1mm³ de biogás com outros combustíveis - Fonte [7]

A título de exemplo um suíno de porte médio, pode produzir aproximadamente 0,7 m³ de biogás por dia, significando dizer que quatro suínos do mesmo poderiam produzir o equivalente a 21kWh de energia eléctrica, suficiente para alimentar uma habitação simples e típica do meio rural em Angola.

6. Conclusão

O biogás configura-se uma energia renovável, contribui para a descentralização e é economicamente viável. As infraestruturas necessárias para construção do biodigestor estão disponíveis no mercado angolano. Garante a sustentabilidade do meio ambiente, devido à absorção de gases de efeito de estufa pelo ciclo natural de carbono neutro sobretudo na época agrícola. O biofertilizante, resultante do processo, funciona como factor de rentabilidade e economia para os camponeses. A produção de biogás a partir dos excrementos dos animais, é um procedimento que deve ser considerado, e que pode contribuir para o desenvolvimento rural em Angola.

Bibliografias

Cardoso, Bruno Monteiro (2012) -Uso da Biomassa como Alternativa Energética – Universidade Federal do Rio de Janeiro. (2012), Disponível em : <http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10005044.pdf>;

INE –Angola (2017) – Objectivos de Desenvolvimento Sustentável – Relatório sobre os indicadores de linha de base 2030. Disponível em: [file:///C:/Users/hp/Downloads/UNDP_AO_Relat%C3%B3rio%20ODS_IND_BASE_FINAL%202018%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/hp/Downloads/UNDP_AO_Relat%C3%B3rio%20ODS_IND_BASE_FINAL%202018%20(1).pdf);

Lázaro, Gilson (2016)- Marginalização e Pobreza em Malanje Rural, Angola - Inge Tvedten, (2016) Bergen: Chr. Michelsen Institute (CMI Brief vol. 15 no. 18) 4 p. Disponível em: <https://www.cmi.no/publications/6123-marginalizacao-e-pobreza-em-malanje-rural-angola>

Quitari, Garcia Neves (2010) - Agricultura familiar em Angola: as armadilhas conceituais da classificação dicotómica Family farming in Angola: the conceptual traps of dichotomous classification **Garcia Neves Quitari** - p. 233-260 disponível em: <https://journals.openedition.org/mulemba/2010>

Scheufele, Fabiano Bisinella (2017) - Biomassa - UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ SETOR PALOTINA. Disponível em: http://www.palotina.ufpr.br/portal/bioenergia/wp-content/uploads/sites/5/2017/05/Fabiano_Bisinella_Scheufele_2017-PPGB-Biomassa.pdf

Walker, Eliana(2011) - ESTUDO DA VIABILIDADE ECONOMICA NA UTILIZAÇÃO DE BIOMASSA COMO FONTE DE ENERGIA RENOVÁVEL NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM PROPRIEDADES RURAIS. Disponível em: <https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/bitstream/handle/123456789/220/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Eliana%20Walker.pdf?sequence=1>

Cassini (2003, p124) Digestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos Orgânicos e Aproveitamento do Biogás, Disponível em : <http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/ProsabStulio.pdf>

[1] – Fonte: INE –Angola (2017) – Objectivos de Desenvolvimento Sustentável – Relatório sobre os indicadores de linha de base 2030.Disponível em: [file:///C:/Users/hp/Downloads/UNDP_AO_Relat%C3%B3rio%20ODS_IND_BASE_FINAL%202018%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/hp/Downloads/UNDP_AO_Relat%C3%B3rio%20ODS_IND_BASE_FINAL%202018%20(1).pdf)

[2] – Fonte: INE –Angola (2017) – Objectivos de Desenvolvimento Sustentável – Relatório sobre os indicadores de linha de base 2030.Disponível em : [file:///C:/Users/hp/Downloads/UNDP_AO_Relat%C3%B3rio%20ODS_IND_BASE_FINAL%202018%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/hp/Downloads/UNDP_AO_Relat%C3%B3rio%20ODS_IND_BASE_FINAL%202018%20(1).pdf)

[3] – Fonte:O Autor, Dados obtidos do INE –Angola (2017) – Objectivos de Desenvolvimento Sustentável – Relatório sobre os indicadores de linha de base 2030.Disponível em: [file:///C:/Users/hp/Downloads/UNDP_AO_Relat%C3%B3rio%20ODS_IND_BASE_FINAL%202018%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/hp/Downloads/UNDP_AO_Relat%C3%B3rio%20ODS_IND_BASE_FINAL%202018%20(1).pdf)

[4] – Fonte : Araújo, Maria Isabel do Bú Dimensionamento de Biodigestores Indiano para a cidade de Campina Grande Disponível em : <http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/chemistryproceedings/5erq4enq/eng19.pdf>

[5] – Fonte : **Cassini** (2003, pag 124) *Digestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos Orgânicos e Aproveitamento do Biogás*. Disponível em : <http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/ProsabStulio.pdf>

[6] – Fonte : **Mito, Jessica Yuki de Lima** (2018, p22) - *Metodologia para estimar o potencial de biogás e biometano a partir de plantéis suínos e bovinos no Brasil*. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1355242/0/Biog%C3%A1sFert+-+Metodologia+para+estimar+o+potencial+de+biog%C3%A1s+e+biometano+a+partir+de+plant%C3%A9is+su%C3%ADnos+e+bovinos+no+Brasil.pdf>

[7] – Fonte : **Lima, Ana Carolina Guedes** (2012, p31) – *Avaliação do Potencial Energético do Biogás Produzido no Reator UASB da ETE-UFES*. Disponível em : https://ambiental.ufes.br/sites/ambiental.ufes.br/files/field/anexo/avaliacao_do_potencial_energetico_do_biogas_produzido_no_reator_uasb_da_ete-ufes_reduzido.pdf

[8] – Fonte : **Mito, Jessica Yuki de Lima** (2018, p19) - *Metodologia para estimar o potencial de biogás e biometano a partir de plantéis suínos e bovinos no Brasil*. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1355242/0/Biog%C3%A1sFert+-+Metodologia+para+estimar+o+potencial+de+biog%C3%A1s+e+biometano+a+partir+de+plant%C3%A9is+su%C3%ADnos+e+bovinos+no+Brasil.pdf>

ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO DO BIM NA INDÚSTRIA AECO EM ANGOLA

Chiamba Canivete

Instituto Superior Técnico Militar, Departamento de Engenharia de Construções e Fortificações, Luanda, Avenida Deolinda Rodrigues. E-mail: cadochiamba@gmail.com, Tel: (+244) 924 065 707 / 914 102 687, Luanda, Angola.

Resumo: O *Building Information Modeling* é uma metodologia de trabalho aplicável de forma transversal em toda a indústria da construção que vem sistematizar conjunto de políticas, processos e tecnologias inter-relacionadas para ter uma visão abrangente do projecto e construção, contendo os seus dados num formato digital para poder acompanhar todas as fases do ciclo de vida das construções. O desenvolvimento deste trabalho numa primeira fase passa pela demonstração das vantagens do uso desta metodologia, faz resenha dos países que já a implementaram bem como apresenta a análise dos resultados obtidos a realização de um inquérito aos principais intervenientes da área de Arquitectura, Engenharia e Construção, tendo-se obtido 105 respostas válidas e os dados do estudo demonstram que o estado de conhecimento e implementação do *BIM* em Angola está na fase inicial. Na fase final fez-se a modelação partindo-se dos projectos arquitectónicos dos novos Edifícios do ISTM para a modelação piloto da CAFETARIA/BAR ISTM nas especialidades de estrutura, abastecimento de águas, drenagem e electricidade, e com exploração e demonstração de viabilidade de vários usos BIM.

Palavras-Chave: Building Information Modeling, Interoperabilidade, inquérito, Modelação paramétrica

1. Introdução

Na fase da globalização, a internacionalização dos processos construtivos no sector da Engenharia e Construção em Angola tem sofrido vários impactos nos custos de Construção bem como reabilitação. Entre 2002 a 2009, o governo Angolano investiu cerca de 30,4 mil milhões de dólares americanos em novas infra-estruturas, hospitais, escola e outros projetos [1]. Para a redução desses custos e garantia de adequado desempenho dos novos edifícios é necessário optar por novas técnicas de projeto e construção, sendo que o recurso a '*Building Information Modeling*' (*BIM*) tem surgido neste contexto como uma aposta forte a nível mundial tendo o seu uso sido tornado obrigatório em obras públicas [2], na Noruega, Finlândia, nos EUA, Singapura foram impostas modificações da lei. Na África do Sul, em 2018 foi criado o Instituto *BIM* [3], no Egipto e Camarões nas Universidades já existem treinamentos baseados em pré-*BIM* [4], Portugal existe legislação sobre o *BIM*, é o caso do Guia de contratação BIM [5]. A edição da norma ISO 19650 denota-se um claro enfoque no *BIM* [6].

Em função dessas mudanças, o estudo tem como objetivo numa primeira parte avaliar o nível de conhecimento e implementação do *BIM* no sector da construção em Angola, com recurso

a questionários dirigidos a vários atores no contexto do sector. Na segunda parte efectuar a implementação piloto de modelação *BIM*, aplicada no contexto dos novos edifícios do Instituto Superior Técnico Militar, nas especialidades de estruturas e redes de abastecimento de água, águas residuais, águas pluviais e electricidade.

2. BIM: Conceito Fundamentais e Implementação

2.1 Gestão de Projectos em Construção

Na indústria de construção surge a necessidade de compatibilizar a informação dos diferentes intervenientes em um único ficheiro do projecto de forma integrada. O conceito chave é a equipa de projecto trabalhar em conjunto com os outros intervenientes utilizando as ferramentas colaborativas para assegurar que o projecto coincida com os requisitos do solicitante na redução de tempo e custo. *IPD (Integrated Project Delivery)* expande a gestão de instalação na Indústria de AEC que integra pessoas, sistemas, estruturas empresariais e práticas que utiliza de forma colaborativa os talentos e ideias de todos os participantes o que facilita a coordenação entre as disciplinas de design e construção civil [7], incentiva as partes a se concentrar nos resultados do projecto, em vez de seus objectivos individuais, deslocando a força fundamental da prevenção de riscos e compensação da recompensa [8].

2.2 Nível de maturidade BIM

A implementação de *BIM* é complexa por envolver novos processos de projecto baseados na coordenação, na interoperabilidade e na partilha de informações num só modelo [9], actualmente existem três níveis de maturidade *BIM* para a colaboração na indústria AEC principalmente na entrega de projectos/produtos [10].

Nível 1 – Metodologia tradicional CAD 2D e 3D, numa plataforma de trabalho comum aos intervenientes, com *standards* de organização de informação e formatos”;

“Nível 2 – Metodologia *BIM* 3D, em ambiente colaborativo, estruturado de acordo com as diferentes especialidades de projecto; desenvolvendo modelos parciais integrados, permitindo utilizar *BIM* no âmbito do planeamento da obra (4D) e/ou gestão de custos (5D) ”;

“Nível 3 – Modelo único totalmente integrado; este sistema é gerido através de um servidor colaborativo, com utilização do 4D e 5D, para além da gestão e manutenção ao longo do ciclo de vida do edificado (6D) ” [9].

2.5 Plano de Execução BIM (PEB)

BIM Execution Plan é o documento que serve de fonte de referência para todos os membros da equipa de projecto, onde é estabelecido de forma clara qualquer variação acordadas como padrão, os protocolos específicos do projecto, as estratégias de troca de dados e o nível de detalhe esperado[10]. PEB descreve os processos, as funções e as obrigações de cada entidade envolvida nas várias fases contratadas do ciclo de vida do empreendimento em termos da aplicação da metodologia *BIM*, de modo a responder aos requisitos de informação *BIM* da Entidade Contratante previamente definidos. Cada PEB deverá ter uma estrutura

adaptada a cada tipo de prestação de serviço, em alinhamento com a estratégia *BIM* definida pelo Gestor *BIM* do Empreendimento [5].

3. Metodologia

O estudo busca respostas de maneira a compreender a actual dinâmica *BIM* em Angola, através de inquérito aos 4 grupos previamente seleccionado do sector de AEC sendo as Instituições de Ensino Superior, Gabinetes de Projecto, Empresas de Construção e ao Donos de Obra. As questões foram estruturadas de maneira a caracterizar o nível de conhecimento, implementação e maturidade do *BIM* em Angola, onde foram obtidas 105 respostas válidas conforme à Tabela 1.

Tabela 1: Número de respondentes por grupo inquirido

Grupo Inquirido	Total de respostas
Instituições de Ensino Superior Público e Gabinetes de Projecto	35
Empresas de Construção	29
Donos de Obra	23
	18

Na fase final fez-se a modelação partindo-se dos projectos arquitectónicos dos novos Edifícios do ISTM para a modelação piloto da CAFETARIA/BAR ISTM nas especialidades de estrutura, MEP com exploração e demonstração de viabilidade de vários usos *BIM*.

4.1. Parte I: Resultados dos Inquéritos relativo à metodologia *BIM* em Angola

Existe alguma desigualdade relativamente ao número de respostas obtidas por grupo inquirido. A Figura 1 ilustra a percentagem de respondentes por grupo, fazendo também uma breve caracterização de cada grupo.

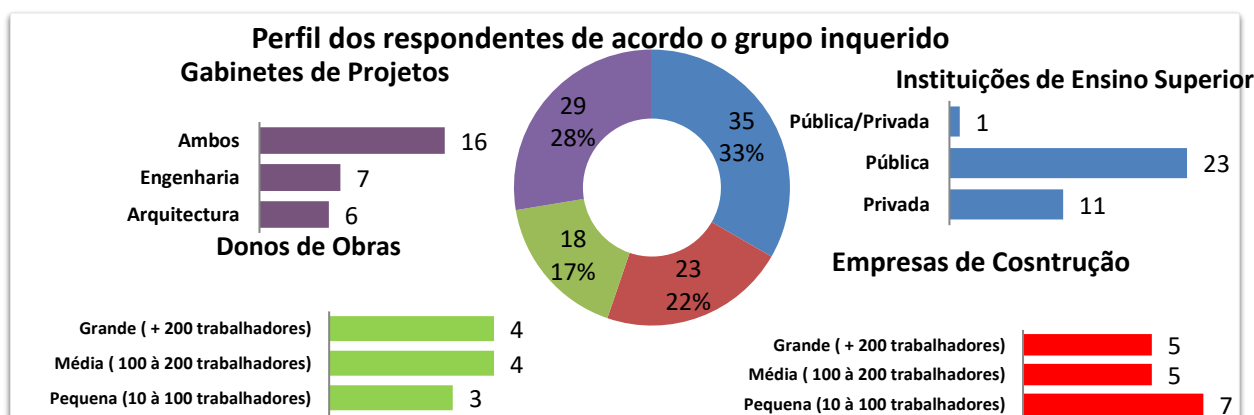


Figura 4. Caracterização do perfil dos respondentes de acordo com o grupo inquirido

Dos quatro grupos inquiridos, o grupo de respondentes das Instituições de Ensino Superior é o mais representativo, com 35% das respostas obtidas. Para o tipo de formação cerca de 70% são engenheiros, 22% arquitectos e os restantes 8% possuem outras formações. Conforme ilustra a Figura 2, dos 105 respondentes ao inquérito, 75 conhecem o conceito BIM (71 %) e destes 51% obtiveram através de pesquisa e 20% pela formação académica. O conhecimento desta metodologia por formação profissional atinge 24 % dos respondentes o que demonstra boa divulgação da metodologia em Angola.

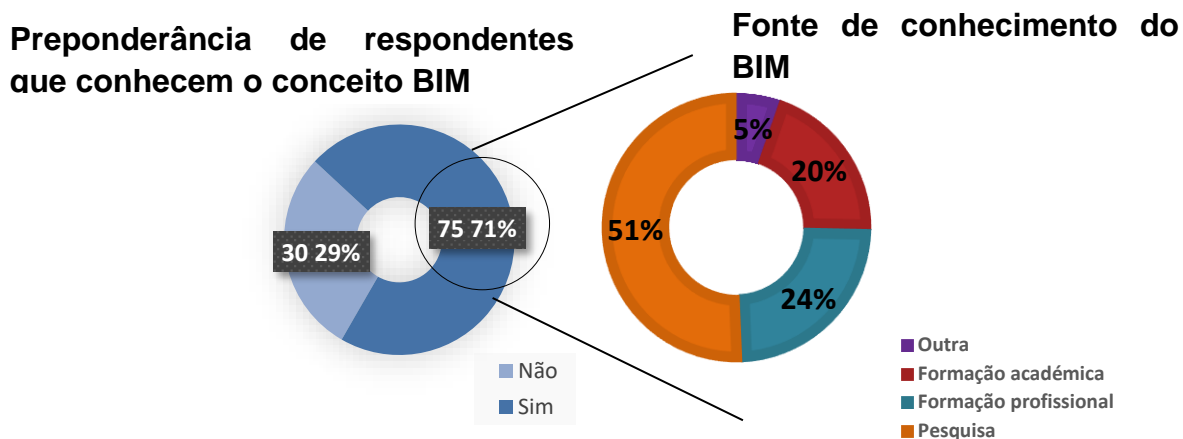


Figura 5. Análise de respondentes que conhecem o conceito BIM e fonte desse conhecimento

A percentagem de respondentes que conhece o conceito BIM em função tipo de formação, o grupo com formação em Engenharia 79,7% conhece o conceito, enquanto 60,9% dos indivíduos com formação em Arquitectura.

Os respondentes que conhecem o conceito BIM, consideram as principais vantagens são: a “redução de erros e omissões” para as Empresas de construção, “ melhor compreensão do projecto pela visualização 3D; apoio a gestão da obra; redução do tempo e custos do projecto/obra” para os Donos de obras e “ melhor compreensão do projecto pela visualização 3D” para as Instituições de ensino superior. Por outro lado, o “maior recurso à prefabricação” e “manutenção do edificado “são as menos reconhecidas pelos respondentes.

Para a adesão ao BIM, as Instituições de Ensino Superior e Gabinete de Projectos consideram que é condicionada pelo aumento do número de colaboradores com conhecimento em BIM. As empresas de construção consideram o aumento do número de colaboradores, exigências das entidades licenciadoras e solicitação dos donos de obras. Os donos de obras consideram as exigências das entidades licenciadoras. O factor com menor importância é o licenciamento automático, embora as Instituições de Ensino Superior consideram também as exigências de BIM por parte das entidades licenciadoras. Analisando as respostas em função do tipo de formação, a opção mais votada é o Aumento do número de empresas com conhecimento em

BIM. Já para a caracterização da implementação *BIM*, quanto às principais áreas onde focalizaram investimento, para os gabinetes de projectos, o médio investimento foi em formação técnica e *hardware*, e pouco investimento em *marketing*. Para as empresas de construção temos grande investimento em *hardware* e *software*, o médio investimento em formação técnica e processo colaborativos, e pouco investimento em *marketing*.

O estado da implementação *BIM* em Angola, dos respondentes no grupo de gabinetes de Projecto 9 (31,%) afirmam ter implementado e para as empresas de construção apenas 8 (34,7%) implementaram. Verifica-se um valor inferior de implementação dos gabinetes de projecto em Angola por ainda existir poucos entidades que solicitam a desenvolvimento do projecto com esta metodologia como se pode observar, dos 18 respondentes do grupo dos donos de obras, apenas 5 tinham solicitado a utilização desta metodologia para apoio ao projecto e apoio à construção embora não tenham solicitado o modelo da construção para futura manutenção. Muito alegam não implementar por necessitar de investimento elevado, as funcionalidades que esta metodologia apresenta não serem compatíveis com as necessidades da empresa ou as exigências do mercado e porque os parceiros ainda não utilizam.

Para as instituições de ensino superior, 4 (13,6%) respondentes afirmam que a temática já é abordada tanto nos planos de estudo bem como em outras unidades curriculares.

Quanto a Nível de maturidade ainda é reduzido apenas 6 entidades entre as 52 (29 Gabinetes de projecto e 23 Empresas de Construção), acredita-se por ainda não existir a exigências das entidades licenciadoras e solicitação dos donos de obras aumentará a adesão a metodologia *BIM*.

4.2. Parte II: CASO DE ESTUDO: CAFETARIA /BAR DO ISTM

No caso de estudo desenvolve-se a fase de projecto para a Cafeteria/Bar com apoio a utilização da plataforma *BIMserver.center* desde a modelação inicial, cálculo, dimensionamento e verificação de requisitos regulamentares até à obtenção do modelo federado. A modelação das especialidades através de processos automáticos e mediante a validação de cada projectista responsável os modelos são verificados se cumpre com os requisitos técnicos do *BEP*, resulta o modelo federado que representa em cada momento o avanço do projecto, permitindo a cada projectista detectar e resolver interferências e colisões, o que permite diminuir os erros e omissões na fase de projecto.

Um outro potencial uso do modelo *BIM*, é a geração de conteúdo multimédia que pode melhorar a tomada de decisão no processo colaborativo, comunicação e treinamento além da segurança o que proporciona uma visão mais exacta do que será construído bem como entender as camadas de materiais e instalações que muitas vezes são complexas através de desenhos, onde podem ser usados dispositivos que façam leitura de códigos QR, óculos Realidade Virtual e os Smartphone, que permite ao usuário reproduzir não apenas as

informações físicas mas também os resultados das simulações do processo de projecto sem depender das aplicações nativas.

5. Conclusão

O mundo da construção tem sofrido muitos impactos e com este estudo foi possível recolher uma sucessão de resultados para traçar um panorama da adoção da tecnologia BIM. Em Angola a metodologia está numa fase inicial e as principais vantagens que os respondentes, que conhecem o conceito, destacaram foram a “redução de erros e omissões” “melhor compreensão do projecto pela visualização 3D; apoio a gestão da obra; redução do tempo e custos do projecto/obra”. Para uma maior adesão deve aumentar o número de colaboradores com conhecimento, exigências das entidades licenciadoras e solicitação dos donos de obras. O nível de maturidade é ainda reduzido de uma forma geral. O modelo piloto da Cafetaria/Bar ISTM responde a possibilidade de aplicação de vários usos BIM e é possível confirmar e demonstrar que, pela utilização da plataforma BIM pelos diferentes intervenientes do projecto reduz a necessidade de reuniões presenciais promovendo uma coordenação de forma virtual sem desperdício de tempo.

Referências

- [1] Søreide T. Projectos de Construção Pública - Angola Necessidade de fortificar as barreiras contra a corrupção 2011;1:1–4.
- [2] Berdeja EP. Análise de Conflitos num Projeto de Base BIM. Instituto Superior Técnico, 2014.
- [3] BIM I. BIM in South Africa 2019 Global report BIM in South Africa 2019 2019.
- [4] Mbarga RO, Mpele M. BIM Review in AEC industry and lessons for Sub-Saharan Africa: Case of Cameroon. *Int J Civ Eng Technol* 2019;10:930–42.
- [5] Costa AA, Matos B de C, Drumond D, Rodrigues I. Guia de Contratação BIM. 2017th ed. Lisboa: 2017.
- [6] BSI. Organization of information about construction works — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and Principles. vol. 2018. 2018.
- [7] AIA. Integrated Project Delivery: A Guide. *Integr Proj Deliv A Guid* 2007:18. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.002> [Acedido em Abril 2018].
- [8] Manzione L. Proposição de uma Estrutura Conceitual de Gestão do Processo de Projeto Colaborativo com o uso do BIM. *Usp* 2013:343. <https://doi.org/10.11606/T.3.2013.tde-08072014-124306>[Acedido em Fevereiro 2017].
- [9] Venâncio M. Avaliação da Implementação de BIM-Building Information Modeling em Portugal. Universidade do Porto, 2015.
- [10] BSI. Institution, British Standard - PAS 1192-2:2013 Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling. London: 2013.

PRODUÇÃO DE ÁLCOOL ETÍLICO ANIDRO A PARTIR DA HIDRÓLISE E FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA DO AMIDO DO MILHO

Edmilson Cipriano¹ (20160707@isptec.co.ao/edmilson.josyana@gmail.com), Tchilene Major¹ (20160605@isptec.co.ao), Benevides Pessela¹ (benevides.pessela@isptec.co.ao) e António André Chivanga Barros¹ (chivanga.barros@isptec.co.ao)

¹ Departamento de Engenharia e Tecnologia (DET), Instituto Superior Politecnico de Tecnologias e Ciências (ISPTEC), Avenida Luanda Sul, Rua Lateral S10, Talatona, Luanda, Angola.

Resumo: O álcool etílico é uma substância orgânica com um grupo funcional, hidroxila, ligado ao radical etil. É uma substância versátil utilizada como esterilizante e como combustíveis alternativos aos combustíveis fósseis, especialmente gasolina. Este é obtido por fermentação alcoólica da biomassa que contém açúcares fermentáveis. Neste processo as leveduras ou microrganismos contidos no fermento, convertem os açúcares em álcool etílico por via metabólico anaeróbico. A fermentação foi realizada com o controlo rigoroso do °Brix durante 3 dias. O álcool produzido, presente em menores concentrações em água foi purificada por destilação convencional e destilação extrativa que garantiu o incremento do grau de pureza e o valor comercial deste produto e consequente caracterização físico-química. O desempenho do processo, na sua globalidade, foi eficiente e a análise fenomenológica de cada etapa possibilitou maior compreensão das operações envolvidas, com destaque para a destilação fracionada e extrativa baseada numa forte interação entre as fases envolvidas nos equipamentos utilizados.

Palavra-chaves: Fermentação, Etanol, Destilação fracionada, Destilação extrativa

1. Introdução

Nos países desenvolvidos e em vias de desenvolvimento, o processo de produção de etanol tem sido objecto de estudos científicos apurados, para o estabelecimento dos parâmetros de maior relevância usados na conversão biológica de açúcares em álcool. Caracterizado como energia renovável, é uma alternativa aos combustíveis fósseis. Tem sido incorporado nos sistemas de combustão interna de motores, com crescimento acentuado, com inserção de proporções de etanol à gasolina, compondo uma mistura com combustíveis fósseis ou usado puro, sem qualquer tipo de mistura (SANTOS, KUGELMEIER, *et al.*, 2013).

Para a produção do etanol, são exploradas matérias-primas ricas em açúcares ou amido, com destaque para a cana-de-açúcar e o milho, como alternativas mais adotadas nas plantas agroindustriais. Em Angola, o milho é um dos produtos promissores da produção de bebidas fermentáveis. Neste contexto, o Grupo Castel, tem mostrado interesse no cultivo de milho para a produção de bebidas fermentáveis, especialmente a cerveja, constituindo-se numa estratégia para minimizar a importação de matérias-primas.

O principal carboidrato do milho é o amido, um polissacarídeo composto por duas macromoléculas: amilose e amilopectina, podendo ser hidrolisado por via ácida ou enzimática. O amido é um carboidrato, polímero da glicose. Como a amilose é formada por unidades de glicose unidas por ligações glicosídicas α -1,4, que resulta na formação de uma cadeia linear. Por outro lado, a amilopectina é formada por unidades de glicose unidas em α -1,4 e também por ligações α -1,6, que resulta desta forma numa estrutura ramificada (DIAS, *et al.*, 2020; CARVALHO *et al.*, 2016).

A análise das características físicas e químicas do milho mostra a ausência de açúcares fermentáveis na sua estrutura molecular, condição que exige o uso do pré-tratamento que promove a formação de açúcares fermentáveis. O pré-tratamento de maior realce envolve a implementação de hidrólise, quando o amido do milho é convertido em glucose.

A decomposição do amido de milho é completa quando realizada em condições de temperaturas e pressões elevadas, na presença de um catalisador, para qualquer que seja o mecanismo da reação. Os mais importantes catalisadores são álcalis, ácidos e enzimas. Para este caso, a catálise enzimática tem maior seletividade, promove a formação de produtos com maior grau de pureza e requer menor quantidade de energia, se comparada com a catálise ácida que apresenta maiores dificuldades da produção de açúcares fermentáveis (CARVALHO, SILVA, *et al.*, 2016; DIAS, LUZ, *et al.*, 2020).

Rocha (2007) avaliou também a hidrólise do amido de milho usando α -amilase bactericida e amiloglucosidase fúngica. Os resultados sugeriram que grânulos de menor dimensão são mais suscetíveis à ação enzimática, principalmente em função da menor área superficial. Para os autores, as enzimas atacaram tanto as regiões amorfas quanto cristalinas dos grânulos de amido. Piva, Bender e Mibielli (2015) avaliaram também a influência da agitação e do tamanho

das partículas na hidrólise do bagaço de cevada, cujas conclusões foram similares aquelas obtidas por Rocha (2007).

O milho de massango (milho-miúdo, *Pennisetum glaucum L*) é caracterizado como uma espécie de grão miúdinho e cor escura de um cereal, usado para a alimentação humana. Quando processado, produz-se farinha, ração animal e usado também como grãos para a alimentação de passarinhos de pequeno porte, tais como periquitos e canários.

Mesmo com a descrição anterior, não existem estudos substanciais da hidrólise de amido de milho com uso de massango como fonte de enzimas amilolíticas. Entretanto, Santana (2007) avaliou o processo de hidrólise utilizando outras fontes de enzimas amilolíticas, quando produziu álcool usando dois tipos de leveduras, *Saccharomyces cerevisiae* e *Saccharomyces diastaticus*, tendo como matéria-prima o amido de mandioca. Para este caso, foi utilizado malte de cereais como fonte de enzimas amilolíticas. O autor testou malte de cevada, trigo, milho e centeio, cujos produtos foram analisados baseado na concentração dos açúcares produzidos. Depois da hidrólise, a glucose obtida foi submetida à fermentação, que resulta na conversão destes açúcares em etanol etílico, por acção microbiana.

Para Santos et al. (2013), o processo biológico de fermentação envolve reações de oxidação parcial da glucose (Equação 2) que resulta no crescimento de leveduras e na oxidação parcial anaeróbia da hexose (Equação 3), para formar álcool e dióxido de carbono.

a) Metabolismo aeróbico



b) Metabolismo anaeróbico



Os processos de fermentação são influenciados por diversos factores, principalmente o grau brix, temperatura, oxigenação, teor de nutrientes minerais e orgânicos, inibidores de concentração de levedura e contaminação bacteriana. Por outro lado, para incrementar a

eficiência da fermentação alcoólica exige-se monitoramento rigoroso dos parâmetros referenciados, ao longo do processo. Geralmente, as temperaturas de fermentação situam-se entre 26 e 35°C. Contudo, o aumento da temperatura favorece o aumento das taxas de contaminação bacteriana, tendo como consequência o incremento da sensibilidade tóxica do etanol. Ainda nesta perspectiva, a fermentação é favorecida inicialmente com reduzido pH, que cresce até os patamares de 3,5 a 4,0.

Depois de concluída a fermentação alcoólica, os produtos são fracionados por destilação convencional e destilação extrativa para se produzir álcool etílico anidro. Neste contexto, a destilação é baseada na diferença dos pontos de ebulição dos componentes constituintes da mistura, especialmente água (100°C) e álcool etílico (78,4 °C). Para Wolf et al. (2001) os processos de destilação são baseados nos princípios de equilíbrio entre as fases que abandonam um dado estágio e possibilitam recuperar os componentes constituintes da mistura, com elevado grau de pureza.

2. Experimental

O estudo da produção de álcool por hidrólise e fermentação envolve 4 etapas. A primeira e a segunda são caracterizadas como preparação do mosto e a determinação dos parâmetros associados à evolução do processo de hidrólise e fermentação. A terceira e a quarta etapa envolvem a destilação do mosto e a caracterização do álcool produzido.

2.1. Hidrólise e Fermentação

Para a preparação do mosto, pesou-se a massa do farelo de milho e transferiu-se para um bequer e adicionou-se água destilada. A mistura foi aquecida sob agitação controlada até 70°C. Depois deste processo, foi pesada a massa do açúcar e dissolvido em água, previamente pesada. A mistura então foi arrefecida até a temperatura ambiente e em seguida a hidrólise, cujos dados de operação estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Características das amostras de mosto

Parâmetros/Amostra	A	B	C	D	E
--------------------	---	---	---	---	---

Massa da biomassa (g)	65,860	65,568	65,108	65,420	800,0
Massa de água (g)	500,00	501,455	500,90	500,16	6 100,0
Massa de açúcar (g)	150,05	150,09	50,00	50,314	1 820,0
Temperatura (°C)	40,00	25,00	40,00	40,00	35,00

A hidrólise do farelo de milho foi realizado usando dois procedimentos distintos, assim descritos: a) o primeiro procedimento consistiu na utilização das sementes de massango como matéria-prima e; b) o segundo procedimento envolveu o uso de enzima α -amilase. A amostra C foi hidrolisada utilizando as sementes de massango, enquanto as amostras D e E com α -amilase. Para estes casos, fez-se a hidrólise da amostra C, tendo sido trituradas as sementes de massango, e o refinado usado para preparar uma solução com 87,178 g de massango e 28,591 g de água e adicionados ao mosto. As amostras E e F foram hidrolisadas com a adição de 5,4 e 27 g da enzima α -amilase.

Depois de 3 horas de hidrólise, realizou-se a fermentação, utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, material comumente utilizado na indústria de panificação. A preparação da levedura envolveu a dissolução do fermento em água destilada, na proporção de 1:20 (m/m), isto é, 5 g de levedura para cada 100 de água destilada. A levedura preparada foi adicionada à mistura hidrolisada, sendo 105 g para as amostras A e D e 1260 g para a amostra E. A adição referenciada estabelece o tempo zero da fermentação. O desempenho da fermentação foi realizada com a medida progressiva do grau Brix durante 3 dias.

2.2. Destilação

Para a realização deste estudo, fez-se a destilação fraccionada, que incorpora um balão de destilação com capacidade de 500 mL e uma manta de aquecimento. Foi inserido no balão 250 mL do mosto fermentado e, com aquecimento, recuperou-se progressivamente, no topo deste aparato o etanol, com concentrações maiores que as do mosto fermentado. Durante o processo de destilação, controlou-se a temperatura do vapor do topo até aproximadamente 100°C, característica da mínima concentração do etanol na mistura. Para minimizar as taxas de dissipação térmica por radiação, o balão foi isolado com papel alumínio possibilitando assim o uso de toda a energia para a operação de destilação.

Concluída a destilação convencional, e considerando que a mistura etanol/água forma ponto de azeotropia que impede a produção do etanol com elevado grau de pureza, por destilação convencional, implementou-se a estrutura para a destilação extrativa.

Nos processos de destilação extrativa, foi estruturado o aparato da Figura 1, que contém um balão de destilação de 250 mL, uma manta de aquecimento e uma coluna de fracionamento com recheios. O procedimento experimental consistiu na inserção de 100 mL do etanol obtido por destilação convencional. No topo da coluna de destilação foi inserido um funil com 60 ml de solvente, como solvente. Iniciou-se a operação de fracionamento com o acionamento da manta e consequente aquecimento da mistura contida no balão. Com o início da formação das correntes do vapor do etanol ascendente, foi aberta a válvula de alimentação do solvente, que descende por gravidade e interage com o vapor do etanol ascendente. A interação entre as fases resulta na modificação das propriedades termodinâmicas da mistura etanol/água, tendo como consequência a produção de álcool etílico anidro, recuperado no topo da coluna de destilação extrativa. Este procedimento foi concluído com a maximização da temperatura no balão de destilação, caracterizando a minimização do teor de álcool presente na mistura inicial.

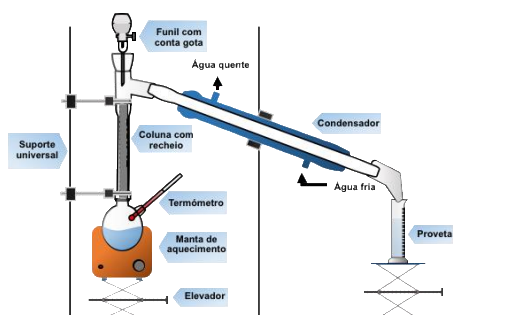


Figura 1: Aparato experimental usado para a destilação extrativa

2.3. Caracterização do Álcool

Concluídos os processos de destilação, o álcool etílico obtido foi caracterizado, por determinação do teor alcoólico (GL e INPM), obedecendo as Normas Técnicas Brasileiras da ABNT 5992:2008. Determinou-se, também, a condutividade elétrica usando um condutímetro, índice de refração e a densidade, estes dois últimos usando os procedimentos descritos neste artigo. Determinou-se, também, a viscosidade pelo tempo de escoamento do álcool líquido em um viscosímetro capilar de Oswald.

3. Resultados e Discussões

3.1. Hidrólise e Fermentação

As amostras C, D e E foram hidrolisadas durante 3 horas e o processo acompanhado com a avaliação do °Brix no tempo inicial e final de cada experimento, conforme dados contidos na Tabela 1.

Tabela 1: Evolução da hidrólise dos experimentos C, D e E.

Tempo (h)	C	D	E
0	11,5	11,8	25,8
3	12,2	12	25,9

As descrições contidas na Tabela 1 mostram que a enzima utilizada no processo não influenciou significativamente na hidrólise. O parâmetro referenciado na Tabela 1 foi avaliado durante a fermentação, para todos os experimentos realizados neste estudo, de acordo com os dados contidos na Tabela 2.

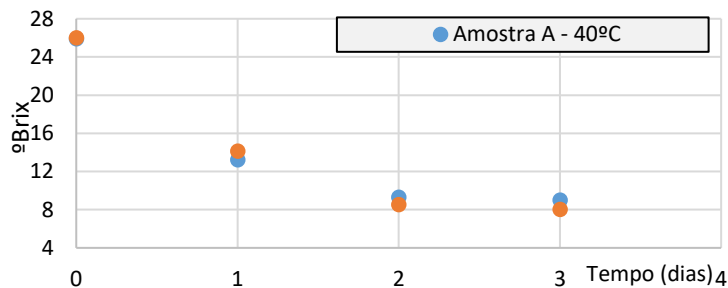
Tabela 2. Evolução fermentativa.

Tempo (dias)	A	B	C	D	E
0	25,9	26	12,2	12	25,9
1	13,2	14,1	5,1	5,5	12,2
2	9,3	8,5	5,0	4,8	9,9
3	9	8	5,0	4,7	9,6

Qualitativamente, para todos os casos, este parâmetro diminui com o tempo de fermentação, caracterizada pela conversão dos açúcares presentes em cada amostra em etanol, com maior intensidade no primeiro e segundo dia e com forte estabilização no terceiro dia. Contudo, os resultados descritos na Tabela 2, referencia, externam a necessidade de implementação da hidrólise como estratégia para a conversão dos açúcares não fermentáveis em açúcares fermentáveis, na perspectiva de incrementar as taxas de conversão dos açúcares em etanol, garantindo, desta forma, a redução acentuada do °Brix (%).

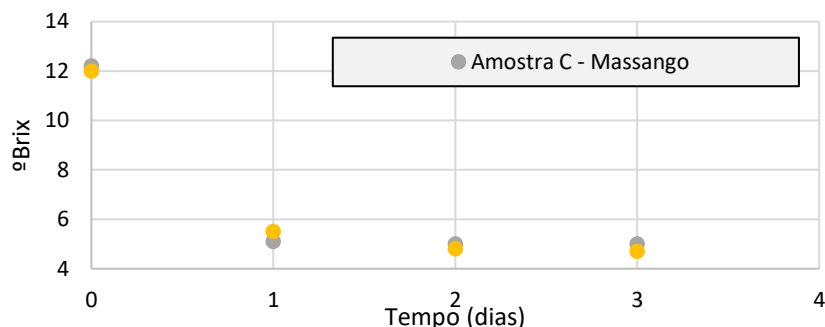
Os dados advindos dos ensaios experimentais realizados neste estudo são descritos nas Figuras 3 e 4, que mostram a influência da temperatura de fermentação e da enzima utilizada na hidrólise, sobre a evolução do °Brix medido no percurso do processo fermentativo.

Figura 3: Influência da temperatura de fermentação.



A avaliação da temperatura confirma a hipótese inicial, de que a fermentação na faixa de temperatura entre 26 e 35°C é mais adequada e com conversão de 65,25% e 69,23%, para as temperaturas de 40°C e 25°C.

Figura 4: Influência da hidrólise.



Apesar da reduzida diferença entre as duas fontes de enzimas amilolíticas, o uso de α -amilase apresentou conversão de 60,8%, em relação ao massango com 59%.

3.2. Destilação e caracterização

Os produtos da fermentação foram submetidos às operações de destilação convencional e extrativa para recuperar e purificar o álcool produzido, como estratégia de valorização, garantindo o atendimento dos padrões internacionais de uso em sistemas de combustão, reagente, aditivo, entre outras utilidade. As condições de operação de cada ensaio experimental e os resultados estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3: Resultados obtidos da destilação fraccionada

Amotras	A	B	C	D	E
Vol. alimentado (mL)	500	500	500	500	8000
Vol. Destilado (mL)	30	78	27	34	1200
Desempenho do Processo (%)	6,0	15,6	5,4	6,8	15,0
Massa específica (g/cm ³) à 20°C	0,831	0,832	0,833	0,860	0,865
Índice de refração	1,365	1,364	1,3645	1,3645	1,364
Teor alcoólico (GL) %v/v	90	89	87	82	80
Teor alcoólico (INPM) %m/m	85,5	84,4	82,4	75,3	73
Viscosidade (cP)	1,819	1,820	1,688	2,183	1,819

Dos dados contidos na Tabela 3, observa-se que a amostra C apresenta menor desempenho, 5,4%, sustentado pelas reduzidas taxas de fermentação alcoólica, observadas na Figura 4. Os ensaios de maior desempenho são aqueles dos experimentos B e E, realizados em temperaturas menores que 40°C e com teores similares de água e açúcar. Para este caso, os ensaios realizados a 40°C apresentaram um desempenho entre 5,4 e 6,8%, cuja limitação é relacionada com a temperatura de execução dos experimentos e pelas reduzidas massas de açúcar adicionadas ao sistema.

As análises da Tabela 3 mostram que as operações realizadas envolveram a produção de álcool hidratado, com concentrações entre 80 e 90%, o que exige a implementação da destilação extrativa ou azeotrópica para garantir a produção de álcool anidro, produto de maior valor agregado.

Desta forma, implementou-se os ensaios experimentais de destilação extrativa, como procedimento para aumentar os teores alcoólicos dos produtos da destilação convencional, baseado na modificação termodinâmica da mistura etanol-água. Para estes ensaios, usou-se uma coluna recheada com anéis Rashing e fez-se a destilação do destilado da amostra E, tendo como solvente o glicerol (G) e etileno glicol (EG). Os produtos da destilação extrativa foram caracterizados e os resultados presentes a Tabela 4.

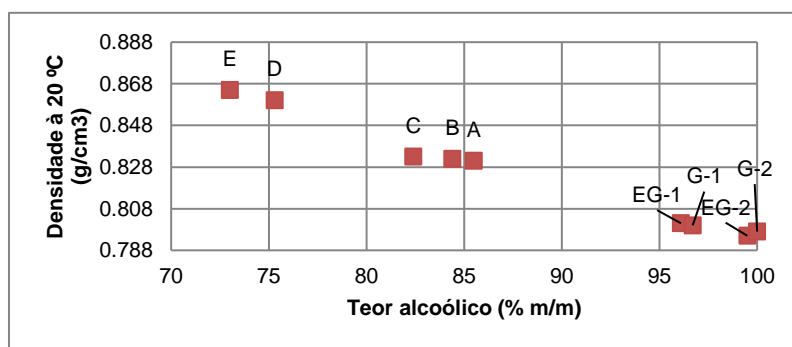
Tabela 4: Resultados obtidos da destilação extrativa

<i>Etapas de Destilação</i>	<i>1ª</i>		<i>2ª</i>	
	EG	G	EG	G
Solventes				
Vol. alimentado (mL)	100	100	60	52
Vol. Destilado (mL)	85	80	35	36
Massa específica (g/cm ³) à 20°C	0,801	0,8	0,795	0,797
Índice de refração	1,3635	1,3616	1,3615	1,3616
Teor alcoólico (GL) %v/v	97,5	98	100	100
Teor alcoólico (INPM) %m/m	96,1	96,7	99,5	100
Viscosidade (cP)	1,415	1,31	1,187	1,257

Fonte: Autor, 2021

Para aumentar o tempo de contacto entre as fases, líquida e vapor, e a interação com o solvente utilizado, foi feito o incremento do comprimento da coluna de destilação extrativa e inseridos os recheios. As características físico-químicas dos produtos estão presentes na Tabela 4 e mostram que os solventes utilizados garantiram a produção de álcool anidro com elevado teor de alcoólico e que atende as especificações internacionais. As medidas do teor alcoólico foram baseadas na determinação do índice de refração e massa específica, parâmetros associados à correlações apropriadas usadas para a determinação das concentrações de álcool em amostras.

Figura 6: Comparação da densidade com a literatura.



Os dois solventes utilizados neste estudo mostraram eficiência na quebra do ponto de azeotropia, tendo como resultado a produção de álcool anidro, com as características dos padrões internacionais deste produto. Contudo, estudos realizado por Pitt et al (2019)

mostraram que o glicerol, quando usado como solvente em processos de destilação extrativa, apresenta melhor performance operacional, se comparado com o etileno glicol. O uso do glicerol neste estudo está associado a potencialidade de reaproveitamento dos subprodutos da produção do biodiesel, como matéria-prima para os processos de destilação extrativa, garantindo o incremento das receitas das unidades industriais de produção de biocombustíveis.

4. Conclusões

Com base nos resultados contidos neste artigo, pode-se concluir que:

- a) A metodologia utilizada permitiu o estudo da fermentação, hidrólise, destilação convencional e extrativa;
- b) O uso de amilase para a hidrólise e fermentação apresentou melhores resultados em termos de volume do destilado e existe a necessidade de incremento do tempo de hidrólise para aumentar o rendimento da fermentação.
- c) O aparato montado para destilação extrativa mostrou-se viável, pois possibilitou obter etanol anidro com parâmetros físicos próximos da literatura.

Referências

- ABNT. ABNT NBR 5992 - Álcool etílico e suas misturas com água - determinação da massa específico e o teor alcoólico - Método do densímetro de vidro., 2008.
- ASTOLFI, A. L. Sacarificação e fermentação simultânea de biomassa algal e amido e uso do resíduo do processo de fermentação para obtenção de biopeptídios. Passo Fundo: [s.n.], 2019.
- Carvalho, G. R. et al. Processo de hidrólise ácida de amido de milho ao longo do tempo. XXV Congresso De Pós-Graduação Da Ufla, 2016.
- Dias, B. V. et al. Produção de etanol a partir de amido de milho hidrolisado com amilases do malte de cevada. Tópicos multidisciplinares em ciências biológicas, Ponta Grossa, p. 123-130, 2020.
- ROCHA, T. D. S. Estudo da hidrólise enzimática do amido de mandioca-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*): efeito do tamanho dos grânulos. São José do Rio Preto: [s.n.], 2007.

- SANTANA, N. B. Eficiência da hidrólise de amido de mandioca por diferentes fontes de enzimas e rendimento da fermentação alcoólica para produção de etanol. Viçosa - Minas Gerais: [s.n.], 2007.
- SANTOS, K. G. D. et al. Avaliação do Brix Final, Temperatura de Destilação e Teor Alcoólico na Produção de Bioetanol. BBR – Biochemistry and Biotechnology Reports, v. 2, p. 269-272, 2013.
- SIQUEIRA, G. A. Hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar deslignificado e distribuição topoquímica da lignina e dos ácidos hidroxicinâmicos na parede celular. São Paulo: [s.n.], 2011.
- Santos, K. G. D. Et Al. Avaliação do brix final, temperatura de destilação e teor alcoólico na produção de bioetanol. Bbr – Biochemistry and biotechnology reports, V. 2, P. 269-272, 2013.
- Fernando D. Pitt, Anabela M. Domingos , A.A. Chivanga Barros; Purification of residual glycerol recovered from biodiesel production; South African Journal of Chemical Engineering; 29 (1), 42-51, 2019.
- MR Wolf-Maciel, C Soares, AAC Barros; Validations of the nonequilibrium stage model and of a new efficiency correlation for non ideal distillation process through simulated and experimental data; Computer Aided Chemical Engineering 9, 321-326, 2001.

PREDIÇÃO DE COBERTURA PARA REDE 5G DA ZONA ECONÓMICA ESPECIAL DE LUANDA-BENGO

Campos Calenga Pataca

Instituto de Tecnologias de Informação e Comunicação, Universidade de Luanda, Faculdade de Engenharia da Universidade Agostinho Neto. Avenida 21 de Janeiro. E-mail: cleofas36@gmail.com,

Tel: (+244) 912 218 289, Luanda, Angola.

Resumo: os avanços tecnológicos, em especial na área de telecomunicações, remetem-nos quase que diariamente em contacto com novas tecnologias, equipamentos e serviços cada vez mais sofisticados usados em comunicações móveis. A medida que várias aplicações móveis e serviços *over-the-top* surgem e a internet móvel se torna ubíqua, a prestação de alta qualidade de serviços é desafiante para as operadoras de redes móveis. Com o avanço para a 5G de sistemas celulares surgem questões não apenas relacionadas com a satisfação dos potenciais utilizadores, mas também sobre a previsão de cobertura da rede 5G em determinadas zonas. Explorar o desafio da predição de cobertura em redes 5G para uma área específica circunscrita na zona económica especial da cidade de Luanda. O trabalho é baseado no estudo exploratório da predição de cobertura da rede 5G na zona económica especial Luanda – Bengo (ZEE), a partir de modelos matemáticos (empíricos e teóricos) previamente conhecidos e recurso a software específico para simulação e posterior análise dos resultados. Como instrumento de recolha de dados preliminares da zona de estudo, serviu um questionário semi-estruturado que incidiu em quatro factores essenciais: área geográfica da ZEE, coordenadas e localização da ZEE, infraestruturas físicas (nome e número das principais empresas e seus objectos sociais) e infraestrutura de rede de telecomunicações. Atendendo as características da ZEE, os resultados da simulação apresentam indicadores de boa cobertura usando macrocélulas urbanas e microcélulas. O trabalho possui evidente aplicação ao caracterizar os principais modelos de propagação para os diversos cenários, com destaque aos da zona de estudo. Foi realizado um estudo exaustivo dos modelos de propagação, caracterizando aqueles que são mais adequados para os diversos cenários e aplicáveis aos sistemas de 5G. O simulador utilizado foi o Atoll que suporta os avanços tecnológicos mais recentes, como MIMO massivo, beamforming 3D e propagação de ondas milimétricas para o projeto e implantação de redes 5G. No processo de simulação foram utilizados os cinco sites já existentes na ZEE, como ponto de partida para a predição de cobertura na implementação da rede 5G, atendendo o crescimento progressivo tanto das infraestruturas tecnológicas com do número de utilizadores que poderão beneficiar de serviços não apenas da 5G mas também de redes 4G ou em casos excepcionais ainda 3G. Os modelos utilizados na simulação foram os de Longley – Rice, o SPM e o SUI.

Palavras-chave: 5G, cobertura, modelos de propagação, predição, ZEE

1. Introdução

A quinta geração de sistemas de comunicações móveis, constitui o aprimoramento da tecnologia móvel vigente 4G. Sua estrutura viabiliza novos serviços, como o atendimento à um número cada vez maior de usuários na rede e uma internet mais rápida. A 5G impulsiona diferentes soluções tecnológicas verticais nos domínios de indústrias do futuro, energias renováveis inteligentes (*smart energy*), *smart cities*, *smart ports*, mídias, entretenimento, entre outros.

A tecnologia emergente 5G traz marcantes mudanças nas telecomunicações, com objectivos de disponibilidade universal de comunicações, com alto nível de qualidade de serviço, latência, cobertura, largura de banda e robustez, e escalabilidade. Tais premissas trazem grandes desafios quando se considera a cobertura sem fio. Este trabalho tem como objectivo estudar a predição de cobertura em redes 5G para uma área específica circunscrita na zona económica especial da cidade de Luanda, capital de Angola.

1.1. Tecnologias 5G

5G é um ecossistema de aplicativo conectado para usuários finais. Cada aplicativo gerenciará de forma adaptativa a velocidade, latência e confiabilidade dos dados, dependendo das tarefas, (Challita, 2018).

Tabela 1: Resumo dos principais requisitos de 5G

Aspectos	Principais Requisitos		Referências
Técnicos (especificações técnicas)	Compressão de dados de uplink (UDC); Flexibilidade de largura de banda LTE aprimorada; Desempenho aprimorado de Voice over Long-Term Evolution (VoLTE); Realidade virtual; Acesso ao espectro não licenciado baseado em NR; Suporte NR em redes não terrestres; Ativadores para automação de rede para 5G; Aspectos sistêmicos e funcionais de eficiência energética em redes 5G.		Penttinen, 2019; Ouyang, 2020
Dispositivos	Controlabilidade dos operadores de redes móveis (MNO); Multibanda e multimodo; Eficiência de energia; Eficiência do sinal e da fonte; Grande capacidade do sistema; Altas taxas de dados.		Kim, 2020
Mobilidade do usuário	Computação remota; Trem de alta velocidade; pontos (dispositivos ou usuários) em densa mobilidade; Conectividade 3D; Internet das coisas massiva; Comunicações extremas em tempo real; Comunicações emergenciais (socorro em desastres e previsão de emergência); Comunicações ultrarreafiáveis; Serviços semelhantes a broadcast.		Penttinen, 2019; Zhang et al, 2020
Infraestruturas de rede (IoT e 5G)	Casos de uso em diferentes indústrias		Carugi, 2019
Segurança	Terminal de usuário	Proteção da integridade e criptografia; Confidencialidade dos dados de sinalização e dados do usuário; Integridade dos dados do usuário e de sinalização; Armazenamento e processamento seguro de credenciais do assinante; Privacidade do assinante.	Penttinen, 2019; Kafedziski, 2019
	Estação Base (gNB)	Confidencialidade dos dados de sinalização e dados do usuário; Integridade dos dados do usuário e de sinalização; Instalação e configuração de gNB; Gestão chave de gNB; Manuseamento de dados de usuário e de controlo para gNB; Ambiente seguro da gNB; Interfaces gNB F1; Interfaces gNB E1.	
	Arquitetura baseada em serviços	<ul style="list-style-type: none"> • A descoberta e o registro com base em serviço NF podem ocultar a topologia das NFs entre domínios de confiança, por exemplo, entre redes domésticas e redes visitadas. • O procedimento de solicitação e resposta de serviço da NF oferece suporte à autenticação mútua entre as NFs. • Deve haver uma autenticação mútua entre a Função de Repositório de Rede (NRF) e o conjunto de NFs solicitando serviço dela. 	

A 5G tem os ingredientes para causar um impacto muito mais profundo na sociedade e nas empresas do que as gerações anteriores de tecnologia móvel fizeram, (Toskala, 2020). Os documentos chaves que estabelecem os diversos cenários de requisitos para 5G são detalhados nas recomendações da ITU-R M.2083, síntese ilustrada na tabela 1 (ITU-Y3101).

1.2. Modelos de Propagação

Os modelos de propagação são conjuntos de expressões matemáticas, algoritmos, bem como diagramas usados para representar as características de um canal RF de um determinado cenário e ambiente, (Rappaport, 2009).

Tabela 2: Principais características dos modelos empíricos (para todas as gerações)

Modelo	Frequência [MHz]	Distância [km]	Equação Usada no Cálculo
Standard Propagation Model (SPM)	150 – 3500 MHz	1 – 20 km	$PL(dB) = 22 + 44,9 \log d + 5,83 \log(h_{te}) - [6,55 \log(h_{te}) \log d]$
Log-normal	Qualquer		$\overline{PL}(d) = \overline{PL}(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right)$ $PL(d) = PL(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma$
Longley-Rice	20 MHz – 40 GHz	1 – 20 km	$PL = 32,45 + 20 \log f + 20 \log d + A_{cr}$
ABG	Qualquer	$\geq 1 m$	$PL^{ABG}(f, d) = 10\alpha \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + \beta + 10\gamma \log\left(\frac{f}{f_0}\right) + X_\sigma^{ABG}$

Basicamente, existem duas grandes categorias de modelos: empíricos e teóricos (Tcheou e Lovisol, 2019; Erunkulu et al., 2020; Sanches, 2020).

Tabela 3: Principais características dos modelos empíricos (para 1G – 4G)

Modelo	Frequência [MHz]	Distância [km]	Equação Usada no Cálculo
ECC-33	700MHz – 3,5 GHz		$PL_{ECC}(dB) = A_{fs} + A_{bm} - G_{te} - G_{re}$
3GPP	1 GHz – 3 GHz 0,5 GHz – 100 GHz	10m – 10 km	$PL_1 = 22 \log(d_{3D}) + 28 + 20 \log f$ $PL_2 = 32.4 + 40 \log(d_{3D}) + 20 \log f - 9.5 \log((d'_{BP})^2 + (h_{te} - h_{re})^2)$
IMT-Advanced	450 MHz – 6GHz	10 m – 10 km	$PL_1 = 22 \log d + 28.0 + 20 \log f$ $PL_2 = 40 \log(d_1) + 7.8 - 18 \log(h'_{te}) - 18 \log(h'_{re}) + 2 \log f$
WINNER	450 MHz – 6GHz	10 m – 10 km	$PL = 0.096(d_1[m]) + 65 + (28 - 0.024d_1[m]) \log(d_2[m])$ $PL_1 = 22.7 \log d + 27.0 + 20 \log f$ $PL_2 = 40 \log d + 7.56 - 17.3 \log(h'_{te}) - 17.3 \log(h'_{re}) + 2.7 \log f$
CI Path loss	Qualquer		$PL^{CI}(f, d)[dB] = FSPL(f, d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma^{CI}$
SUI	1,9 GHz – 11 GHz	$< 10 km$	$PL_B(dB) = A + 10\gamma \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + s$

A síntese das principais características dos modelos empíricos são ilustradas nas Tabelas 4 e 5 que possibilitam racionalizar os espaços omitidos nos modelos específicos para 1G, 2G e 3G).

Tabela 4: Principais características dos modelos empíricos (específicos para 5G)

Modelo	Frequência [MHz]	Distância [km]	Equação Usada no Cálculo
5GCM	6 GHz – 100 GHz		$PL = 32.4 + 20 \log f + 21 \log(d_{3D})$
METIS	450 MHz – 60GHz	10 m – 2 km	$PL_0 = -13.8 \log f + 3.34$ $PL_1(d_1) = 10_{n_1} \log(d_1) + 28 + 20 \log f + PL_0$ $PL_2(d_1) = 10_{n_2} \log(d_1) + 7.8 - 18 \log(h_{te}h_{re}) + 2 \log f + PL_0(d_{BP})$
mmMAGIC	6 GHz – 100 GHz		$PL = 19.2 \log(d_{3D}) + 32.9 + 20.8 \log(f_c)$
FI	Ondas milimétricas		$PL^{FI}(d) = \alpha + 10\beta \log d + X_{\sigma}^{FI}$
NYUSIM	500 MHz – 100 GHz	$\geq 1 m$	$PL^{NYU}(f, d) = FSPL(f, 1m) + 10n \log d + AT + X_{\sigma}^{CI}$

Tabela 5: Principais características dos modelos teóricos

Modelo	Frequência [MHz]	Distância [km]	Equação Usada no Cálculo	Geração
Walfisch-Bertoni	800 MHz – 2GHz	20m – 5 km	$PL_{WB} = 89.5 + A + 38 \log d - 18 \log(h_{re} - h_b) + 21 \log f$	1G – 3G
RTT	Qualquer		$P_r[dBm] = P_t[dBm] + 10 \log(G_1) + 20 \log(h_{re}h_{te}) - 40 \log d$	Todas
FDTD	Qualquer			Todas
ANN	Qualquer		$PL(dB) = \sqrt{\rho_k} \Delta r X + 5n \log\left(1 + \frac{\Delta r}{r_0}\right)$	Todas

2. Metodologia

o trabalho é baseado no estudo exploratório da predição de cobertura da rede 5G na Zona Económica Especial Luanda – Bengo (ZEE), a partir de modelos matemáticos, empíricos e teóricos, previamente conhecidos e recurso a software específico para simulação e posterior análise dos resultados.

Como instrumento de recolha de dados preliminares da zona de estudo, foi usado um questionário semi-estruturado que incidiu em quatro factores essenciais: área geográfica da ZEE, coordenadas e localização da ZEE, infraestruturas físicas (nome e número das principais empresas e seus objectos sociais) e infraestrutura de rede de telecomunicações.

3. Resultados e Discussão

3.1. Zona económica especial Luanda – Bengo (ZEE)

A ZEE foi criada pelo Decreto nº 50/09 de 11 de Setembro de 2009, como um espaço económico fisicamente demarcado, dotado de infraestruturas viárias, fundiárias, económicas e administrativas adequadas aos propósitos de competitividade, inovação, fomento intensivo da produção, criação de empregos, beneficiando em termos fiscais, de um estatuto especial (Diário, 2009).

O espaço já infraestruturado que compreende a Reserva Industrial e alberga a sede administrativa da ZEE, está situado no município de Viana, província de Luanda, numa área de 8434,70 hectares e um perímetro de 39,65 quilómetros (Diário, 2011). As coordenadas geográficas são - 8.969205, 13.451148.



Figura 1: Reserva Industrial da ZEE

Tabela 6: Principais empresas de Telecomunicações presentes na ZEE

Nº	Nome da empresa	Objecto social	Serviço prestado na ZEE
1	MS TELCOM	Prestação de serviços de Telecomunicação	Conectividade
2	ITA	Conectividade, Datacenter e Voz	Dados
3	YAH CLICK	Internet de banda larga	Dados
4	UNITEL	Provedor de telefonia móvel	Voz e dados

3.2. Processo de predição da cobertura

Para a realização do processo de predição da cobertura na zona escolhida foi definido o cenário, em termos de propagação, como sendo urbano de pouca densidade. Já que, apesar da existência de espaços suburbanos, a área de estudo (ZEE) encontra-se em crescente urbanização com infraestruturas industriais.

Atendendo as limitações, em termos de requisitos, impostas pela versão mais recente do simulador, foram selecionados três modelos para proceder a simulação: o modelo Longley Rice, o SPM e o SUI. Em termos de infraestruturas, apesar de que a implementação da 5G, exigirá alguma actualização nos equipamentos, o estudo é feito com base nas infraestruturas de Telecomunicações actualmente existentes na ZEE. Deste modo, foram definidos os parâmetros ilustrados na Tabela 7.

Tabela 7: Parâmetros iniciais para a simulação

Parâmetro	Site 0	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4
Frequência (GHz)	3,4	3	2,6	2,6	2,6
Potência T_x (dBm)	73	63	43	43	43
Altura da antena T_x (m)	70	40	24	20	20
Distância máxima $T_x - R_x$ (km)	8	5	2	2	2
Altura da antena R_x (m)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

Definidos os parâmetros e escolhidos os modelos, foi realizado o processo de simulação, inserindo os dados necessários para cada modelo, como ilustram as figuras seguintes, com mais detalhes em Anexo A:

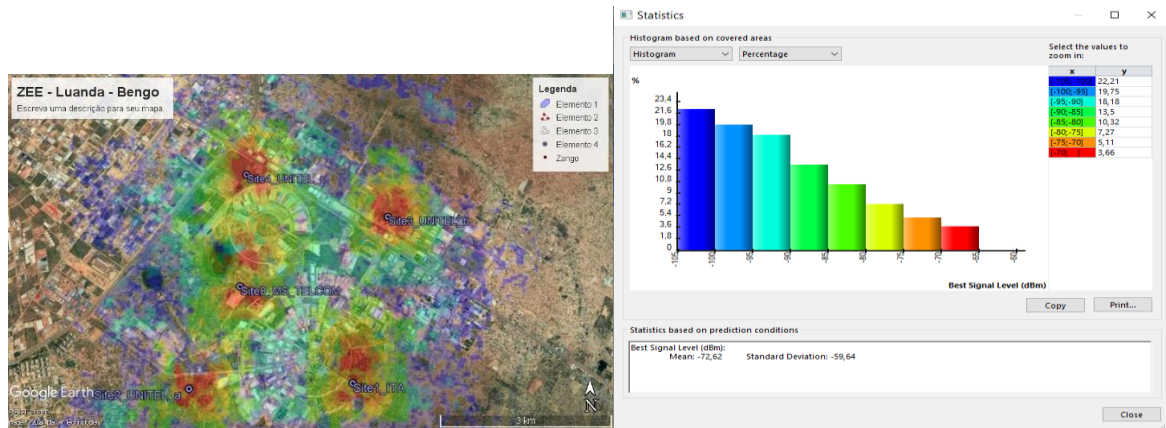


Figura 2. Definição da área de cobertura dos sites e do histograma baseado na área de cobertura



Figura 3. Definição zona de Fresnel para o site 0 para o SPM

Os resultados da simulação para os modelos e parâmetros utilizados estão apresentados na Tabela 8. A simulação foi feita com a versão Atoll 3.3 que apresenta algumas limitações para redes de nova geração com a especificidade de 5G, a versão típica para simulação de 5G é Atoll 3.4. Entretanto, devido ao requisito relacionado ao processador (6 GHz), não houve compatibilidade com o Computador usado para este trabalho, daí a razão da utilização da versão 3.3.

Com os dados utilizados, para os modelos SPM e SUI, apresentam resultados de cobertura bastante aceitáveis, o que pode ser confirmado nos gráficos da elipsóide de Fresnel.

Tabela 8: Resultados da simulação

Parâmetro	Site 0			Site 1			Site 2			Site 3			Site 4		
Ponto de Análise	(13°21'14,25"E ; 8°54'30,73"S)														
Modelo	LR	SPM	SUI	LR	SPM	SUI	LR	SPM	SUI	LR	SPM	SUI	LR	SPM	SUI
Distância [m]	12.048	10,726	10.991	14.724	13,403	13.667	12.824	11,309	11.58	13.459	12.455	12.698	10.7	9.619	9.867
Potência[dBm]	65,71	65,71	65,71	55,71	55,71	55,71	35,71	35,71	35,71	35,71	35,71	35,71	35,71	35,71	35,71
EIRP [dBm]	83,71	83,71	83,71	73,71	73,71	73,71	53,71	53,71	53,71	53,71	53,71	53,71	53,71	53,71	53,71
PL [dB]	156,58	196,93	196,13	158,78	207,9	215,06	155,45	219,28	211,87	166,77	231,37	221,82	157,82	224,93	215,3
Nível do sinal [dBm]	-72,87	-113,22	-112,42	-85,07	-134,19	-141,35	-101,74	-165,56	-158,16	-113,06	-177,66	-168,11	-104,11	-171,22	-161,59

4. Conclusões

Foi realizado um estudo exaustivo dos modelos de propagação, caracterizando aqueles que são mais adequados para os diversos cenários e aplicáveis aos sistemas de 5G.

O simulador utilizado foi o Atoll que suporta os avanços tecnológicos mais recentes, como MIMO massivo, beamforming 3D e propagação de ondas milimétricas para o projeto e implantação de redes 5G.

No processo de simulação foram utilizados os cinco sites já existentes na ZEE, como ponto de partida para a predição de cobertura na implementação da rede 5G, atendendo o crescimento progressivo tanto das infraestruturas tecnológicas com do número de utilizadores que poderão beneficiar de serviços não apenas da 5G mas também de redes 4G ou em casos excepcionais ainda 3G. Os modelos utilizados na simulação foram os de Longley – Rice, o SPM e o SUI.

Recomendações

Dadas as limitações registadas na simulação deste trabalho, recomendamos dar continuidade com este trabalho, usando Computadores com processador de 6 GHz para simulação com modelos 5GCM, METIS e NYUSIM.

Bibliografias

Carugi, Marco. “Distinguishing features - and high level requirements - of 5G/IMT-2020 networks”. ITU Regional Forum on Emergent Technologies Tunis - Tunisia, 23-24 April 2019.

Challita, U. “Artificial intelligence for wireless connectivity and security of cellular- connected UAVs,” arXiv preprint arXiv:1804.05348, 2018.

- Diário da República. “Decreto nº 50/09 de 11 de Setembro”. Diário da República de Angola, I Série Nº 173 de 11 de Setembro de 2009, pág. 2735.
- Diário da República. “Decreto nº 74/11 de 19 de Abril”. Diário da República de Angola, I Série Nº 73 de 19 de Abril de 2011, pág. 2660.
- Erunkulu et al. “Cellular Communications Coverage Prediction Techniques: A Survey and Comparison”. IEEE Open Access Journal, volume 8, 2020.
- ITU-Y3101. “Requirements of the IMT-2020 network”. Telecommunication Standardization Sector of ITU, 2018.
- Kafedziski, Venceslav. “5G Standards”. University Ss Cyril and Methodius Skopje, Republic of Macedonia, 2019.
- Kim, Haesik. “Design and Optimization for 5G Wireless Communications”. John Wiley & Sons Ltd, edition first published 2020.
- Ouyang, F. “Digital Communication for Practicing Engineers”. John Wiley & Sons Ltd, 2020, First Edition, 648p.
- Penttinen, Jyrki T. J. “Security and Deployment of Advanced Mobile Communications”. John Wiley & Sons Ltd, 2019, 326p.
- Rappaport, T. S. “Comunicações sem fio: princípios e práticas”. Pearson Education do Brasil, 2ª edição – 2009.
- Sanches, M. F. “Alocação de RoadSide Units Ciente de Obstáculos e Diferentes Modelos de Propagação de Sinal”. Universidade Estadual de Campinas. Dissertação de Mestrado. Curitiba – 2020.
- Tcheou, M. e Lovisolo, L. “Sistemas de Telecomunicações: Propagação no Espaço Livre, Ruído e Orçamento de Enlaces”. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2019.
- Zhang, Y. et al. “Understanding the Use of Crisis Informatics Technology among Older Adults.” arXiv:2001.02705v2 [cs.HC] 21 Jan 2020.

ROTEADOR NA PLATAFORMA LINUX PARA UMA REDE LOCAL

Edson Chinendele

Departamento de Sistema de Informação, DSI – Mediplus – Planos de Saúde. Rua Comandante Nzaji nº15. E-mail: edson.chinendele@mediplus.co.ao / mendes.199396@gmail.com, Tel: (+244) 912 659 994 | 935 648 193, Luanda, Angola.

RESUMO: O presente trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de um roteador em plataforma Linux para um ambiente residencial ou corporativo de médio e pequeno porte. A mesma solução será implementada em um dispositivo com um sistema operacional desenvolvido sobre o Kernel Linux, onde irá demonstrar gradativamente as funcionalidades de um roteador, gestão de endereçamento IP, encaminhamento de pacotes e filtragem de pacotes HTTP e HTTPS. Sendo uma solução em plataforma Linux vem dar solução ao elevado custo financeiro no processo de aquisição, implementação, actualização e manutenção dos roteadores nas redes corporativas e nas redes residenciais.

Palavras-chave: Roteador, Plataforma Linux, Encaminhamento de pacotes, Gestão de endereço, Filtragem de pacotes.

1. INTRODUÇÃO

A base para a comunicação em redes é o roteador. Tanenbaum (2003, p.257)¹ diz que roteador é o equipamento que interconecta redes distintas e torna possível a transmissão de informações entre equipamentos de uso final.

Nos dias de hoje, em uma rede de computadores encontra-se mais dispositivos do que apenas computadores e impressoras. Como por exemplo em ambientes residências nos dias de hoje é possível encontrarmos computadores, consolas de jogos, componente multimídia, televisores, roteadores, telemóveis, smartwatch e uma variada gama de outros dispositivos, todos em comunicação dentro deste ambiente.

¹ Tanenbaum. Redes de computadores. Pag -257

Esta variedade de equipamentos e sistemas interligados criam uma rede, uma rede é um conjunto de sistemas ou objetos ligados entre si com capacidade de trocar informações (GOUVEIA, 2011). Uma rede pode ser classificada de acordo a sua extensão geográfica e topologia, e para o presente trabalho vamos apenas abordar a rede local.

Tanenbaum (2003, p.29)² afirma que uma LAN (Local Area Network), são redes privadas contidas em um único edifício ou campus universitário com até alguns quilômetros de extensão. Uma das características destas redes é que têm um tamanho restrito.

Tendo em conta que um conjunto de equipamentos interligam entre si e formam uma rede privada estas mesmas redes algumas vezes têm uma necessidade de manter uma comunicação com uma rede pública (internet). Sabendo que a internet é um local público como se fosse uma via pública onde os pedestres estão expostos a qualquer situação perigosa o mesmo acontece com uma rede privada conectada a internet, os equipamentos da rede privada (local) tornam-se vulneráveis.

Para mitigar a situação de vulnerabilidade utiliza-se uma firewall. “Firewall é uma solução de segurança baseada em hardware ou software que, a partir de um conjunto de regras ou instruções, analisa o tráfego de rede para determinar quais operações de transmissão ou recepção de dados podem ser executadas.” (MOLENAAR, 2015).

Os equipamentos da rede precisam ser atribuídos um endereço lógico, este endereço é conhecido como Endereço de IP e o mesmo não deve ser repetido dentro da mesma rede. Para considerar a característica de que o IP não deve ser repetido numa rede utiliza-se um servidor DHCP (Dynamics Host Configuration Protocol).

Segundo Tanenbaum (2003, p.349)³ um servidor especial que atribui endereços IP a hosts que solicitam um endereço. Esse servidor não precisa estar na mesma LAN em que se encontra o host solicitante.

² Tanenbaum. Redes de computadores. Pag -29

³ Tanenbaum. Redes de computadores. Pag -349

Para encontrar seu endereço IP, um host recém-inicializado transmite por difusão um pacote DHCP DISCOVER. O agente de retransmissão DHCP em sua LAN intercepta todas as difusões do DHCP. Ao encontrar um pacote DHCP DISCOVER, ele envia o pacote como um pacote de unidifusão ao servidor DHCP, talvez em uma rede distante. O único item de informações que o agente de retransmissão precisa ter é o endereço IP do servidor DHCP.

2. MATERIAIS E METÓDOS

2.1. Equipamentos Utilizados

Este trabalho propõe o uso do Raspberry Pi 3 para ser configurado como roteador em uma rede local.



Figura 1. Foto do Raspberry Pi Fonte: Autor

Suas principais características técnicas são (Model B+):

- Processador: Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 64-bit SoC @ 1.4GHz;
- Memória: 1GB LPDDR2 SDRAM;
- Conectividade: 2.4GHz and 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac wireless LAN, Bluetooth 4.2, BLE / Gigabit Ethernet over USB 2.0 (maximum throughput 300Mbps) / 4 × USB 2.0 ports;
- Vídeo: 1 × full size HDMI;
- Ambiente: Operating temperature, 0–50°C;
- Porta Ethernet: 10/100/1000Mb
- SO: Raspbian
- Release date: May 7th 2021
- Kernel version: 5.10

Para os equipamentos como cliente utilizou-se sistemas diferentes Windows e Linux, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Especificação de Hardware

Especificação Hardware	Raspberry pi	HP laptop / 3x
CPU	ARM Cortex-A53, 1.2GHz	Intel Core i5 7th Gen, 2.5GHz
CPU Cores	4	4
CPU caches	L1 e opcional L2	L1,L2 e L3
RAM	1GB, 900 MHz	8GB, 2133 MHz
Storage	32GB	250GB
Operation	Raspbian	Windows 7 / Windows 10 / Kali Linux

Para conectividade e comutação de pacotes na rede local utilizou-se um switch de 5 portas ethernet com uma taxa de velocidade de 10/100/1000Mb.

2.2. Configuração e Desenvolvimento do Roteador

Apresentamos a seguir o processo de desenvolvimento do roteador, e em detalhes mais a fundo são apresentadas as características do roteador, os seus mecanismos de endereçamento, de encaminhamento de pacotes, de segurança e teste da implementação.

2.2.1 Configuração das interfaces de Ethernet

O roteador possui duas portas Ethernet para facilitar o processo de encaminhamento de pacotes da rede local para a rede externa (internet).

A interface Ethernet 1 é a WAN que leva os equipamentos da rede LAN para internet. Nesta interface é onde acontece o NAT convertendo os endereços da rede local para o endereço externo.

```
root@localhost ~]# cat /etc/sysconfig/network-scripts/ifcfg-enp0s3
TYPE="Ethernet"
BOOTPROTO="dhcp"
DEFROUTE="yes"
PEERDNS="yes"
PEERROUTES="yes"
IPV4_FAILURE_FATAL="no"
IPV6_INIT="yes"
IPV6_AUTOCONF="yes"
IPV6_DEFROUTE="yes"
IPV6_PEERDNS="yes"
IPV6_PEERROUTES="yes"
IPV6_FAILURE_FATAL="no"
NAME="enp0s3"
UUID="dc6345cc-bcce-4c42-a41e-75f3852a4245"
DEVICE="enp0s3"
ONBOOT="yes"
```

Figura 2. Configuração da interface WAN (Fonte: Autor)

A interface Ethernet 2 é a LAN, para manter a comunicação com os computadores da rede local, para fazer a distribuição do serviço de DHCP para a rede local. A Ethernet2 é a porta que liga o Switch da rede local.

```
[root@localhost ~]# cat /etc/sysconfig/network-scripts/ifcfg-enp0s8
TYPE=Ethernet
BOOTPROTO=static
IPADDR=192.168.0.254
NETMASK=255.255.255.0
DEFROUTE=yes
PEERDNS=yes
PEERROUTES=yes
IPV4_FAILURE_FATAL=no
IPV6INIT=yes
IPV6_AUTOCONF=yes
IPV6_DEFROUTE=yes
IPV6_PEERDNS=yes
IPV6_PEERROUTES=yes
IPV6_FAILURE_FATAL=no
NAME=enp0s8
UUID=f42f7cc9-a724-46b9-bdc0-2d0f428fe5ea
DEVICE=enp0s8
ONBOOT=yes
```

Figura 3. Configuração da interface LAN (Fonte: Autor)

2.2.2 Configuração da Funcionalidade de DHCP

Para que o Raspberry Pi possa funcionar como roteador é instalado o seguinte software `isc-dhcp-server` `isc-dhcp-server` é um servidor DHCP. Abaixo os comandos para instalar o pacote:

```
#apt-get install update
```

```
#apt-get install isc-dhcp-server
```

Depois da instalação estar feita agora vamos fazer a configuração do escopo de dhcp, para isso vamos editar o *script* `dhcpd.conf`. No *script* vamos configurar uma opção para indicar se o servidor DNS será atualizado quando um aluguel de ip for solicitado, o tempo padrão de aluguel, o tempo máximo de aluguel e se o computador exceder este tempo ele será retirado da rede.

```
#
# DHCP Server Configuration file.
# see /usr/share/doc/dhcp*/dhcpd.conf.example
# see dhcpd.conf(5) man page

ddns-update-style none;
default-lease-time 600;
max-lease-time 7200;
authoritative;
subnet 192.168.0.0 netmask 255.255.0 {

    range 192.168.0.10 192.168.0.200;
    option routers 192.168.0.254;
    option domain-name-servers 8.8.8.8, 8.8.4.4;
}
```

Figura 4. Configuração do serviço de DHCP (Fonte: Autor)

2.2.3 Configuração da Funcionalidade de Firewall

Para a funcionalidade de firewall foi utilizada a aplicação iptables. O iptable vai permitir o inbound e outbound dos pacotes dentro da rede LAN. O iptables tem regras que devem ser previamente configuradas para manter o bom funcionamento da firewall que é a activação dos módulos do sistema operacional e também limpar regras que não fazem parte do escopo de regras definidas.

Comando para instalar e inicializar o iptables: ***sudo apt-get update && apt-get install iptables`sudo /etc/init.d/iptables start***

```
# limpando todas as regras pré-existent no iptables
iptables -F INPUT
iptables -F OUTPUT
iptables -F FORWARD
iptables -t nat -F
iptables -t mangle -F
echo "LIMPAR A CACHE DO FIREWALL" OK!"
```

Figura 5. Formatar as regras no iptables (Fonte: Autor)

Para que os clientes na rede local cheguem até a internet é necessário configurar a partilha de internet, em outras palavras é configurar a funcionalidade de NAT que é a tradução de endereços dentro de uma rede. E neste caso qualquer pedido feito dentro da rede 192.168.0.0/28 (rede LAN) será trocado pelo endereço de internet que estiver configurado na interface WAN“enp0s3”. E para fazer gestão remota ao roteador utiliza-se a seguinte regra ***iptables -A INPUT -p tcp --dport 22 -j ACCEPT***

```
# habilitando o mascaramento via iptables
iptables -t nat -A POSTROUTING -o $INT_WAN -j MASQUERADE
echo "MASCARAMENTO" OK!"
```

Figura 6. Configuração do NAT (Fonte: Autor)

O iptables irá redirecionar todos os pedidos de HTTP e HTTPS para o Proxy transparente Squid onde é feita a gestão de todos os pedidos web.

```
#redireccionar a porta 80 para o SQUID "3128"
iptables -t nat -A PREROUTING -i enp0s3 -p tcp --dport $HTTP -j REDIRECT --to-port $$SQUID
iptables -t nat -A PREROUTING -i enp0s3 -p udp --dport $HTTP -j REDIRECT --to-port $$SQUID
echo "REDIRECCIONAMENTO HTTP OK!"

#redireccionar a porta 443 para o SQUID "3128"
iptables -t nat -A PREROUTING -i enp0s3 -p tcp --dport $HTTPS -j REDIRECT --to-port $$SQUID
iptables -t nat -A PREROUTING -i enp0s3 -p udp --dport $HTTPS -j REDIRECT --to-port $$SQUID
echo "REDIRECCIONAMENTO HTTPS OK!"
```

Figura 7. Redireccionamento de requisição web (Font: Autor)

Depois de configurar o script é necessário carregar as regras no iptables e fazer save:

a) `sudo iptables-restore /etc/network/iptables`

b) `sudo iptables-save`

2.2.4 Configuração da Funcionalidade de Proxy

O roteador será capaz de fazer filtragem de pacotes http e https utilizando a aplicação Squid e SquidGuard. O proxy será transparente para não existir a necessidade de fazer as configurações de forma individual a cada cliente ligado na rede.

Comando para instalar e inicializar o Squid: **`sudo apt-get update && apt-get install squid`sudo /etc/init.d/squid start`** .

Comando para instalar e inicializar o SquidGuard: **`sudo apt-get update && apt-get install squidGuard`**

Depois de ter baixado o SquidGuard é feita uma configuração do SquidGuard, tendo em conta que o SquidGuard é uma extinção do Squid tivemos que mudar o utilizador do SquidGuard de "root" para "squid", assim todos os pedidos Web serão redirecionados para o SquidGuard. Cada pedido Web feito por um utilizador da rede local será analisado na base de dados (blacklist) do SquidGuard e depois desta comparação o utilizador terá uma resposta se o pedido é permitido ou negado, tudo isso em nível de categoria de cada pedido Web feito na rede local.

Para que o SquidGuard se comunique diretamente com Squid fizemos uma configuração dos processos a serem pedidos pelo o Squid e pelo o SquidGuard e concatenar as configurações do SquidGuard.conf com o bin do SquidGuard, como mostra a Figura 8.

```
# Recommended minimum Access Permission configuration Configuracao do Guard:
#REDIRECIONAMENTO DO BIN DO SQUIDGUARD PARA O SQUIDGUARD.CONF
url_rewrite_program /usr/bin/squidGuard -c /etc/squid/squidGuard.conf
#QUANTIDADE DE PROCESSOS A SEREM REDIRECIONADOS
redirect_children 5 startup=0 idle=1 concurrency=0
#SOBREPASSAR OS PROCESSOS REDIRECIONADOS
redirector_bypass on
```

Figura 8. Configuração do SquidGuard no Squid (Fonte: Autor)

Nesta etapa é necessário redirecionar o repositório em que o Squid irá consultar cada url, endereço de ip e domínio. E o SquidGuard terá competência de tomar a decisão de permitir ou bloquear o seu acesso.

```
# CONFIG FILE FOR SQUIDGUARD
#
#Minha BD de Blacklist
dbhome /var/squidGuard/blacklists
#Dir dos registros
logdir /var/log/squidGuard
```

Figura 9. Configuração do SquidGuard no Squid (Fonte: Autor)

A BD de Blacklist é formada por categorias, e as categorias vão corresponder ao grupo de pedidos que podem ser ou não bloqueados a partir da firewall Iptables que redireciona todos os pedidos no Proxy Squid, e tendo em mente que o Squid consulta a base de dados do SquidGuard.

```
dest ads{
    domainlist    ads/domains
    urllist       ads/urls
    log /var/log/squidGuard/block.log
}

dest porn{
    domainlist    porn/domains
    urllist       porn/urls
    log /var/log/squidGuard/block.log
}

dest socialnet{
    domainlist    socialnet/domains
    urllist       socialnet/urls
    log /var/log/squidGuard/block.log
}
```

Figura 10. Criação das categorias da base de dados (Fonte: Autor)

Tendo em conta que em uma rede local podem existir departamentos ou utilizadores com mais privilégios do que os outros, criou-se ACLs para dois grupos admins e default. As acls vão definir quais das categorias serão negadas ou permitidas na rede local e todos os pedidos negados serão redirecionado em uma página no servidor local de páginas web apache.

```
acl {
    admins {
        pass !porn !socialnet all
    }
    default {
        pass !ads all #!in-addr all
        #
        #Página em que eu vou redirecionar as url block
        redirect http://localhost
    }
}
#
}
```

Figura 11. Configuração da acl (Fonte: Autor)

3. RESULTADOS

Todas funcionalidades de roteador, firewall, servidor de dhcp e proxy forma testas com dois tipos de clientes Windows e computadores com Kernel Linux.

Depois dos computadores clientes se ligarem na rede local fizeram solicitação de endereço no roteador, como pode ser analisado na imagem abaixo.

```
dhcpd.service - DHCPv4 Server Daemon
Loaded: loaded (/usr/lib/systemd/system/dhcpd.service; enabled; vendor preset: disabled)
Active: active (running) since Sun 2000-12-31 19:05:22 EST; 5h 0min ago
Docs: man:dhcpd(8)
      man:dhcpd.conf(5)
Main PID: 1087 (dhcpd)
Status: "Dispatching packets..."
CGroup: /system.slice/dhcpd.service
        └─1087 /usr/sbin/dhcpd -f -cf /etc/dhcp/dhcpd.conf -user dhcpd -group dhcpd --no-pid

Dec 31 23:57:19 lserver.monografia.com dhcpd[1087]: DHCPINFORM from 192.168.0.10 via enp0s8
Dec 31 23:57:19 lserver.monografia.com dhcpd[1087]: DHCPACK to 192.168.0.10 (08:00:27:c5:3f:2c) via enp0s8
Jan 01 00:00:17 lserver.monografia.com dhcpd[1087]: DHCPREQUEST for 192.168.0.11 from 08:00:27:e6:f8:60 via enp0s8
Jan 01 00:00:17 lserver.monografia.com dhcpd[1087]: DHCPACK on 192.168.0.11 to 08:00:27:e6:f8:60 via enp0s8
Jan 01 00:01:07 lserver.monografia.com dhcpd[1087]: DHCPREQUEST for 192.168.0.10 from 08:00:27:c5:3f:2c (Cliente-PC) via enp0s8
Jan 01 00:01:07 lserver.monografia.com dhcpd[1087]: DHCPACK on 192.168.0.10 to 08:00:27:c5:3f:2c (Cliente-PC) via enp0s8
Jan 01 00:01:40 lserver.monografia.com dhcpd[1087]: DHCPREQUEST for 192.168.0.13 from 08:00:27:0c:52:8d (DESKTOP-U0CF25T) via enp0s8
Jan 01 00:01:40 lserver.monografia.com dhcpd[1087]: DHCPACK on 192.168.0.13 to 08:00:27:0c:52:8d (DESKTOP-U0CF25T) via enp0s8
Jan 01 00:04:14 lserver.monografia.com dhcpd[1087]: DHCPREQUEST for 192.168.0.11 from 08:00:27:e6:f8:60 via enp0s8
```

Figura 12. Estado do serviço de dhcp (Fonte: Autor)

Tabela 2. Tabela dos endereços fornecidos pelo o servidor

Equipamento	Rede	IP	Mask
Windows7	192.168.0.0	192.168.0.11	255.255.255.0
Windows 10	192.168.0.0	192.168.0.10	255.255.255.0

Kali Linux	192.168.0.0	192.168.0.13	255.255.255.0
------------	-------------	--------------	---------------

Depois dos clientes receberem o endereço ip foi feito um teste de conectividade do roteador até um cliente, e do cliente para o roteador.

```
[root@lserver blacklists]# ping 192.168.0.11
PING 192.168.0.11 (192.168.0.11) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 192.168.0.11: icmp_seq=1 ttl=64 time=0.483 ms
64 bytes from 192.168.0.11: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.488 ms
64 bytes from 192.168.0.11: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.442 ms
64 bytes from 192.168.0.11: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.484 ms
64 bytes from 192.168.0.11: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.564 ms
^C
--- 192.168.0.11 ping statistics ---
5 packets transmitted, 5 received, 0% packet loss, time 4004ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.442/0.492/0.564/0.042 ms
```

Figura 13. Resultado do ICMP do roteador para o cliente com ip 192.168.0.11 (Fonte: Autor)

```
C:\Users\Cliente>PING 192.168.0.254

Disparando 192.168.0.254 com 32 bytes de dados:
Resposta de 192.168.0.254: bytes=32 tempo<1ms TTL=64
Resposta de 192.168.0.254: bytes=32 tempo<1ms TTL=64
Resposta de 192.168.0.254: bytes=32 tempo<1ms TTL=64
Resposta de 192.168.0.254: bytes=32 tempo<1ms TTL=64

Estatísticas do Ping para 192.168.0.254:
    Pacotes: Enviados = 4, Recebidos = 4, Perdidos = 0 (0% de
              perda),
    Aproximar um número redondo de vezes em milissegundos:
    Mínimo = 0ms, Máximo = 0ms, Média = 0ms
```

Figura 14. Resultado do ICMP do cliente para o roteador com ip 192.168.0.254 (Fonte: Autor)

A nível de iptables testou-se o acesso a porta 22 com o serviço ssh que permiti aceder a gestão do roteador remotamente.

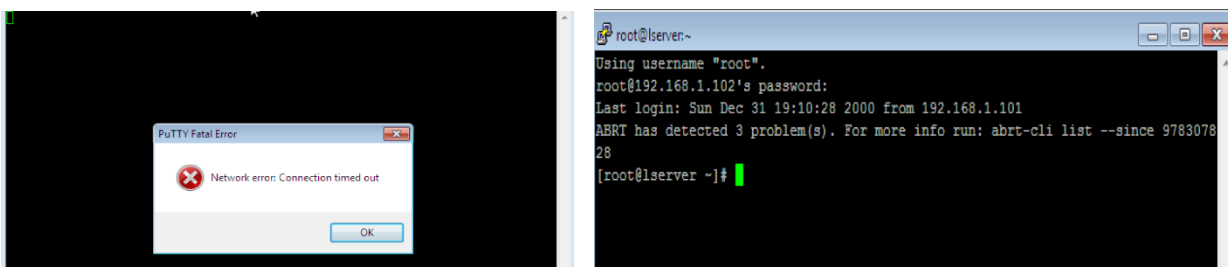


Figura 15. Resultado do Serviço SSH negado e permitido (Fonte: Autor)

Segundo as configurações feitas com o Squid e a criação da base de dados de url, domínio e endereço Ip previamente criadas no SquidGuard, foram feitos alguns testes de sites que não podem ser consultados. Neste teste foram utilizadas duas categorias da base de dados, categoria de “pornografia” e “redes sociais”.

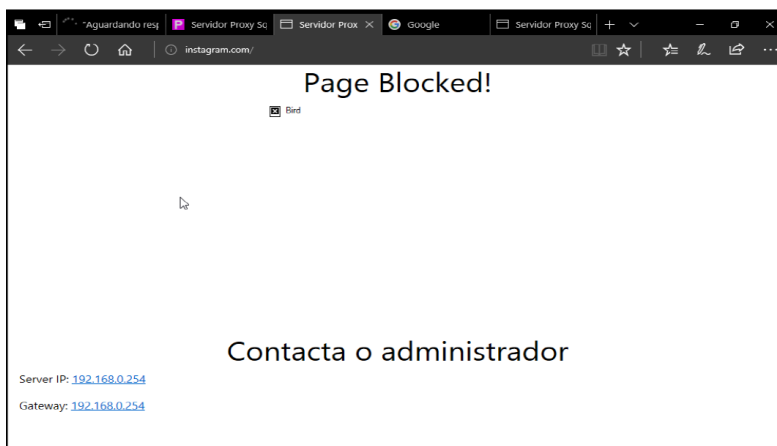


Figura 16. Bloqueio do Instagram (Fonte: Autor)

Também foram testadas as categorias de pornografia, onde o cliente com ip 192.168.0.13 faz várias requisições a sites com conteúdos pornográficos e o mesmo não foi permitido o acesso.

```
2018-03-11 11:01:51 [2692] Request(admins/porn/-) http://pinkyyxx.com/ 192.168.0.13/192.168.0.13 - GET REDIRECT
2018-03-11 11:01:52 [2692] Request(admins/porn/-) http://pinkyyxx.com/img-blocked.jpg 192.168.0.13/192.168.0.13 - GET REDIRECT
2018-03-11 11:01:52 [2692] Request(admins/porn/-) http://pinkyyxx.com/favicon.ico 192.168.0.13/192.168.0.13 - GET REDIRECT
2018-03-11 11:01:55 [2692] Request(admins/porn/-) http://pinkyyxx.com/ 192.168.0.13/192.168.0.13 - GET REDIRECT
2018-03-11 11:01:55 [2692] Request(admins/porn/-) http://pinkyyxx.com/favicon.ico 192.168.0.13/192.168.0.13 - GET REDIRECT
2018-03-11 11:01:55 [2692] Request(admins/porn/-) http://pinkyyxx.com/img-blocked.jpg 192.168.0.13/192.168.0.13 - GET REDIRECT
2018-03-11 11:10:54 [2692] Request(admins/porn/-) http://pinkyyxx.com/ 192.168.0.13/192.168.0.13 - GET REDIRECT
2018-03-11 11:10:54 [2692] Request(admins/porn/-) http://pinkyyxx.com/seg-priv-es.jpg 192.168.0.13/192.168.0.13 - GET REDIRECT
2018-03-11 11:10:54 [2692] Request(admins/porn/-) http://pinkyyxx.com/favicon.ico 192.168.0.13/192.168.0.13 - GET REDIRECT
2018-03-11 11:10:56 [2692] Request(admins/porn/-) http://pinkyyxx.com/ 192.168.0.13/192.168.0.13 - GET REDIRECT
2018-03-11 11:10:56 [2692] Request(admins/porn/-) http://pinkyyxx.com/favicon.ico 192.168.0.13/192.168.0.13 - GET REDIRECT
```

Figura 17. Bloqueia categoria pornografia ([url:http://pinkyyxx.com/](http://pinkyyxx.com/)) Fonte: Autor

4. CONCLUSÕES

Foi possível desenvolver e configurar o roteador em plataforma Linux, e o roteador foi desenvolvido por cima de um sistema embarcado Raspberry Pi 3 Model B+ como o sistema operacional Raspibian.

Para gestão de endereçamento utilizou-se o software isc-dhcp-server. Com o isc-dhcp-server foi possível fazer a distribuição de endereços IP de forma dinâmica na rede local e eliminando a possibilidade de um cliente utilizar um endereço que já se encontra em outro cliente.

Para a funcionalidade de encaminhamento aplicado no roteador, utilizou-se as o netfilter que vem implementado inicialmente no sistema operacional para fazer o controle do fluxo interno ou externo e neste processo é identificado a rota escolhida, a porta de origem e de destino do

pacote, e optou-se por um encaminhamento estático por ser um equipamento para uso em uma rede LAN.

Para o mecanismo de segurança utilizou-se o iptables, Squid e SquidGuard. O iptables faz a filtragem de pacotes de origem interna, externa ou de pacotes provenientes do roteador. Proxy Squid com uma extensão SquidGuard que faz uma gestão de todos os pedidos via HTTP e HTTPS na rede local. E os testes realizados comprovam a funcionalidade dos serviços configurados no roteador.

REFERÊNCIAS

GOUVEIA, J. (2011). *Gestão Prática de Redes*. Lisboa: Lisboa.

MOLENAAR, R. (2015). *How to master CCNP Router*. New York: Editora.

TANENBAUM, A. (2003). *Redes de Computadores*. Amsterda.

VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE ENERGIA RENOVÁVEL PARA FORNECER ACESSO UNIVERSAL À ELETRICIDADE E COZINHA LIMPA: CASO DE ANGOLA

M.S.c Felicidade Garcia

Cape Penynsula University of Technology South Africa. CPUT Bellville Campus Technology way Food Science & Technology Building, Bellville South Industrial, Cape Town, 7530, África do Sul. E-mail: mpemba.garcia@gmail.com, Tel: (+244) 922 369 417, Luanda, Angola.

Resumo: O sector energético de Angola sofre com dois problemas principais; por um lado, o país ainda depende fortemente de fontes fósseis para a geração de eletricidade e, por outro, os equipamentos não obedecem as políticas de eficiência energética são antigos e pouco confiáveis. Consequentemente, o acesso à energia limpa e sustentável é muito baixo em todo o país. A maioria das famílias ainda depende de combustíveis como, como lenha e carvão (carvão mineral, carvão vegetal, lenha, capim, folhas, restos de colheitas agrícolas e fezes de animais) para suas demandas diárias de energia. A exposição ao fumo dentro da habitação, causado pela utilização de combustível sólido para cozinhar prejudica a saúde. Cerca de 48% dos agregados familiares ainda utiliza combustível sólido para cozinhar. Este estudo tem como objetivo avaliar a viabilidade técnico-econômica de um sistema de energia renovável para fornecer acesso universal à eletricidade para a população que utiliza recursos não sustentáveis para sua demanda de energia, para iluminação e cozinha. A metodologia será desenvolvida usando os recursos energéticos renováveis disponíveis no país. O estudo também avalia o custo de fornecer cozinha mais limpa nas famílias, utilizando fogões biogás. Para a avaliação, zonas rurais e mais remotas do país são selecionadas e com base nos estilos de vida da população, são considerados duas realidades de famílias, sobretudo pobres e não pobres, com cada tipo de residência tendo a sua energia diária. A configuração aceitável do sistema de energia é escolhida com base em sua capacidade de atender à demanda de carga e sua eficácia de custo. Para uma cozinha mais limpa, o estudo considera que tanto as famílias pobres quanto as não pobres usam a mesma quantidade de energia para sua demanda diária de energia para cozinhar. A avaliação de custos de uma cozinha mais limpa com fogões a biogás é realizada a partir de dados econômicos para o digestor produzir biogás e os fogões para cozinhar. Esses dados incluem custo de capital, custo de operação e manutenção, custo de combustível, taxa de desconto, bem como eficiência energética e vida útil de equipamentos de cozinha.

Keywords: Acesso Energético, Cozinha Limpa (Clean Cooking Access), Eletricidade, Energia Renovável.

1. Introdução

Cerca de 58% da população nacional reside em áreas onde o acesso à eletricidade básica é bastante deficiente, devido a falta de proximidade as redes eléctricas de serviços público [1]. Em grande maioria esses lugares estão localizados em zonas mais remotas como bailundo, benguela, biopio, Luacano, Muconda, Cuíto, Lucapa, Luena, Saurimo etc. e sofrem de extrema pobreza [2]. A falta de conexão aos sistemas eléctricos nestas zonas não apenas acontece pela falta de acesso, também porque os habitantes vivem de actividades moderadas. Portanto, não seria muito viável conectar áreas remotas à rede eléctrica pública, devido ao baixo consumo de electricidade dos habitantes e por aspectos técnicos como: áreas remotas são em geral situadas em terrenos arenosos com falta de estradas e de difícil acesso; estender a rede eléctrica implica linhas de transmissão e distribuição. Um estudo revelou que estender a rede para alcançar áreas remotas nem sempre é viável devido a obstáculos como montanhas, rios, florestas e elevados custos. Por outro lado, o consumo de electricidade vem com contas; populações de áreas remotas podem não pagar as contas de serviços públicos devido à falta de consistência na renda [3]. A nível de África, de igual modo Angola, grande parte das famílias, principalmente em regiões rurais dependem da lenha para cozinhar e aquecer, enquanto o uso da lenha pode acelerar a degradação florestal e impactar negativamente no meio ambiente conforme indicado no estudo [4]. Para superar os desafios atuais de energia, o governo traçou um plano que inclui políticas e projetos para produzir pelo menos 7,5% da energia do país a partir de recursos renováveis até o ano de 2025, portanto, fornecendo acesso básico universal à electricidade para a população [1]. Na mesma linha, o governo Angolano com o apoio de seus parceiros internacionais deverá trabalhar em projetos para fornecer à população acesso a opções de cozinha mais limpas (clean cooking).

1.1. Situação Energética de Angola

O setor de energia depende inteiramente de 64% da hidrelétrica, 12% do gás natural e 24% de outros combustíveis fósseis para a produção de electricidade [3]. Em 2017 e 2018, o setor de Energia implementa projetos de grande envergadura, como a central de gás natural de ciclo combinado do Soyo com 750 MW e o projeto hidroelétrico Laúca de 2,1 GW. O governo tem como meta estender a taxa de eletrificação em até 60% até 2025, investindo bilhões no setor

de energia na construção de novas usinas, transmissão, rede de distribuição e restauração das instalações existentes. Eles querem melhorar seu fornecimento de energia e se tornar um país exportador de eletricidade nas regiões da Comunidade de Desenvolvimento da África Austral (SADC) [5]. A nova linha de projectos de investigação e desenvolvimento para o sector da energia eléctrica, o Ministério da Energia e Águas e o executivo angolano apresentaram propostas de imersão e aproveitamento de novos recursos renováveis para a produção de electricidade e expansão para electrificação do meio rural. Com essa estratégia, o executivo também estabelece como meta para 2025 que pelo menos 7,5% da energia eléctrica do país seja proveniente de recursos renováveis [5]. Prevêem a incorporação de aproximadamente 800 MW de capacidade eléctrica a partir de recursos renováveis como alternativa para a eletrificação de áreas rurais até 2025, o que diminuirá mais de 40% da população total sem acesso à eletricidade [1], [6].

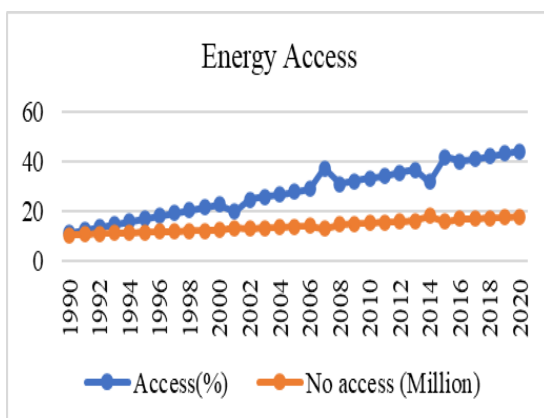


Figura 1. Acesso energetico de Angola

Nos últimos 15 anos, o país melhorou significativamente sua situação financeira, infraestrutura e condições de vida. Há uma enorme demanda por eletricidade devido à rápida urbanização e ao crescimento populacional, especialmente na cidade capital de Luanda. Cerca de 30 milhões de habitantes estimam a população angolana. Atualmente, apenas cerca de 42% da população tem acesso à eletricidade, conforme mostrado na Fig.1; Desse percentual, apenas 6%

cobre a população rural [5]. Fig.1 indica também que cerca de 18 milhões de angolanos não têm acesso à electricidade. Este número está aumentando devido ao rápido crescimento populacional [7], [8].

1.2. Objectivo da Pesquisa

Este estudo tem como objetivo avaliar a viabilidade técnico-econômica de um sistema de energia renovável para fornecer acesso universal à eletricidade para as comunidades usando os recursos renováveis disponíveis no país. O estudo também avalia o custo de fornecer

cozinha mais limpa para famílias que usando fogões a biogás. Para realizar a avaliação são considerados dois tipos de famílias, nomeadamente pobres e não pobres, com cada tipo de família tendo a sua energia diária. Para a avaliação, foram considerados pelo menos 115319 habitantes, conforme o estudo [9]. Foi assumido que um agregado familiar para a família típico de África consiste de 4,7 pessoas, enquanto um não pobre compreende 4,4 pessoas [10]. Portanto, as famílias não pobres representam aproximadamente 10% da população, enquanto os 90 % restantes são famílias pobres. O número total de famílias é estimado em 22303 para famílias pobres e 2385 não pobres. Com base na demanda de consumo das famílias, foi feita uma simulação usando o software Homer Pro. A configuração do sistema mais adequada é escolhida com base em sua capacidade de atender a demanda de carga e sua relação de custo-benefício.

Para clean cooking o estudo considera que ambas famílias usam a mesma quantidade de energia para suas tarifas diárias de energia para cozinhar. A avaliação de custos para produtos de cozinha em fogões a biogás é realizado com base os dados econômicos para o digester produzir biogás e para os fogões de cozinha. Esses dados incluem custo de capital, custo de operação e manutenção, custo de combustível, taxa de desconto, bem como eficiência energética e vida útil de dispositivos de cozinha. O resto do artigo está organizado da seguinte forma, a seção 2 é dedicado à visão geral sobre avaliação de recursos, seção 3 cobre o estudo de caso de acesso à eletricidade, a seção 4 trata do acesso a uma cozinha mais limpa, e a última seção 5 dá a conclusão do estudo.

2. Avaliação e Adequação de Recursos

Angola tem um enorme potencial de fontes renováveis, incluindo energia solar, energia eólica, hídrica, biomassa e energia geotérmica. A maioria desses recursos renováveis permanece

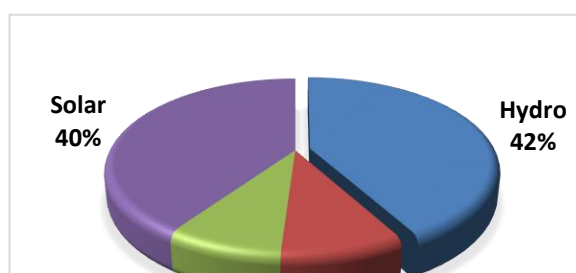


Figura 2. Potential de Recursos Renováveis. [6]

inexplorada e muitos permanecem intactos. Conforme mostrado na Fig.2, o país tem um potencial hidrelétrico significativo classificado para 18 GW de capacidade. O potencial solar estimado é de cerca de 17,3 GW com irradiação média anual no plano horizontal de aproximadamente 2100 kWh /

m² / ano, enquanto um total bruto de potencial eólico é superior a 3,9 GW. Para biomassa, pelo menos quarenta e duas regiões foram identificadas no país com projetos de grande potencial com uma potência global de 3,7 GW [5], [6]. No entanto, para a nova linha de produção de energia, opções de energia como eólica, solar, biomassa ganharam enorme atenção como as tecnologias líderes para a produção de energia elétrica para aumentar a capacidade elétrica necessária para eletrificar áreas rurais [6].

Os recursos limpos disponíveis no país nas dezoito províncias são suficientes para gerar energia, atendendo à demanda energética. No entanto, várias estratégias precisam ser postas em prática para construir um programa de sistema de energia confiável. Essas estratégias incluem o uso de todos os recursos disponíveis e as tecnologias modernas associadas e os investimentos necessários [11]. As energias renováveis, como solar e eólica, podem dar suporte ao sistema de energia existente para garantir que a demanda seja sempre atendida, especialmente nas áreas rurais. Esses recursos estão sempre disponíveis em quase todas as partes do país. As regiões centro, sul e norte, sul e sudoeste têm o maior potencial solar e eólico; Províncias como Cunene, Namibe, Cuanza Sul e Cuanza Norte têm o maior potencial solar, variando de 250 a 260 W/m². E as províncias do Cuanza Sul, Cuanza-Norte, Malanje, Moxico têm o maior potencial de vento na faixa de 6,3 a 7,5 m/s [12].

3. Acesso à Eletricidade

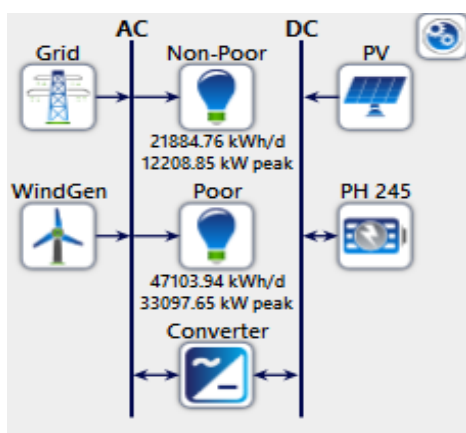


Figura 3. Layout do Sistema Proposto

Um estudo de viabilidade técnico-econômica é realizado usando o software HOMER Pro, para determinar a melhor configuração do sistema de energia usando os recursos renováveis da região, conforme mostrado na Fig. 3. O sistema escolhido deverá atender à demanda de carga de 22303 famílias pobres e 2385 famílias não pobres. A carga considerada para-ambos os tipos de residências consiste em iluminação e eletrodomésticos com baixo consumo de energia. A potência de pico da demanda de carga estimada total de famílias pobres e não pobres é de 45,3 MW, que é distribuída como 12,2 MW para famílias não pobres e 33,1 MW para famílias pobres. Enquanto

o consumo de energia diário estimado total da província para famílias pobres e não pobres é de 42,6 MWh/dia, que é distribuído como 21,8 MWh/dia e 47,1 MWh / dia, para famílias pobres e não pobres, respectivamente. Assumindo que a rede elétrica do país pode fornecer cerca de 7 MW de eletricidade. As suposições feitas na simulação compreendem 2% da taxa de inflação, 8% da taxa de desconto anual, 25 anos de vida do projeto e uma falta de capacidade anual de 5%.

3.1. Homer Pro Software

O sistema em investigação propõe uma simulação, nomeadamente sistema solar, eólico e de armazenamento de energia. A escolha dos componentes processados dependeu da escala do projeto para atingir os critérios desejados, por exemplo, a análise das questões econômicas e técnicas. Este estudo aplicou a ferramenta HOMER Pro Software (Modelo de Otimização Híbrida para múltiplos recursos de energia) para alcançar o resultado ideal necessário. Além disso, o HOMER é a ferramenta mais recomendada para realizar análises de estudo de viabilidade técnico-econômica, etc. [17].

3.2. Opções de Fornecimento de Eletricidade

Com base na comparação de custo-tecnologia em referência [14], e os recursos renováveis disponíveis, três opções de tecnologias são selecionadas. Essas opções incluem painéis fotovoltaicos, geradores eólicos e energia hidrelétrica bombeada (PH) (consulte a Fig. 3). Parâmetros de componentes e custos usados na simulação (ver Tabela I) são obtidos a partir da referência [15] para painéis fotovoltaicos, geradores eólicos e um conversor de energia, e de [16] para hidrelétrica bombeada.

Tabela 1: Dados De Entrada De Opções De Geração De Eletricidade

Simulation Input Data				
Equipamento	Custos de Capital	Custos de Substituição	O&M	Tempo de vida
PV	US\$100 per 1 kW	US\$750	US\$50/Ano	20 Ano
Vento	US\$19,350 per 10 kW	US\$14,512.50	US\$500/Ano	25 Ano
PH	US\$18,182	US\$ 12121	US\$3,636/Ano	7 Ano
Conversor	US\$ 300 per 1 kW	US\$ 300	US\$ 0.00/Ano	20 Ano
Equipamento	Custos de Capital	Custos de Substituição	O&M	Tempo de vida
PV	US\$100 per 1 kW	US\$750	US\$50/Ano	20 Ano

3.3. Fornecimento de Eletricidade por Mix de Tecnologia

Para atender à demanda de carga, é necessário um requisito de capacidade de energia total de 10,2 MW, e as opções de fornecimento são apresentadas na Tabela 2. A capacidade hidrelétrica bombeada é estimada em 271 MWh, enquanto o tamanho dos painéis fotovoltaicos e geradores eólicos são 2.422 kW e 730 kW, respectivamente. O custo de energia por kWh é de US \$ 0,42, enquanto os custos atuais e operacionais líquidos dos sistemas são de US \$ 133,7 milhões e US \$ 7,8 milhões, respectivamente.

3.4. Mix de Geração de Eletricidade

O fornecimento à rede representa cerca de 76,1% do total dos sistemas de fornecimento com fornecimento de energia de 20,9 GWh por ano. Enquanto a opção eólica cobre 2,85% do fornecimento do sistema equivalente a 784,04 MWh por ano e a PV detém 21,1% da produção anual de energia de 5,8 GWh. Portanto, o fornecimento total de eletricidade para o total das residências é estimado em 27,5 GWh anualmente, conforme mostrado na Tabela 2.

3.5. Custos Incrementais de Acesso à Eletricidade

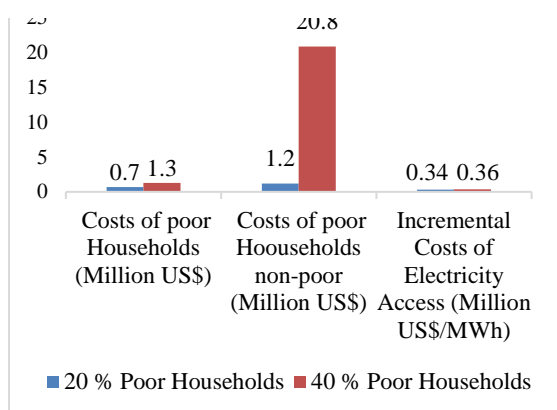
Um fator importante da avaliação do custo do acesso à energia são os custos incrementais do acesso à eletricidade. Esse custo representa o custo por unidade de eletricidade usada que atenderá a um determinado nível de demanda de serviço de eletricidade. Nesse caso, consiste em medir o custo por unidade de eletricidade consumida se um grupo de famílias pobres passar de seu nível atual de consumo de energia para um nível superior. O custo incremental do fornecimento de acesso à eletricidade é dado por:

$$IEAC_2 = \frac{TC_1 - TC_0}{E_1 - E_0} \quad (1)$$

Onde, $IEAC_j$, é o custo incremental de acesso à eletricidade TC_0 é o custo total para atender a demanda nas famílias pobres de negócios, TC_1 , os custos totais para atender a demanda de famílias não pobres, E_0 e E_1 são a demanda total de eletricidade de famílias pobres e não pobre [18]. Neste estudo, dois cenários são considerados para avaliar os custos incrementais do fornecimento de energia elétrica.

O primeiro cenário consiste em mover 20% das famílias pobres para o nível de famílias não pobres, enquanto o segundo considera a mudança de 40% das famílias pobres para o nível de famílias não pobres. Portanto, o custo total para atender a demanda no business as usual para 20% das famílias pobres quando ainda estão no nível de famílias pobres é de cerca de US \$

Figura 4. Custo Incremental de Eletricidade



0,7 milhões, enquanto o custo total para atender a demanda quando essas 20% das famílias pobres são transferidas para o nível das famílias não pobres é de US \$ 12,9 milhões. Os custos incrementais de acesso à eletricidade para-ambos os cenários são estimados em US \$ 3,4 milhões por MWh para 20% das famílias pobres e US \$ 3,6 milhões por MWh para 40% das famílias pobres. A Fig. 4 mostra o custo incremental do acesso à eletricidade que diminui à medida que o consumo de eletricidade por domicílio aumenta.

4. Acesso a Cozinha Limpa (Clean Cooking Access)

As famílias em todo o país, principalmente nas regiões rurais, dependem da lenha e do carvão para cozinhar. A avaliação de uma opção de cozinha mais limpa consiste em estimar o custo de mudar as famílias do uso de lenha para um combustível mais eficiente. O combustível eficiente considerado neste estudo é o biogás produzido a partir de resíduos agrícolas e material animal. Parâmetros técnicos, custos e preços de combustível, bem como os custos de capital dos fogões de cozinha usados são dados em [19] na Table 2. Para fogões a biogás, presume-se que o combustível seja produzido localmente, portanto, não há custos de combustível envolvidos.

Tabela 2. Custos do Fogões e Parâmetros Técnicos

Custos de fogões de cozinha limpos e preços de combustível				
Tecnologias	Lenha/Madeira	Carvão	Biogás	Electricidade
Preço do Combustível US\$/kWh	0.0058	0.0058	-	0.053
% De eficiência do fogão	10%	20%	55%	80%
Custos de capital (\$)	2.05	8.20	674.90	32.82
Tempo de vida (anual)	1	3	20	8

A proporção de tipos de uso de fogão é fornecida na percentagem pela referência [19], [20]; 22% das famílias usam fogões a lenha tradicionais, 29% usam fogões a carvão melhorados, 48% usam fogões a biogás e o restante usa eletricidade. Reference [21] fornece a quantidade anual estimada de energia usada em uma casa para cozinhar com base nos tipos de fogões conforme a Tabela 3.

Tabela 3. Estimativa de energia doméstica usada para cozinhar por ano com base os tipos de fogões

Combustível para cozinhar limpo% da quantidade de uso, conteúdo de energia e consumo total das famílias				
Opções de Recursos cozinha	Combustível (kg, kWh)	Conteúdo energético (Energy Content MJ)	Consumo de Energia (MJ/Ano)	Total de Residências (GJ/ano)
Lenha	970	16	15520	84294.7
Charcoal (Improved)	1895	30	56850	407018.7
Biogas	365	22	8030	95157.42
Electricidade	1318	4744.80	4744.80	1171.4

4.2. Custos Incrementais De Acesso À Cozinha Limpa

Dois cenários são considerados para a substituição de fogões ineficientes por opções mais eficientes. Os tradicionais fogões a lenha representam o tipo menos eficiente de fogões a lenha. O primeiro cenário consiste na substituição dos fogões a lenha por fogões a biogás, enquanto o segundo caso substitui os fogões a carvão por fogões a biogás. Os custos incrementais para fornecer acesso a uma cozinha limpa são calculados, usando a equação (2) dada a seguir:

$$ICACE_j = \frac{LCOE_j - LCOE_b}{E_j - E_b} \quad (2)$$

Tabela 4. Cenários de custos incrementais de acesso a cozimento limpa.

Combustível para cozinhar limpo% da quantidade de uso, conteúdo de energia e consumo total das famílias				
Opções de Recursos cozinha	Custo de Combustível (US\$)	Custo Capital (US\$)	Ciclo de Vida (US\$)	Incremental Cost US\$/MJ
Lenha & Biogas	0.14 M	0.11 M	5.7 M	-0.14
Biogas		3.6 M		
Charcoal (Improved) e Biogas	0.17 M	0.06 M	7.5 M	-0.02
Biogas		4,8 M		

Onde, $ICACE_j$, é o custo incremental do acesso ao cozimento limpo, $LCOE_j$ é o custo do ciclo de vida do uso da opção de energia mais limpa j no cozimento (biogás), e $LCOE_b$ é o custo do ciclo de vida da biomassa tradicional- cozinha baseada em fogões ineficientes (lenha e carvão). E_j é o consumo de energia usando a opção energética j (biogás); e E_b é o consumo de energia usando o combustível tradicional à base de biomassa para cozinhar em fogões ineficientes (lenha e carvão) [18].

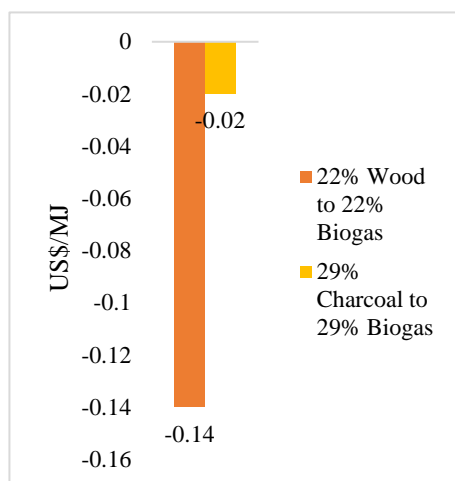


Figura 5. Custos incrementais cozinha limpa.

O custo incremental do fornecimento de acesso para cozimento limpo, considera vários custos incluindo os custos totais do lado da demanda e do fornecimento. Custos como custos de combustível, custos de capital e custos de O&M são as principais variáveis. Assume-se que o custo de O&M das opções de cozimento do biogás (digestor) é de 3% do custo de capital.

Para o primeiro cenário, os consumos de energia de ambos os tipos de fogões são os seguintes: 84294,7 GJ para fogões a lenha e 43613,8 GJ para fogões a biogás. Os custos incrementais de fornecer acesso para cozinhar limpo substituindo fogões a lenha por fogões a biogás é de US \$ -0,14 / MJ (ver Tabela 4 e Fig, 5). Já para o segundo cenário, o consumo de energia é 46.9306,5 GJ para carvão e 57490,9 GJ para biogás. Os custos incrementais de fornecer acesso para cozinhar limpo são negativos para ambos os cenários, pois os obtidos mostram que a substituição representa opções de economia de custos ao substituir fogões ineficientes por outros eficientes.

5. Conclusão

Este estudo teve como objetivo avaliar a viabilidade técnico-econômica de um sistema de energia renovável para fornecer acesso universal à eletricidade para a população usando os recursos renováveis disponíveis. O estudo também avaliou o custo de fornecer cozinha limpa para famílias usando fogões a biogás. Para realizar a avaliação, foi seleccionada aproximadamente população de 115319 habitantes foram considerados dois tipos de agregados familiares tendo cada um a sua energia diária.

Com base na demanda de carga das famílias, uma simulação foi realizada usando o software Homer Pro para determinar a melhor configuração para atender a demanda de carga. A carga considerada para-ambos os tipos de famílias consistia em 12 MW para famílias não pobres e 33 MW para famílias pobres. Para atender a essa demanda de carga, um requisito de capacidade de energia total de 10,2 MW foi necessário das opções de geração de mix consistindo de painéis fotovoltaicos, geradores eólicos e energia hidrelétrica bombeada. A capacidade hidrelétrica bombeada foi estimada em 271 MWh, enquanto o tamanho dos painéis fotovoltaicos e geradores eólicos foi de 2.422 kW e 730 kW, para os painéis fotovoltaicos e geradores eólicos, respectivamente. A oferta da rede representou 76,1% do total dos sistemas de abastecimento com 20,9 GWh de oferta de energia ao ano. Enquanto o restante do abastecimento foi coberto pelo vento 2,85% e 21,1% da produção anual de energia. O fornecimento total de eletricidade foi estimado em 27,5 GWh por ano. A avaliação da opção de cozinha mais limpa consistiu em estimar o custo de mudança das famílias do uso de lenha para um combustível mais eficiente. Dois cenários foram considerados; no primeiro cenário, os fogões a lenha foram substituídos por fogões a biogás, enquanto no segundo cenário, os fogões a carvão melhorados foram substituídos por fogões a biogás. O resultado mostrou que, ao substituir fogões a lenha por fogões a biogás, o custo incremental de fornecer acesso para cozinhar limpo foi menor comparado ao substituir fogões a carvão por fogões a biogás.

Referências

- [1] Ministério Da Energia E Águas (MINEA), “Angola Energia 2025,” 2018. [Online]. Available: <http://www.angolaenergia2025.com/pt-pt/conteudo/geracao-0>.
- [2] J. Carriço, J. Fernandes, C. Fernandes, and P. Branco, “Technical and Economic Assessment of a 450 W Autonomous Photovoltaic System with Lithium Iron Phosphate Battery Storage,” *J. Sustain. Dev. Energy, Water Environ. Syst.*, vol. 6, no. 61, pp. 129–149, 2018, Accessed: Mar. 02, 2021. [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/212459832.pdf>.
- [3] F. P. K. Garcia and A. K. Raji, “A 100% Renewable CHP System for a Remote Area Power Supply,” *SSRN Electron. J.*, 2020, doi: 10.2139/ssrn.3638141.
- [4] Energypedia, “Madagascar Energy Situation - energypedia.info,” *Energypedia.info*, 2020. https://energypedia.info/wiki/Madagascar_Energy_Situation (accessed May 23, 2020).

- [5] ANDRITZ HYDRO, “Hydropower in Angola,” *Angola - To energize the future*, 2017. <https://www.andritz.com/hydro-en/hydronews/hydropower-africa/angola> (accessed Mar. 08, 2021).
- [6] Ministério Da Energia E Águas (MINEA), “Atlas e Estratégia Nacional Para as Novas Energias Renováveis,” *Angola Energ. 2025*, p. 242, 2018, [Online]. Available: http://www.angolaenergia2025.com/sites/default/files/editor/atlas_e_estrategia_nacional_para_as_novas_energias_renovaveis.pdf.
- [7] IEA, “World Energy Outlook 2020 -Summary,” *Report*, no. March 2015, pp. 1–25, 2020, Accessed: Jul. 05, 2021. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020?mode=overview>.
- [8] R. G. Newell, D. Raimi, and G. Aldana, “Global Energy Outlook 2019: The Next Generation of Energy,” *Resour. Futur.*, no. July, p. 46, 2019, [Online]. Available: https://media.rff.org/documents/GEO_Report_8-22-19.pdf.
- [9] Worldometer, “Madagascar Population (2020),” 2020. <https://www.worldometers.info/world-population/madagascar-population/> (accessed May 23, 2020).
- [10] J. Praene *et al.*, “Electricity generation from renewables in Madagascar : Opportunities and projections To cite this version : HAL Id : hal-01502329 Electricity generation from renewables in Madagascar : opportunities and projections,” 2017. [Online]. Available: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01502329/file/Manuscript.pdf>.
- [11] AEE, “How to Keep the Lights on in the Era of 100% Clean Energy Targets | Energy Central,” *How to Keep the Lights on in the Era of 100% Clean Energy Targets*, 2020. <https://energycentral.com/c/ec/how-keep-lights-era-100-clean-energy-targets> (accessed Jul. 05, 2021).
- [12] Ministério Da Energia E Águas (MINEA), “Projecto Mapeamento Dos Recursos Eólicos E Solares De Angola,” 2017.
- [13] WWF, “Diagnostic Du Secteur Energie a Madagascar,” 2012. [Online]. Available: http://awsassets.panda.org/downloads/diagnostic_secteur_energie_.pdf.
- [14] IRENA, *Renewable Power Generation Costs*. 2018.
- [15] O. Longe, N. Rao, F. Omowole, A. Oluwalami, and O. Oni, “A Case Study on Off-grid Microgrid for Universal Electricity Access in the Eastern Cape of South Africa,” *Int. J. Energy Eng.*, vol. 7, no. 2, pp. 55–63, 2017, doi: 10.5923/j.ijee.20170702.03.

- [16] AEE, “How to Keep the Lights on in the Era of 100% Clean Energy Targets | Energy Central,” *How to Keep the Lights on in the Era of 100% Clean Energy Targets*, 2020. <https://energycentral.com/c/ec/how-keep-lights-era-100-clean-energy-targets> (accessed Apr. 24, 2020).
- [17] A. K. Raji and D. N. Luta, “Modeling and optimization of a community microgrid components,” *Energy Procedia*, vol. 156, no. September 2018, pp. 406–411, 2019, doi: 10.1016/j.egypro.2018.11.103.
- [18] R. M. Shrestha and J. S. Acharya, *Sustainable Energy Access Planning: A Framework*, no. August. 2018.
- [19] M. Njenga *et al.*, “The cost of cooking a meal . The case of Nyeri potential of rural development strategies The cost of cooking a meal . The case of Nyeri County , Kenya,” 2017.
- [20] H. Benefits and E. Assessment, “Ethanol as a Household Fuel in Madagascar: Health Benefits, Economic Assessment and Review of African Lessons for Scaling up,” *Twenty-third Annu. ESRI User Conf.*, no. February, 2011, [Online]. Available: <http://gis.esri.com/library/userconf/proc03/p0673.pdf>.
- [21] UNEP, “Review of woodfuel Biomass Production and utilization in Africa A Desk Study,” p. 127, 2019, [Online]. Available: <http://www.unep.org>.

MELHORIA DA SINALIZAÇÃO DE SEGURANÇA NA DETONAÇÃO DE ROCHAS DA MINA DE CATOCA

Winne Tumba ¹, Dialaxis Molina ² e Salomé Filas ³

¹ Departamento de Programação da Produção e Controle Técnico, Sociedade Mineira do CATOCA. Avenida Talatona, Luanda Sul, s/n, Quarteirão GU-01. E-mail: Winnie.sol@hotmail.com, Tel: (+244) 926 201 367, Luanda, Angola.

² Departamento de Tecnologias e Engenharias, Curso de Engenharia de Produção Industrial do Instituto Superior Politécnico de Tecnologias e Ciências (ISPTEC) Av. Luanda Sul, Rua Lateral Via S10 Talatona, E-mail: Dialaxisacosta@gmail.com, Luanda, Angola.

³ Complexo Escolar nº2028 | Quenguela, Ministério da Educação de Angola, E-mail: Filas.salome@gmail.com, Luanda, Angola.

RESUMO: Esta pesquisa ilustra as etapas do processo de melhoria da sinalização de segurança, para redução dos riscos de acidentes na actividade de detonação de rochas na Sociedade Mineira de Catoca, localizada na província da Lunda Sul. Um trabalho de pesquisa transversal foi utilizado para este estudo no período de Agosto à Novembro de 2019. Os inqueridos foram selecionados com base em amostragem aleatória estratificada. Dos 28 questionários aplicados, 18 foram devolvidos (por colaboradores das áreas de Segurança do Trabalho - 33,3%, Fabrica de Explosivos - 22,3%, Meio Ambiente - 11,1% e Perfuratrizes - 33,3%) e utilizados para o estudo. A análise descritiva e de triangulação foram usadas para determinarem a relação entre as variáveis. Os resultados do estudo demonstram que a sinalização de segurança padece de melhorias, pois o seu estado de conservação encontra-se razoável e, que consequentemente, evidencia condições inseguras nas actividades desenvolvidas nas diferentes áreas. Portanto, com o desafio da implementação da proposta em estudo, segundo especialistas, o estado de conservação da sinalização melhoraria em 70%, proporcionando redução dos acidentes laborais e aumento da produtividade.

Palavra-chave: exploração mineira, riscos de acidentes, sinalização de segurança.

1. Introdução

O sector de exploração mineira em Angola faz parte dos domínios económicos estratégicos (Orçamento Geral do Estado, OGE,2019), porém este sector é um dos mais perigosos do mundo (Organização Internacional do Trabalho, OIT). As actividades mineiras, especificamente nas operações de detonação de rochas, possuem grande probabilidade de

gerar danos humanos e materiais, pois pessoas envolvidas nestas actividades estão expostas a vários factores de risco físicos, químicos, ergonómicos e de acidentes (Souza; Barros; Filgueiras, 2017).

Este facto, faz com que questões ligadas a segurança nesta área careçam de maior atenção, primando por adoptar procedimentos mais seguros que reduzam os riscos de acidentes e contribuam para as melhorias nas condições de trabalho e qualidade de vida dos trabalhadores.

A ISO 45001 (2018), define a HSST (Higiene, Saúde e Segurança do Trabalho) como factores, que afectam a segurança e saúde, do funcionário e terceiros em uma organização. Pelo facto dos colaboradores constituem o principal activo de qualquer organização, Miguel (2014) afirma que, deve-se procurar primar pela prevenção e redução da incidência dos riscos de acidentes de trabalho, lesões corporais e/ou doenças ocupacionais, garantindo maior segurança no trabalho por meio de uma cultura de segurança. Nesta perspectiva, Moreira (2010, p. 27), define acidentes de trabalho como sendo, um evento negativo que se verifica no local e no tempo de trabalho, produzindo, directa ou indirectamente lesão corporal, perturbação funcional ou doença de que resulte redução na capacidade de trabalho ou de ganho ou morte. Para OIT, morrem anualmente 2,3 milhões de pessoas por acção dos acidentes de trabalho ou doenças profissionais e, 15,2% dessas mortes são devido a acidentes de trabalho. Além disso, a OIT declara que a cultura de um meio laboral seguro e saudável deve ser respeitado à todos os níveis, que entidades governadoras, empregadoras e os trabalhadores devem assegurá-la, através de direitos e deveres, e propõe-se responsabilização ao princípio da prevenção.

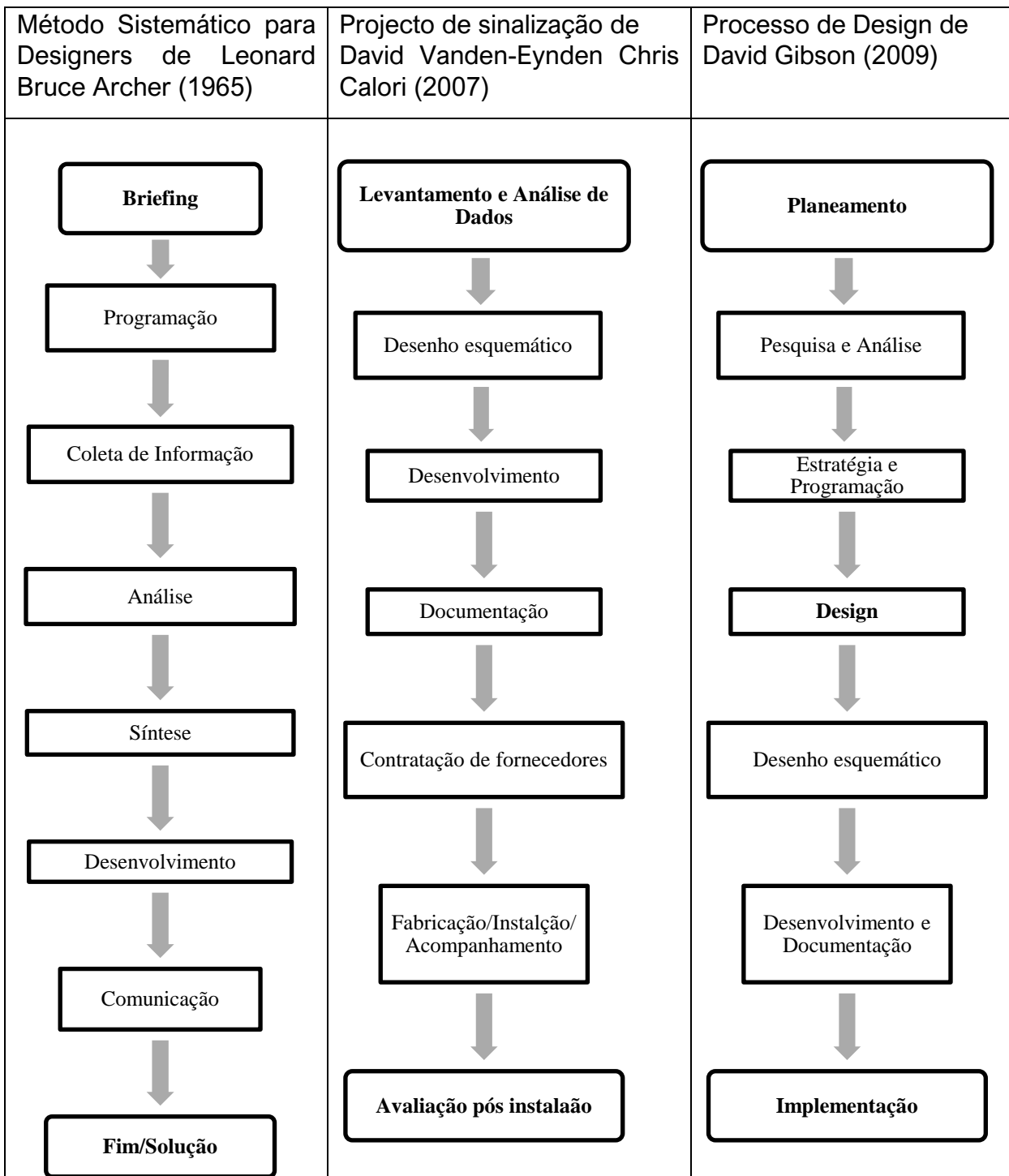
Devido ao manuseio dos elementos utilizados e condições ambientais insalubres resultantes das actividades de detonação de rochas, faz-se necessário adoptar medidas preventivas como formas a mitigar acidentes de trabalho. Segundo Moreira (2010) e Gevirtz (1994), as medidas de prevenção, envolvem a conscientização dos trabalhadores, o cumprimento rigoroso das normas de segurança estabelecidas pela empresa e o uso de uma sinalização adequada, complementado o sistema de segurança. Nos moldes das questões estimulantes sobre exploração mineira (propriamente, desmonte de rochas) nos últimos tempos, este estudo se propõe em investigar a sinalização de segurança como uma das formas de mitigação dos

riscos de acidentes de trabalho na actividade de detonação das rochas na mina de Catoca a partir do entendimento dos funcionários e medições com instrumentos adequados.

Segundo Murta (2010) quando os equipamentos de proteção por si só, não são suficientes para minimizar situações de perigo torna-se imprescindível a utilização de sinalização de segurança com um grau de segurança baixo por ser um complemento para advertir e orientar tanto os colaboradores quanto terceiros sobre como proceder a certas situações.

O Decreto - Executivo nº 128/04 de 23 de Novembro aprovado pela Constituição da República de Angola, diz que deverão ser sinalizadas todas as situações perigosas com o objectivo de alertar os trabalhadores e terceiros da iminência de um incidente e da urgente necessidade de actuar de forma determinada sempre que não possam ser evitados ou restritos os riscos através da utilização de métodos de proteção. Tais sinais devem ser colocados em locais visíveis, de formas a atrair a atenção dos presentes, ser claro e retirado imediatamente logo que a situação que o justificava deixe de se verificar. Para isso, a prática de sinalização nas minas deve ser feita a partir de um projecto de engenharia em nível executivo e, após a implementação dos elementos mencionados no projecto, deve-se efectuar o controle da sua conservação.

Archer (1965), Calori (2007) e Gibson (2009) propuseram metodologias de designer que, na qual utilizou-se para a análise e síntese dos métodos utilizados em projetos de sinalização. Partiu-se dos estudos de modelo de convergência metodológica com o objectivo de identificar pontos de convergência e divergência entre eles e, a partir dessas informações, propor um novo processo de sinalização de segurança.



O processo de melhoria a ser apresentado, tem as fases baseadas no método sistemático de designer, porém, a fase analítica deste método não apresenta uma análise detalhada da zona para o levantamento das características da sinalização de segurança existente. Neste método é apenas feito o tratamento de informações coletadas no briefing e, a

grande desvantagem do método reside na quantificação e qualidade dos dados coletados já que não é feita uma inspecção no local em estudo. Normalmente, este é aplicado para projectos de raiz. Diferente do método sistemático, os outros métodos não apresentam a etapa do briefing. O método de Calori baseia-se apenas no desenho esquemático da sinalização existente por meio da análise documental, o que impossibilitaria a deteção de alguma anomalia ou não conformidade que não estivesse documentada. Já a primeira fase do método de Gibson, não se adequaria a pesquisa por tratar-se unicamente de um projecto já que ara a primeira fase da proposta é requerida uma programação para o levantamento e avaliação de todas as informações concernentes a sinalização existente. Por estes motivos, a estruturação de um novo modelo que permite espelhar de forma simplificada os pontos cruciais do processo, como também avaliar as medidas de desempenho.

2. Materiais e Métodos

2.1. Procedimentos técnicos e descrição da amostra de pesquisa

O projecto aderiu como procedimentos técnicos, o levantamento bibliográfico e o estudo de caso. Assim, efectuou-se a recolha de dados dos participantes da Sociedade Mineira de Catoca. O estudo foi conduzido a uma amostra aleatória estratificada onde os colaboradores foram selecionados segundo as categorias e secções (funcionários com habilidades técnicas ou experiência em meio ambiente, segurança do trabalho, perfuratrizes e explosivos). Como formas a selecionar cada elemento representativo, utilizou-se a amostra aleatória simples onde todos os colaboradores tinham a mesma probabilidade de serem escolhidos para serem indagados.

Em conformidade com a ética da pesquisa, com uma população total de 76 trabalhadores, porém pelo regime de trabalho (revezamento/turnos) a amostra selecionada foi de 28 funcionários. Utilizou-se uma amostra aleatória estratificada onde os colaboradores foram divididos em categorias segundo as secções. Como formas a selecionar cada elemento representativo, utilizou-se a amostra aleatória simples onde todos os colaboradores tinham a mesma probabilidade de serem escolhidos para serem indagados. Os dados foram coletados em um período de 3 meses. Os detalhes demográficos dos entrevistados são exibidos na Tabela 1.

Tabela 1. Dados demográficos dos inqueridos

Factores	Característica	População	Amostra	Percentual
Sexo	Masculino	27	17	60,7%
	Feminino	1	1	3,5
Idade	25-35	8	8	28,5%
	35-45	10	5	17,8
	45-56	10	4	14,3
Grau académico	Ensino de base	10	2	7,1
	Ensino médio	6	5	17,8
	Licenciatura	9	8	28,5%
	Mestre	3	3	10,7
Profissão	Engenheiro	12		
	Projectista	2		
	Técnicos	7		
	Auxiliares	7		

3. Resultados e Discussões

Durante as observações participativas na sociedade mineira de Catoca, constactou-se que a actividade de detonação com explosivos é uma actividade de alto risco de acidentes e, que por sua vez, requer uma maior atenção e cuidados devido as causas negativas que podem gerar. Por meio da aplicação de um inquérito aos trabalhadores da área, foi possível tirar ilações existentes sobre a mesma.

3.1. Classificação dos riscos no ambiente de trabalho:

3.1.1. Riscos Físicos, químicos e ergonômicos

Para a classificação dos riscos perante as frentes de trabalho, constatou-se que os riscos ergonômicos são reduzidos, porém os físicos e químicos têm maior impacto devido ao manuseamento de emulsão expulsiva e seus acessórios, bem como a disposição dos campos de trabalho (mina) e equipamentos manipulados.

3.2. Acidentes na operação de detonação de rochas

Segundo as informações coletadas, 47% dos inqueridos foram vítimas de acidentes (queda ao mesmo nível) nas etapas da actividade de detonação de rochas nomeadamente no fabrico do

explosivo-emulsão, carregamento de poços, montagem da rede de detonação e na vistoria dos blocos detonantes como demonstra o gráfico 1. Maioritariamente, estes acidentes são originados pelo piso escorregadio, piso irregular, não uso de equipamentos de protecção individual, falta de sinalização de segurança e falhas humanas (desvios comportamentais).

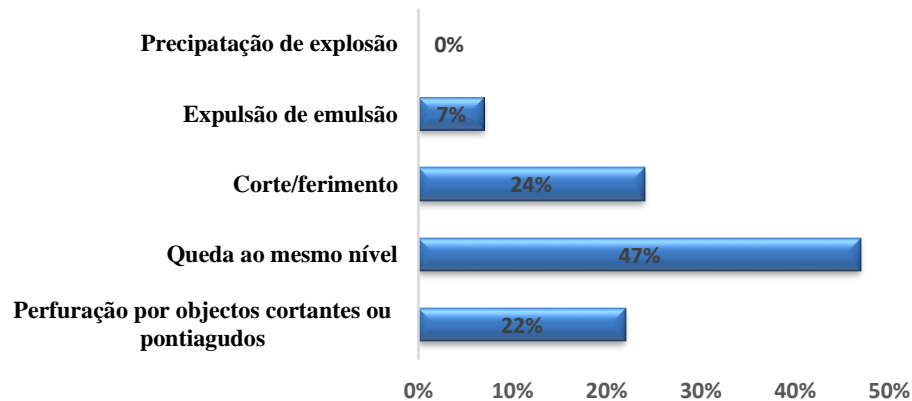


Figura 1: Tipos de acidentes ocorridos na actividade de detonação

Fonte: Autora (2020)

Como formas a reduzir os acidentes ocorridos, os inqueridos apontam o rigoroso uso de equipamentos de protecção individual, implementação de sinalização de segurança e a comunicação entre sectores interligados como opções de soluções prévias.

Pelo facto de ter o rompimento de determinados campos como objectivo principal da actividade, torna-se crucial a implementação de procedimentos de segurança onde a sinalização de segurança deve ser olhada de forma cuidadosa.

Para a SMC foram adoptados os seguintes procedimentos:

- Durante o desmonte do gnaisse e minério pelo método de explosivos, é feito um comunicado 24h antes a todas as áreas afectas a mina;
- Uma 1h antes da activação de tubos de iniciação (detonação) é feita a recolha da sinalização de segurança na área de detonação e a interdição das vias e evacuação do pessoal que se posicionam no raio de acção da detonação;
- Acionamento longo e contínuo (15 minutos) antes do início da montagem da malha de detonação;

- d) Dois toques longos de 40 segundos com um intervalo de 20 segundos 5min antes da detonação;
- e) Confirmação de detonação;
- f) Por fim, realiza-se a vistoria dos blocos detonados como forma de constatar a eficiência da explosão e a posterior, coloca-se uma sinalização para autorizar a recolha do minério e liberação das vias.



Figura 2: Demonstração de Sinalização (Fonte: Autora (2020))

Devido à falta de manutenção das placas, redução de pessoal que produzem a sinalização e ao estado actual de algumas placas, faz-se necessário criar estratégias de melhorias visto que esta actividade é de elevado risco para os trabalhadores e vizinhança e impacta fortemente o meio ambiente.

3.3. Processo de Melhoria da Sinalização de Segurança na Detonação de Rochas

O processo de melhoria é constituído por 3 fases, onde a elaboração do mesmo é de carácter flexível, pois apresenta a possibilidade de haver interligação entre as fases como mostra a Figura 3.

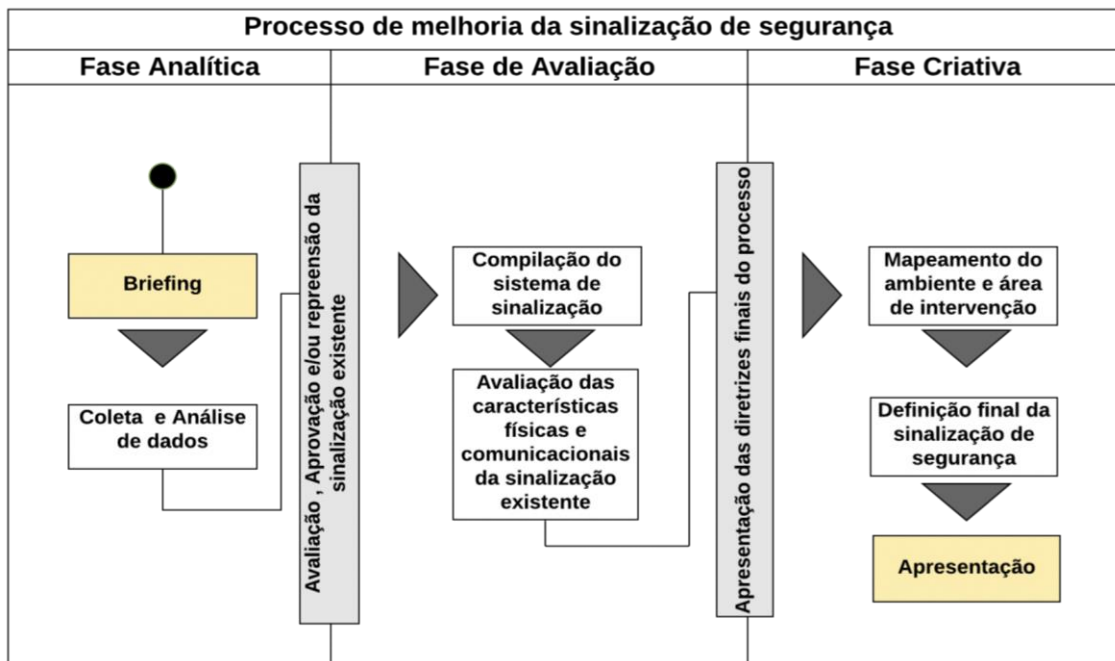


Figura 3: Proposta do processo de melhoria da sinalização de segurança Fonte: Autora (2020)

3.4. Fase Analítica

Nesta fase, são coletadas todas as informações necessárias quanto às necessidades da empresa, o problema a ser resolvido, o limite e as condições do projecto a partir do briefing e o levantamento feito na área em estudo.

3.4.1. Briefing

O briefing é o primeiro passo a ser dado em que há interação entre o projectista, os profissionais e usuários como forma de elucidá-los sobre o que será feito.

Este, deve ser criado e exposto pelo projectista ou chefe da segurança do trabalho. Após a aprovação do chefe do sector, é exposto aos directores e membros das áreas afins.

3.4.2. Coleta e Análise de dados

A coleta de dado deve ser feita pelo projectista no decorrer das actividades. Este, realiza o levantamento das características da área e da sinalização existente e posteriormente serem analisadas as informações recolhidas.

3.4.2. Características do trajeto Fábrica de Explosivos – Zona a ser Detonada

Para esta etapa, o projectista e sua equipe deverão registar o percurso, sentido, localização e tipo de pavimento que envolve a área.

3.4.3. Levantamento das características da sinalização existente

Nesta etapa, deve-se ter em conta duas fontes especificamente: inspecção de segurança e consulta dos cadastros e projectos executivos de sinalização existentes. A equipe de projectistas deverá definir diferentes pontos estratégicos de visualização da sinalização (pontos fixos e durante um percurso) para se observar, anotar e fazer registos fotográficos da sinalização existente. Para tal, deve-se fazer a escolha de pontos de observação e captura do fluxo das actividades para o levantamento de dados como: o estado de conservação da sinalização, dimensionamento, posicionamento, reflectividade e detalhes do pictograma, por meio da inspecção de segurança. Posteriormente, realiza-se a consulta dos cadastros e projectos executivos de sinalização existentes.

3.5. Fase de Avaliação

Com base nas informações que foram recolhidas na fase anterior deve-se realizar o preenchimento da planilha de campo (APR), para posteriormente serem avaliadas quanto ao sistema de sinalização de segurança existente segundo a legislação regente.

3.5.1. Compilação dos dados da sinalização existente

Depois da recolha de dados no campo, efectua-se o preenchimento da planilha de campo com os dados do estado actual da sinalização existente de acordo com a actividade, a etapa, perigo/risco e as causas, com o fim de organizar e documentar as informações para a avaliação minuciosa dos pontos de interesse.

3.5.2. Avaliação das Características Físicas e Comunicacionais da Sinalização

Realiza-se uma avaliação da sinalização, especificamente das placas e detalhes do pictograma (tamanho das letras, a cor e a reflectividade) a partir dos dados coletados na etapa anterior para se saber se estão em conformidade com a finalidade de se seleccionar para se decidir qual

sinalização permanece e qual precisa ser implementada, passando-se assim para a fase seguinte.

3.6. Fase Criativa

A fase de criatividade compreende análise, síntese e desenvolvimento em um processo que permite o retorno com base no briefing e na avaliação de desempenho da sinalização.

3.6.1. Mapeamento geográfico

Deve-se efectuar a captura de imagem no local desejado por meio de um satélite (Google Earth) ou drone para que se tenha uma visão global da área em estudo. Nesta etapa, também deve ser descrita a localização, coordenadas geográficas, bem como a distância a qua se realizou a captura de imagem.

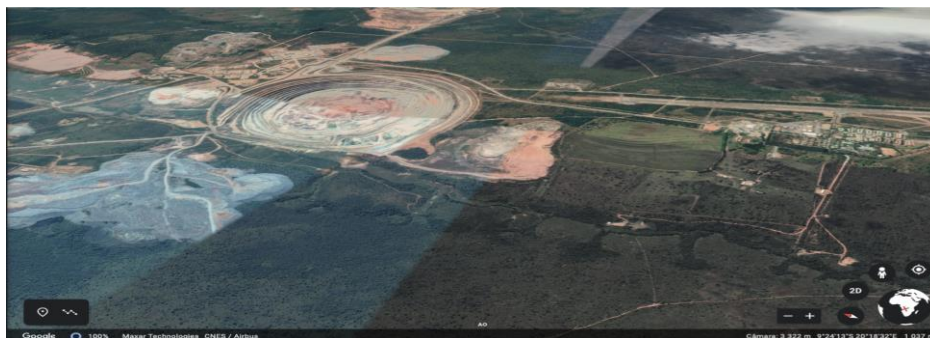


Figura 4: Vista geral da mina Fonte Google Earth (2020)

Fonte: Google Earth (2020)

3.6.2. Definição de área

Para a definição da área, deve-se fazer a demonstração do perímetro que se pretende implementar o processo por via de ilustrações topográficas (obtidas por um levantamento altimétrico) e geográficas (adquiridas pela Google Earth), onde deve exposto o sistema de sinalização de segurança existente.



Figura 4: Perímetro em estudo

Fonte: Google Earth (2020)

3.6.3. Definição final dos elementos da sinalização de segurança

Nesta etapa faz-se a alocação final dos elementos do sistema de sinalização de segurança que devem ser apresentados na proposta.



Figura 5: Processo de Melhoria de Sinalização de segurança (Fonte: Google Earth, 2020)

4. Conclusão

No período da coleta de dados, por motivo de confidencialidades de alguns processos, gerou insegurança na maioria dos funcionários. Como resultado, isso poderia ter um efeito no fornecimento de informações precisas, porque é provável que eles presumam que a administração avaliaria seu compromisso com a organização por meio das informações fornecidas. Pesquisas futuras podem, portanto, explorar as mesmas variáveis da organização

como formas a aprimorar os resultados. A avaliação do relatório feita por especialistas de segurança, meio ambiente e de minas, fez com que os resultados tivessem maior impacto.

Notou-se também que apesar de muitos funcionários já terem sofrido algum tipo de acidente na mina maioritariamente por falhas humanas, ainda assim negligenciam a sinalização existente, praticando actos inseguros, como fumar no perímetro de detonação. Durante a pesquisa constata-se que muitos dos funcionários desconhecem a existência do plano de sinalização da empresa.

Portanto, respeitar a sinalização de segurança, manter a mesma em bom estado de conservação, primar pela manutenção pré-estabelecida, dar treinamento quanto aos procedimentos de segurança aos funcionários e tornar permanente um técnico de segurança no trabalho para inspecionar a área de detonação contribui para a redução dos riscos de acidentes laborais na actividade de detonação de rochas.

Referências

ANGOLA. DECRETO No 128/04, DE 23 DE NOVEMBRO. Regime Jurídico dos Acidentes de Trabalho e Doenças Profissionais, Luanda, ang 2005. Disponível em: < <http://www.info-angola.com/attachments/article> Acesso em: 09 nov. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NOTMAS TÉCNICAS NBR- ISSO 45001: Sistemas de Gestão da Segurança e Saúde no Trabalho - Requisitos com orientações para uso, 2018.

ARCHER, LB Autobiografia de pesquisa no Royal College of Art 1961-1986 Londres, Royal College of Art, 2004.

GEVIRTZ, C. Developing new products with TQM. New York: McGraw-Hill, 1994.

GIBSON, D.. The Wayfinding Handbook. New York: Princeton Architectural Press. 2009

Google Earth. Disponível em: https://earth.google.com/web/search/mina+de+catoca/@-9.402626,20.3009891,957.99057111a,1040.66846184d,35y,0h,45t,0r/data=CnkaTxJJ CiUweDFhMmQwMjM5NGJiOTlhNjc6MHg5OTIIZmExNDZkMjVIYTBkGeEJvf4kziLAIIdX zJJ8NTTRAKg5taW5hIGRIIGNhdG9jYRgCIAEiJgokCR-Bmiu42SHAeytRMf9X6CHAGba_pQ1RnypAIXRWe-C5kCpAKAI

- MIGUEL, Alberto Sérgio. Higiene e Segurança do Trabalho, 11.ed, Porto: PortoEditora, 2010
- MIGUEL, A. S. S. R. Manual de Higiene e Segurança do Trabalho. 13ª Edição. ed. Porto: Porto Editora, 2014.
- MOREIRA, A. Segurança e Saúde no trabalho. Portugal: Lidel- edições técnicas, Lda, 2010.68
- MURTA, Mariana Gomes. Avaliação da Segurança e saúde ocupacionais no Trabalho em empresas do sector de mineração no estado de Minas Gerais,2006. Disponível em: http://arquivo.ufv.br/dep/engprod/TRABALHOS%20DE%20GRADUACAO/MARINA%20GOMES%20MURTA/TG_2006_Mari.pdf. Acesso em: 17 de novembro de 2019.
- MIGUEL, Alberto. Sérgio. S. R. **Manual de Higiene e Segurança do Trabalho**. 13a Edição. ed. Porto: Porto Editora, 2014.
- Organização Internacional do Trabalho **Segurança e saúde no trabalho**: uma visão para a prevenção sustentável [Intenet] (2020) [citado em 3 de outubro de 2020]. Disponível a partir de:http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/---safework/documents/publication/wcms_301214.pdf
- Souza, Ilan Fonseca; Barros, Lidiane de Araújo; Filgueiras, Victor Araújo. **Saúde e segurança do trabalho**: curso prático. Brasília: ESMPU, 2017. Disponível em: <http://escola.mpu.mp.br/publicacoes/obras-avulsas/e-books-esmpu/saude-e-seguranca-do-trabalho-curso-pratico-1>. Acesso em: 26 de Janeiro de 2021.

MELHORIA DAS PROPRIEDADES DOS BLOCOS DE ADOBE USANDO MUCILAGEM DE CACTOS: ESTUDO DE CASO “FORÇA DE VONTADE-LUANDA”

Eng. Abecassís Osório António Diúá¹; Silvana de Manuela Zacarias Shindany²; M. Sc.;
Antonia Dorzan Norman³; Phd. Antonio Olímpio Gonçalves⁴

¹ Instituto Superior Politécnico de Tecnologias e Ciências - ISPTEC, Av. Luanda Sul, Rua Lateral Via S10 Talatona, abecassisosorio@hotmail.com, Telm. +244 938 587 502. Luanda - Angola,

² Instituto Superior Politécnico de Tecnologias e Ciências - ISPTEC, Av. Luanda Sul, Rua Lateral Via S10 Talatona, 20160870@isptec.co.ao, Telm. +244 938 587 502. Luanda – Angola

³ Instituto Superior Politécnico de Tecnologias e Ciências - ISPTEC, Av. Luanda Sul, Rua Lateral Via S10 Talatona, antonia.norman@isptec.co.ao, Telm. +244 922 063 962. Luanda - Angola,

⁴ Faculdade de Ciências Universidade Agostinho Neto, Av 4 de Fevereiro 71, tonygoncalves72@hotmail.com, Telm. +244 926 887 944. Luanda, Angola

Resumo: A construção com bloco de adobe é uma das primeiras técnicas construtivas conhecidas pela humanidade, apesar de antiga, ainda é utilizada na produção de habitações populares em diversos lugares do mundo, principalmente em zonas rurais, onde o acesso a materiais de construção e novas tecnologias é restrito. A simplicidade de execução e o baixo custo são suas principais vantagens para comunidades distantes dos centros urbanos. Ainda que, suas vantagens técnicas sejam limitadas em relação a outros materiais, são capazes de atender as necessidades do meio rural, por exemplo, o isolamento térmico, acústico e resistência ao fogo. A técnica apresenta desvantagens, principalmente, quando sujeita às intempéries, como chuvas e raios solares. Nesta pesquisa, foi proposta a fabricação de blocos de adobe com suas características melhoradas a partir de uma estabilização com mucilagem de cactos, baixas percentagem de cimento e a utilização do solo da comunidade Força de Vontade – Zango 4 em Luanda, onde moram ex habitantes da antiga lixeira localizada nas proximidades do projecto Nova Vida os quais foram realocados nesta área. No intuito de melhorar a vida destes moradores surge o projecto do mesmo nome que utiliza materiais de baixo custo para a construção de residências. Com a realização de esta avaliação, verificando-se que ao adicionar a mucilagem do cacto na fabricação dos adobes, observou-se um aumento significativo da resistência à compressão do bloco, o que está relacionado com uma diminuição da porosidade do mesmo. Sendo que desta forma o produto final é um material contemporâneo e ecológico, destinado a execução de moradias de baixa renda, tendo por objetivo a redução de custos. Os resultados aqui alcançados mostram que a mucilagem de cactos e pequenas proporções de cimentos Portland melhoram, no geral, as propriedades dos

blocos de adobe devido a redução da porosidade relacionada a forte característica de permeabilidade que o cactos oferece aos sólidos, pelo que esta proposta visa desenvolver um material com características de resistência a compressão e à humidade, que aumentarão significativamente a vida útil de um material de construção ecológico, económico e grandemente sustentável, o que foi demonstrado nos ensaios realizados, nos quais foram processados e dosados corpos de provas obtendo resultados satisfatórios.

Palavras-chaves: Adobe, materiais de construção, mucilagem de cactos

1. Introdução

O bloco de adobe se apresenta como um material construtivo sustentável e de baixo custo. Porém, o seu uso, nas construções convencionais, está sendo abandonado por apresentar algumas desvantagens, principalmente, na presença de água, mas em contrapartida os benefícios da utilização do adobe como material de construção permitem que seja um material a considerar quando falamos de sustentabilidade. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é analisar o desempenho de blocos de adobe com a utilização de mucilagem de cacto e pequenas percentagens de cimento, quanto à resistência a compressão, impermeabilidade e durabilidade na presença de água.

Na comunidade em estudo existe uma cooperativa que tem trabalhado intensamente na aquisição de casas para melhoria das condições de moradia da população, mas nos últimos anos têm se debatido com a falta de financiamento e os elevados custos para a compra do cimento e a fabricação de blocos convencionais de argamassa.



Figura 1.6 a) Comunidade Força de vontade, Zango 4, Viana, Luanda- Angola. Fonte: Autor, 2021.

O solo do caso de estudo é arenoso tendo menos de 5 % de argila na sua composição. Segundo muitos autores o ideal para a confeção dos adobes é a presença de 30 % de argila

na composição do solo. Assim a ausência da argila como ligante das partículas do solo levou a utilização do cimento que fez as ligações necessárias para o seguimento do experimento.

A fase experimental foi realizada nos laboratórios de solo, de agregados e de rebentamento do Instituto Superior Politécnico de Tecnologias e Ciências (ISPTEC). Os materiais de solo utilizados foram caracterizados quanto à composição granulométrica e teor de humidade. Seguindo os critérios estabelecidos, produziu-se os blocos de adobe nas dimensões de 16x6x6,0 cm.

Três processos de produção foram definidas: a fabricação de adobe, com a mistura de solo, água normal e o cimento nas proporções de 5, 10, 20 e 30 %, no segundo processo usou-se uma mistura de solo com a mucilagem de cactos e as respetivas proporções do cimento e na terceira a produção de adobe simplesmente com água e a mucilagem.

2. Preparação e Produção dos Blocos

2.1. Obtenção do Gel da Mucilagem de Cactos

Num recipiente colocou-se 15 litros de água, adicionou-se 600 gramas de cactos previamente cortados e picados em tamanhos reduzidos e deixou-se descansar por três dias para liberar a mucilagem.



Figura 2. Sequência de preparação da mucilagem. Fonte: Autor, 2020.

Passado os três dias retirou-se os pedaços dos cactos e procedeu-se a coagem da mucilagem.

2.2. Processo de preparação dos provetes

Preparou-se a mistura de solo, cimento e água em um misturador mecânico de argamassa, sob as mesmas condições ambientais de constituição dos componentes diferindo na água de amassadura, e nas percentagens de cimento, para os que se elaboraram um total de 60 amostras designados como G. Provetes de 1 a 5 representando os distintos grupos como se amostra no organograma da metodologia exploratória na tabela 2.1 são apresentados as quantidades de solo, cimento água normal e mucilagem que foram adicionadas a cada uma das misturas o Ms refere-se a massa de solos utilizados. A seguir realizou-se a mistura dos materiais e obtiveram-se os blocos para ensaios de compressão simples e absorção.

Designação	Massa do Solo [g]	Massa do Cimento [g]		Volume de água simples [ml]	Volume de água mucilagem [ml]
G. Provetes 1	2600,00	0%	-	590,00	590,00
G. Provetes 2	2600,00	5% da Ms	130,00	590,00	590,00
G. Provetes 3	2600,00	10% da Ms	260,00	590,00	590,00
G. Provetes 4	2600,00	20% da Ms	520,00	590,00	590,00
G. Provetes 5	2600,00	30% da Ms	780,00	590,00	590,00

2.2. Organograma das quantidades dos blocos confeccionado

A Figura 3 apresenta o fluxograma comumente utilizado nos processos de produção de blocos.

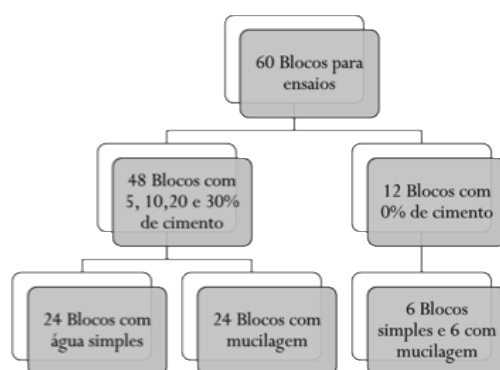


Figura 3: Organograma do processo de produção de blocos

3. Ensaio de Caracterização dos BTC

3.1 Ensaio De Compressão Simples

Os adobes confeccionados foram submetidos a testes de compressão simples 28 dias após da sua fabricação. Antes da realização do ensaio, determinaram-se os pesos e verificou-se as medidas de cada provete, observando-se bom aspecto estético das amostras, como cantos bem definidos e boa qualidade final do bloco sem aparecimento de fissuras. Com o valor máximo da força aplicada aos provetes determinou-se a tensão que os mesmos suportam.

$$f_c = 10 \times \frac{f_{ruptura}}{A} \quad (1)$$

f_c - Valor da resistência à compressão,

$f_{ruptura}$ (kN) - Carga suportada pelo provete até a ruptura,

A (cm²)- Área da secção



Figura 4. Ensaio de compressão dos provetes. Fonte: Autor, 2020.

3.2. Ensaio de absorção de água

O ensaio de absorção de água tem a finalidade de estudar o comportamento dos blocos face à ascensão de água por capilaridade. Através da medição da quantidade de água absorvida em função do tempo de ensaio é possível determinar o coeficiente de capilaridade (CC), que representa a velocidade de absorção de água no início do ensaio e também o valor

assimptótico (VA) que representa a quantidade máxima de água absorvida pelo bloco, com a utilização das equações 3.2 e 3.3 referenciadas a seguir.

$$CC = \frac{M_p - M_{p0}}{A_0 \sqrt{t}} \tag{2}$$

$$VA = \frac{M_p - M_{p0}}{A_0} \tag{3}$$

Onde: M_p é a massa do provete húmido durante um determinado tempo em Kg; M_{p0} é a massa do provete antes da absorção da água em Kg; A_0 é a área do provete em m^2 e; T é o tempo de absorção por capilaridade em minutos.

4. Resultados

4.1 Ensaio de Compressão Simples

A partir do ensaio para determinação de resistência à compressão realizado com um total de 40 corpos de prova, 20 confeccionados com água simples e os outros 20 com a mucilagem de cactos, foram obtidos os resultados indicados na tabela 4.1. Os valores de resistência à compressão resultaram da razão entre a carga última de compressão e a área da secção comprimida.

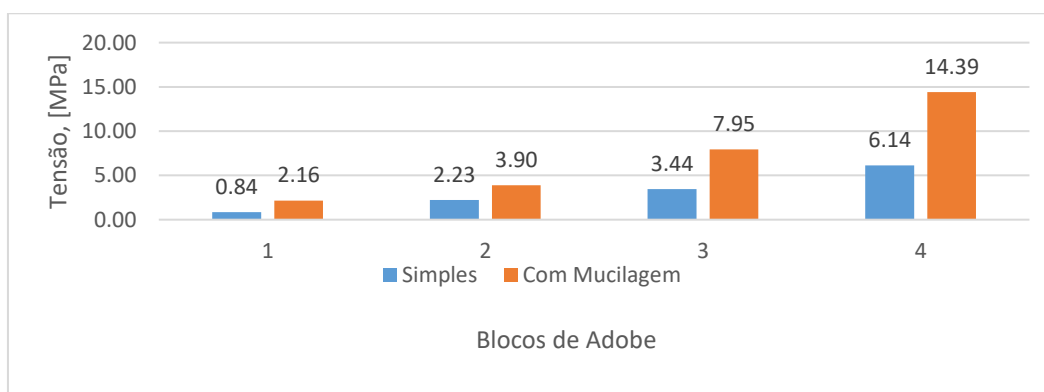


Figura 5. Valores de resistência à compressão dos provetes em estudo.

4.2. Ensaio de Absorção de Água

A partir do ensaio de absorção de água por capilaridade, foram obtidas as massas, em gramas, dos corpos de prova nos tempos 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60 e 70 minutos, seus resultados estão

descritos na Figura 1. Na comparação para os provetes dos dois lotes produzidos com as distintas proporções de cimento verificou-se uma saturação progressiva dos adobes simples aos 70 minutos com um coeficientes de capilaridade de $0,37 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{min}^{0,5})$ e o adobe com mucilagem no mesmo período sem atingir a saturação com $0,15 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{min}^{0,5})$. O mesmo só atingiu a saturação total passados 2 dias.

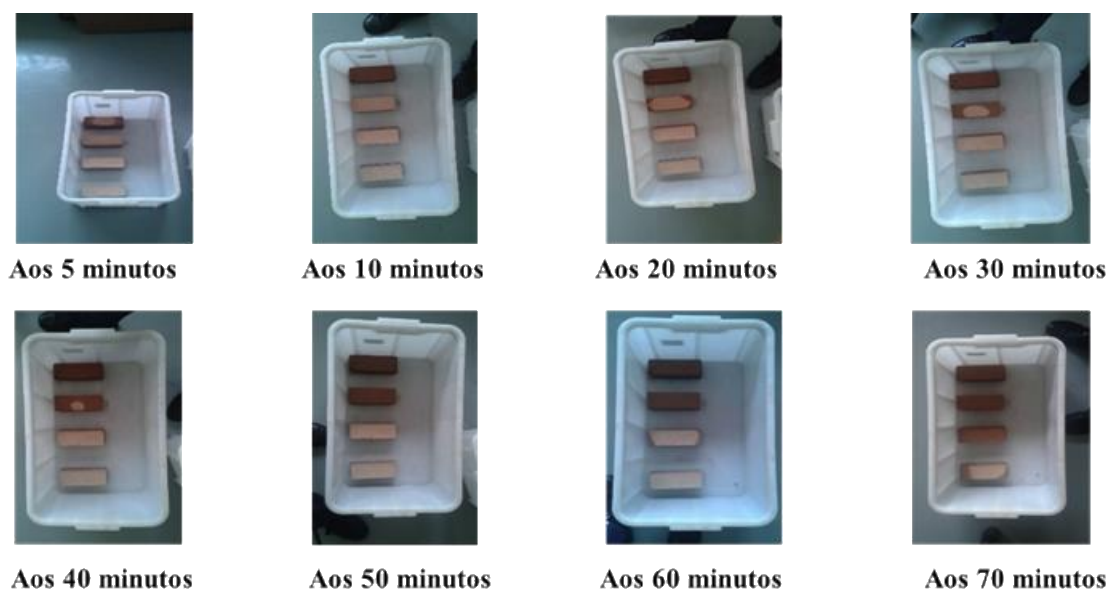


Figura 6. Absorção por capilaridade para os adobes. Fonte: Autor, 2020

Proporção de Cimento	Lotes Simples			2Lotes com Mucilagem			% Tensões
	Tensão [MPa]	CC [Kg/m ² min ^{0,5}]	VA [Kg/m ²]	Tensão [MPa]	CC [Kg/m ² min ^{0,5}]	VA [Kg/m ²]	
0%	0,06	0,38	0,17	0,13	0,27	0,12	46%
5%	0,84	0,54	0,24	2,16	0,50	0,16	39%
10%	2,23	0,57	0,18	3,90	0,38	0,12	57%
20%	3,44	0,50	0,16	7,95	0,38	0,12	43%
30%	6,14	0,37	0,12	14,39	0,15	0,05	43%

4.3. Definição da Dosagem para a Confeção de Bloco de Adobe

Para o sucesso dos experimentos laboratoriais, na utilização do solo colhido na comunidade do caso de estudo para a produção de blocos de adobe, definiu-se os traços:

- Para a mucilagem 1:25, isto é, 1 grama de cactos para cada 25 gramas (25 ml) de água;
- Para a quantidade de cimento a utilizar a proporção de cimento deve ser medida a partir de 2600 gramas de solo nas percentagens de 5,10,20 e 30%.

5. Conclusão

Com os resultados apresentados neste trabalho, pode-se concluir que:

- No experimento realizados os blocos oriundos das três produções referenciadas, não apresentaram rachaduras, fissuras ou retração devido a ausência de finos na composição do solo;
- Os blocos produzidos sem mucilagem têm maior velocidade de absorção que os blocos com o estabilizante;
- Verificou-se que os blocos produzidos com a mucilagem apresentam resistências elevada à compressão com uma variação de 39% à 57%, em relação aos produzidos com água normal;
- Constatou-se que a porosidade dos blocos produzidos com a mucilagem diminui à medida que a concentração do cimento aumenta;
- Os resultados aqui obtidos mostram que a mucilagem de cactos melhora, no geral, as propriedades avaliadas devido à forte característica de permeabilidade que o cactos proporcionam aos sólidos;
- O efeito da mucilagem de cactos na permeabilidade aparentemente é devido à inibição na interação entre a água e o sólido que não permite a ascensão do líquido por capilaridade.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8492:2012: Tijolo de solo-cimento – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13554:2012: Solo-cimento – Ensaio de durabilidade por molhagem e secagem – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

CORRÊA, A. et al. Avaliação das Propriedades Físicas e Mecânicas do Adobe. Ciênc. agrotec. Lavras, v. 30, n. 3, p. 503-515, maio/jun., 2006.

EDIFICAÇÕES ANTISÍSMICAS DE ADOBE – MANUAL DE CONSTRUÇÃO, Perú, 2010. p.5

ENTAC2008. A Terra Na Construção Civil: Edificações De Adobe No Município De Pedro 2, Piauí. Fortaleza: 2008.

ENTAC2014. Avaliação de Tijolos de Adobe com Adição de Cinzas e Fibras do Coco, Piauí. Fortaleza: 2014.

AS TELECOMUNICAÇÕES EM SMART CITIES 3.0

Maura Firmino ¹ e Campos Pataca ²

¹ Departamento de engenharia electrónica e electrotécnica da Faculdade de Engenharia UAN- Universidade Agostinho Neto. Avenida 21 de janeiro. E-mail: maurafirmas@gmail.com, Tel: (+244) 928 991 648, Luanda, Angola.

² ISUTIC-Instituto Superior de Tecnologias de Informação e comunicação Departamento de engenharia de Telecomunicações. Parque Tecnológico do Parque Saber no KM7. Bairro dos CTTs. E-mail: cleofas36@gmail.com, Tel: (+244) 912 218 289, Luanda, Angola.

Resumo: Quando analisados os dados de progresso da urbanização mundial, se observa que o aumento de indivíduos e famílias em cidades urbanas tem apresentado crescimento exponencial. Este crescimento é decorrente das oportunidades de trabalho, económicas e serviços públicos oferecidos. Tal crescimento traz consigo diversos desafios, principalmente em locais onde ele é desordenado. Estes desafios geralmente estão relacionados ao fornecimento inteligente de serviços essenciais, como: energia, transporte público, saúde, água e educação, entre outros. A infraestrutura é fundamental para a forma como uma cidade disponibiliza e opera os principais serviços para a sociedade, como o transporte de pessoas, energia, dinheiro, ideias e muito mais.

Palavras-chave: *Smart City*; Telecomunicações; Tecnologias; Cidades; Cidadãos

1. Introdução

Planejar, gerenciar e governar cidades de forma sustentável, maximizando as oportunidades económicas e minimizando os danos ambientais são grandes desafios que praticamente todos os países vão enfrentar neste novo século. Os recursos públicos precisam ter melhor utilização e os ativos naturais precisam ser explorados de forma consciente e responsável. Todos os aglomerados urbanos apresentam desafios a serem enfrentados (Prodemge, 2016). As grandes cidades e as áreas metropolitanas, por sua vez, são vistas cada vez mais como sistemas complexos com conexões entre seus diferentes ambientes e indivíduos. Por isso cresce a importância do planeamento urbano e do desenvolvimento de mecanismos de decisão dinâmicos, que levem em conta o crescimento e a inclusão de processos de participação cidadã (Bouskela, et al., 2016)

Para gerenciar e melhorar as cidades é preciso conhecer o que ocorre nelas, em suas diferentes regiões, e isso só é possível com mudanças nas estruturas de governo e nos processos de comunicação e participação dos diferentes atores que atuam em sua gestão. Por

isso, transformar “cidades tradicionais” em *Smart Cities*, ou Cidades Inteligentes, é uma demanda cada vez mais importante. Com o surgimento da tecnologia digital, da internet e das tecnologias móveis, essa transformação se torna mais viável a cada dia (Barbier, et al., 2017). Uma Cidade Inteligente é uma cidade inovadora que utiliza as Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) e outros meios para melhorar a qualidade de vida, a ciência das operações e serviços urbanos e sua competitividade, enquanto garante o atendimento das necessidades das gerações atuais e futuras com relação aos aspectos económicos, sociais e ambientais (Hiroki, 2019). Este trabalho tem como objectivo analisar o papel das telecomunicações nas Smarts cities 3.0 e compreender sua influência no modo como uma cidade pode usar de forma inteligente os seus recursos para atender o exponencial crescimento populacional.

2. Metodologia

Trata-se de um estudo exploratório descritivo, com abordagem fundamentalmente qualitativa, realizado no segundo semestre de 2019 no Instituto Superior de Tecnologias de Informação e Comunicação (ISUTIC), tendo como elementos de amostra populacional vinte cidades, incluindo cidades do continente africano. Como instrumentos de coleta de dados serviram o levantamento das bases bibliográficas para a recolha de informações, e consultas em meios eletrônicos, periódicos técnicos, teses, dissertações, além de artigos científicos. Foram feitas análises qualitativas e quantitativas, com vista à complementação e robustez na produção de informações.

2.1. Cidades inteligentes

O primeiro registro de uma análise sobre Cidades Inteligentes que aborde a eficiência de uma cidade via plataformas de tecnologia foi indicado por Komninos em 2002. O autor descreve um local que combina o ambiente digital e comunidades reais, possui elevado nível de conhecimento, pertence a uma área geográfica que partilha o conhecimento, depende de uma infraestrutura baseada em TIC e otimiza a gestão do conhecimento (Hiroki, 2019).

Tabela 1.1 Principais conceitos de cidades Inteligentes. Fonte: (Hiroki, 2019)

Autor	Definição
Giffinger et al. (2007) <i>European Smart Cities</i> UE	Como resposta a um cenário de mudanças econômicas e tecnológicas causadas pela globalização e o processo de integração, cidades na Europa encaram o desafio de combinar simultaneamente competitividade e sustentabilidade no desenvolvimento urbano. Muito <i>evidentemente</i> , este desafio é como ter um impacto em questões de Qualidade Urbana como condições de habitação, economia, cultura,

	social e meio ambiente.
Townsend (2013) Estados Unidos	<i>smart Cities</i> são lugares onde a Tecnologia da Informação tem a capacidade, o poder de resolver problemas novos e antigos. Não é um momento de Revolução Industrial, mas de Revolução da Informação. As pessoas no seu bolso já possuem um kit de construção para uma Cidade Inteligente: um <i>Smartphone</i>
Kitchin (2013) Irlanda	Nos últimos 15 anos, o conceito de Cidades Inteligentes ganhou tração entre empresas, governos, mídia e academia para analisar o assunto. Kitchin indica duas perspectivas: o uso de Tecnologias da Informação e Comunicação para estimular o desenvolvimento econômico e também o intenso uso de <i>softwares</i> adicionados às estruturas das cidades que permitem o aumento da administração urbana.
Menkhoff (2015) Singapura	Uma cidade pode ser definida como <i>smart</i> quando urbanização se beneficia de uma alta qualidade de vida, boa educação, emprego, saúde, conectividade, segurança, mobilidade e tecnologias relevantes (por exemplo, sensores) unidos para aumentar o desenvolvimento sustentável das cidades.
Cunha et al. (2016)	Uma cidade inteligente é aquela que supera os desafios do passado e conquista o futuro, utilizando a tecnologia como um meio para prestar de forma mais eficiente os serviços urbanos e melhorar a qualidade de vida dos cidadãos.
Rozestraten (2016) Brasil	Como modelo exemplar ou paradigma, a <i>smart City</i> deve possuir uma estrutura urbana com limites evidentes, contrastando com seu entorno, sem ambiguidades sobre onde começa nem onde termina a cidade. Não há indícios de que essa estrutura tenha flexibilidade para se transformar nem que esteja aberta a futuras alterações promovida por interferências de seus habitantes. Além de organizar espacialmente as várias funções urbanas, uma <i>smart City</i> deve funcionar com eficiência e ter metas – espelhando o modelo empresarial que a origina – claras e precisas.

2.2. Principais características de Smart Cities

Asa cidades inteligentes são caracterizadas por cinco elementos fundamentais (Arruda, 2019):

- *Sustentabilidade: funcionalidade; sustentabilidade ambiental; desenvolvimento sustentável; crescimento sustentável; redução da pobreza; sustentabilidade ecológica, social, cultural e econômica; energias reutilizáveis, novas fontes renováveis; crescimento econômico sustentável (Bouskela, et al., 2016).*
- *Qualidade de Vida: elevada capacidade de mobilidade urbana; melhorias na qualidade de vida; acessibilidade urbana; inclusão e bem-estar; inclusão e acessibilidade para pessoas com deficiências ou limitações; desenvolvimento da infraestrutura urbana; elevada qualidade de vida (Zeitune, et al., 2018).*
- *Inovações e Competitividade: elevado empreendedorismo e qualificação; alavancarem em pesquisas acadêmicas; empreendedorismo e investimentos inovadores e sustentáveis; competitividade econômica nacional; competitividade global. (Bouskela, et al., 2016)*
- *Governança: participação popular; ética; novos modelos de governança; democratização; capacidade de gerenciar mudanças; desempenho em políticas públicas; governo eletrônico; transparência no acesso à informação pelos cidadãos; engajamento e gestão participativa; governança participativa; envolvimento, engajamento, inovação, responsabilidade e participação (Arruda, 2019).*
- *Tecnologia: útil, calma, suave, controlada, veloz, fácil de usar, mundana, pessoal, confiável, inclusiva, democrática; usável e com informações relevantes; controle e manutenção de dados abertos; alta e integrada infraestrutura em rede e desenvolvimentos das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC); capacidade de absorver TIC; fomento à conectividade; tecnologias modernas, integradas, abertas e inovadoras; integração de tecnologias antigas e novas (Bouskela, et al., 2016).*

2.3. O papel das Telecomunicações em Smart Cities 3.0

Se as pessoas desejam ter uma vida confortável em cidades inteligentes, os sistemas de telecomunicações devem ser capazes de conectar todos os tipos de coisas, incluindo conexões homem-a-homem, homem-máquina, máquina-máquina. Essas conexões e interações entre as coisas possibilitam que as pessoas usem a energia com eficiência e, ao mesmo tempo, desfrutem de uma vida confortável (Hiroki, 2019). Os exemplos incluem verificar remotamente o que outras pessoas estão a fazer, obter as informações de que você precisa de um dispositivo portátil quando e como você precisa e a comunicação entre veículos e sinais de trânsito para evitar congestionamentos. Sistemas de telecomunicações são necessários para smart cities pois, com a adoção das tecnologias de comunicação mais adequadas se torna possível o fornecimento contínuo de uma ampla variedade de serviços em cidades inteligentes (Arruda, 2019).

A conectividade torna a gestão urbana mais e ciente e ágil, na medida em que não é necessário buscar informações aqui ou ali. A informação é armazenada em rede, de forma integrada e

interligada. A incorporação da gestão inteligente e integrada das informações para medir, captar e monitorar as condições de quase tudo faz com que pessoas, sistemas e objetos se comuniquem e interajam. Por meio da conectividade e interatividade entre as redes, a informação chega de forma simultânea e integrada entre os diversos receptores espalhados pelos principais pontos das cidades, receptores esses que promovem uma gestão e ciente, inteligente e sustentável (Zeitune, et al., 2018). Em uma cidade inteligente a conectividade é um item muito importante e indispensável, pode se dizer que sem ela não se torna possível vários projectos e serviços que tornam o nível da cidade cada vez mais inteligente e ascendente ,como disse (Barbier, et al., 2017) é preciso ter conectividade na cidade inteira, não apenas para as pessoas e para os smartphones, mas para os sensores e outros dispositivos. É isso que viabiliza outras oportunidades.

3. Resultados

Com esta pesquisa os principais resultados atingidos foram a percepção da disparidade que existe nas cidades emergentes e as mais avançadas. As cidades emergentes se esforçam para eliminar a exclusão digital - uma prioridade para cidades e cidadãos que estão entrando em um mundo digital, trabalhando com provedores de telecomunicações para fornecer acesso confiável e acessível. As grandes cidades (mais avançadas) estão mais aptas do que as pequenas a fazer parceria com provedores de telecomunicações para fornecer serviços inteligentes. As cidades em mercados avançados oferecem mais frequentemente Wi-Fi gratuito, enquanto as cidades de mercados emergentes se concentram mais em parcerias para proteger dispositivos gratuitos ou de baixo custo. Cidades avançadas usam análise de dados para entender a exclusão digital, enquanto cidades emergentes usam parceria público privada para fechá-la (Bouskela, et al., 2016).

A conectividade é fornecida por meio de redes de telecomunicações e infraestrutura digital. A transmissão de uma grande quantidade de dados entre hosts remoto e usuário final em altas velocidades requer instalações compartilhadas capazes de transferir dados a taxas consideravelmente maiores do que redes telefônicas tradicionais, bem como recursos de acesso para conectar indivíduos à rede pública ou compartilhada.

BIBLIOGRAFIA

Arruda, Juliana Romero de. 2019. PROPOSTA DE. ODELO DE MATURIDADE PARA CIDADES INTELIGENTES. Mestrado profissional em ciencia da cidade, Universidade de Fortaleza-UNIFOR. Fortaleza : s.n., 2019.

Barbier, Joel, Delaney, Kevin e France, Nicole. 2017. Cidades digitais: criando a nova infraestrutura pública. Cisco. Brasil : s.n., 2017.

Bouskela, Maurício, et al. 2016. Caminho para Smart City: Gestão tradicional para a cidade inteligente. Brasil : s.n., 2016.

Cidades inteligentes, práticas colaborativas. Prodemge. 2016. Brasil : s.n., 2016, FONTE, Vol. 15, p. 100. 1808-0715.

Hiroki, Stella Marina Yuri. 2019. *Parametros Para Identificação Dos Estágios De Desenvolvimento Das Cidades Inteligentes No Brasil.* Programa De Pós- Graduação Em Tecnologia De Inteligencia E Design Digital, Pontificia Universidade Católica De São Paulo. SÃO PAULO : s.n., 2019.

Zeitune, Leonardo Jacques Gammal, Dubeux, Veranise Jacobowski Correia e Correa, Silvia Borges. 2018. *Cidades inteligentes:o uso da tecnologia e da informação na promoção do desenvolvimento socioevonomico.* Economia Criativa, Escola superior de propaganda e marketing do Rio de Jnaiero. Brasil : s.n., 2018.

IMPLEMENTAÇÃO DE UMA UNIDADE EM ESCALA DE BANCADA PARA A PRODUÇÃO BIO-OLEO POR CRAQUEAMENTO TÉRMICO DO ÓLEO DE PALMA

Arleth Prata Serafim Francisco (arlethserafim@gmail.com)¹; Ana Kiese Z. Jeremias² (anakiessezeleme@gmail.com), Adriano Mateus¹ e António André Chivanga Barros² (chivanga.barros@isptec.co.ao)

¹Department of Engineering and Technology (DET), Instituto Superior Politecnico de Tecnologias e Ciências (ISPTEC), Avenida Luanda Sul, Rua Lateral S10, Talatona, Luanda, Angola

²Chemical Engineering Department, Engineering Faculty of Agostinho Neto University (UAN), Avenida 21 de Janeiro, Luanda, Angola.

RESUMO: Diante da necessidade de utilização de fontes alternativas renováveis de energia, o presente trabalho visa investigar o uso do óleo de palma (*Elaeis guineensis*, Jacq) como matéria-prima para a produção de biocombustíveis. Foi projectado e construído um reactor em escala de bancada, com capacidade para processar até 2 l/h, no qual foi utilizado para a realização de experimentos de craqueamento de óleo de palma, na perspectiva de produzir biocombustíveis. O bio-óleo produzido apresentou um índice de acidez equivalente a 10,2 mg KOH/g. Além disso, avaliou-se o rendimento das frações destiladas e suas características físico-químicas por meio de um estudo comparativo com outros autores, bem como das especificações técnicas. A fim de investigar a qualidade do produto obtido foram realizadas análises de índice de acidez (IA), índice de refração (IR), densidade (D) e viscosidade cinemática (V) das frações destiladas, correspondentes à Biogasolina (40-175°C), Querosene verde (175-235°C) e Green Diesel (235-305°C), cujo maior rendimento foi da fração de Green Diesel (42.14%). O processo de destilação foi realizado usando-se uma coluna de destilação, em escala de laboratório.

Palavras-chave: Pirólise, óleo de palma, reactor, biocombustíveis.

1. INTRODUÇÃO

O consumo desenfreado dos combustíveis fósseis, decorrente do aumento da população mundial, impulsiona as taxas de extracção de recursos minerais não renováveis para garantir o atendimento das necessidades energéticas mundiais. Para o atendimento de tais demandas, é necessário implementar estudos que visam o desenvolvimento de combustíveis alternativos, essencialmente derivados de recursos renováveis, entre eles a biomassa e produtos residuais do processamento de alimentos (EIA, 2009; Rosa, 2017).

Desta forma, a investigação científica e tecnológica têm sido a vanguarda para a identificação de fontes renováveis, sustentáveis e com potencial energético, capazes de proporcionar combustíveis e energia com características similares aos combustíveis fósseis. Com este olhar, disponibiliza-se recursos para a economia mundial e para o consumo industrial, para as próximas décadas, com pendimento no desenvolvimento de estudos avançados (Rosa, 2017).

Neste sentido, o aumento da eficiência energética está associada a implantação de tecnologias renováveis, eficientes e sustentáveis, menos dispendiosas e que podem utilizar recursos energéticos renováveis, com custos e impactos sobre o meio ambiente reduzidos. Deste modo, perspectiva-se a solução de problemas energéticos, com o uso de combustíveis alternativos, de fontes renováveis. As tecnologias implementadas, no âmbito da produção de energias renováveis, podem atender uma gama de necessidades de energia. Assim, a utilização sustentável de recursos perspectiva significativa contribuição económica e ambiental. De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA), a energia proveniente da biomassa representa aproximadamente 14% do total da energia primária no mundo, com uma taxa de emissões gasosas 56% menores que as emissões advindas do uso de combustíveis fósseis (IEA, 2009; Rosa, 2017).

Para a produção de combustíveis alternativos, como descrito neste trabalho, os procedimentos de processamento da biomassa envolvem, entre eles o craqueamento térmico ou termo catalítico, comumente utilizados na indústria de refinação do petróleo, para o incremento das fracções de componentes leves (Wiggers, 2008).

O processo de craqueamento térmico de óleos e gorduras tem como objectivo, produzir bio-óleo que quando fracionado resulte em biocombustíveis com fracções de hidrocarbonetos leves, similares à gasolina, querosene e diesel de origem fóssil (Wiggers, 2008; Naik et al, 2010).

Neste estudo foi projectado, construído e executados ensaios experimentais em um reactor PFR em escala de bancada, para processar fracções líquidas ou mistura de óleos e plásticos e com vazão de operação de até 2 litros por hora. O sistema de aquecimento implementado utiliza gases de combustão que circulam pelo sistema encamisado do equipamento. Este princípio torna o reactor referenciado autossustentável, pois pode-se utilizar os gases não condensáveis do processo de craqueamento como fonte térmica do reactor.

2. MATERIAIS E METÓDOS

2.1 Equipamentos e Materiais

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi projectado, construído e instalado um reactor PFR, em escala piloto, aquecido internamente usando os gases de combustão e utilizado para

realizar ensaios experimentais de craqueamento térmico de óleo de palma (*Elaeis guineensis Jacq*), tendo resultado na produção de bio-óleo, com as características similares ao do petróleo bruto. O bio-óleo produzido foi fracionado para se obter como produtos a bio-gasolina, bioquerosene e green-diesel.

2.2. Aparato Experimental

Foi projectado, construído e instalado um reactor PFR, cujo foi utilizado para realizar ensaios experimentais de craqueamento térmico de óleo de palma. A unidade, em escala de bancada, comporta: a) secção de alimentação; b) secção de evaporação; c) secção reactiva e d) secção de condensação e recuperação de produtos. A estruturação descrita possibilitou realizar os ensaios experimentais, baseado em procedimentos de controlo dos parâmetros de operação, para se obter bio-óleo com características similares ao petróleo bruto. Os produtos advindos destes ensaios foram caracterizados e os resultados comparados com os do petróleo bruto. Em seguida, o bio-óleo foi fracionado por cortes quando se obteve produtos similares aos combustíveis fósseis. Em cada etapa dos procedimentos descritos foram utilizados aparatos experimentais específicos que garantiram qualidade nos produtos obtidos.

2.2.1. Craqueamento em escala de bancada

O reator pirolítico utilizado para obtenção dos dados experimentais é um reator do tipo tubo e carcaça. Ele consiste em um tubo cilíndrico em camisado é operado em regime contínuo em condição de estado estacionário.

Fez-se aquecimento da unidade através da queima do gás de combustão e iniciou-se o acompanhamento da dinâmica do aquecimento em três pontos do reactor até o alcance da temperatura de reação. A mostra a ser craqueada foi previamente aquecida para diminuir a viscosidade e as tensões superficiais na parede da tubulação. Para diminuir o tempo de residência, a saída dos gases não condensáveis foi acoplado um sistema de exaustão. Após a estabilidade térmica do reactor, iniciou-se a alimentação garantindo a vazão necessária para o ensaio experimental. No reactor ocorre as reações químicas, caracterizadas pela quebra da estrutura molecular, instabilidade e formação de novos componentes químicos. Os produtos saem pelo topo do reator e passam pelo sistema de condensação e recuperação e retirados nos dois tanques flash inseridos no percurso do escoamento dos produtos. Os produtos obtidos em cada experimento foram retirados, devidamente rotulados e caracterizados.

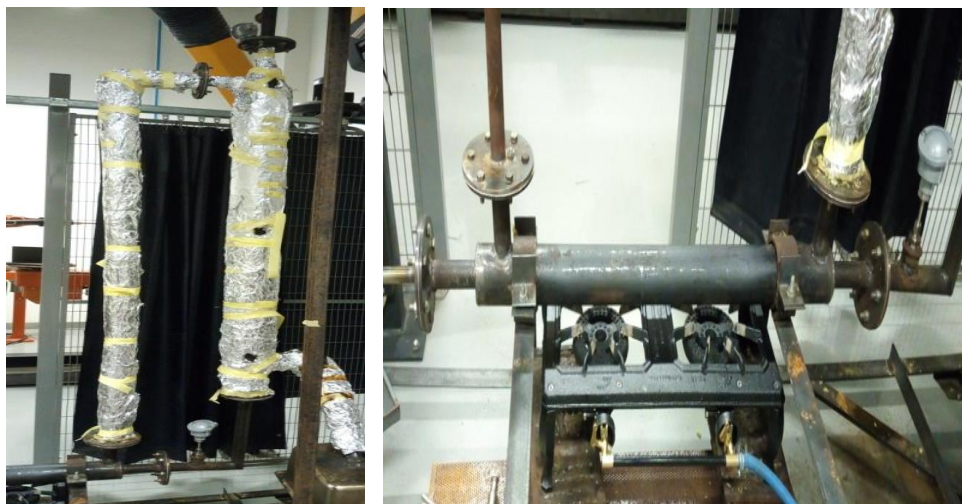


Figura 1. Reactor PFR a) Reactor pirolítico; b) Evaporador

2.3. Caracterização Físico-Química do Bio-óleo e Frações de Biocombustíveis

A caracterização físico-química do bio-óleo e dos derivados obtidos dos cortes de destilação foram realizados conforme os métodos padrões estabelecidos pela Normas Brasileiras (NBR) da Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT e de Normas da American Society for Testing and Materials (ASTM), obedecendo as especificações estabelecidas pelas normas 37/2009, 57/2011 e 65/2011 da ANP, que especificam valores para as propriedades e características da gasolina, querosene de aviação e óleo diesel comercial de uso rodoviário S10. As propriedades avaliadas foram: Densidade a 20°C, Viscosidade Cinemática a 40°C (viscosímetro SCHOTT - GERATE), Índice de Acidez, Índice de saponificação e o Índice de Refração.

2.4 Aparato Experimental (Unidade de Destilação Fracionada)

O fracionamento do bio-óleo na faixa de temperatura dos derivados do petróleo foi realizado usando-se uma coluna de destilação, em escala de laboratório, constituída por um balão de fundo redondo (500 ml); placa de aquecimento (modelo Nema-05 e potência de 1500 W); coluna de destilação do tipo Vigreux; 2 (dois) condensadores liebig (recto) de boros silicato, montados em paralelo; proveta de 100 ml para a coleta do destilado; e, um banho ultratermostático com recirculação (modelo CORIO CD-200F, 220V e 1 kW). O controlo da temperatura foi feito com o auxílio de um multímetro digital (Hikari MM-2090) no topo da coluna. O balão e a coluna Vigreux foram revestidos com papel de alumínio com o objetivo de minimizar as perdas térmicas do sistema para o meio externo, aumentando assim a eficiência do processo.

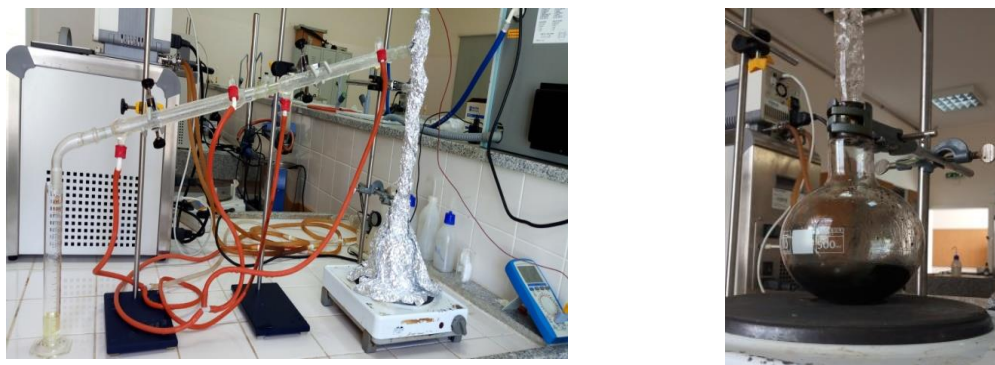


Figura 2.: a) Destilação Fracionada do bio-óleo; b) : Balão volumétrico, depois do fracionamento

2.5. Procedimentos Experimentais

A destilação fracionada do bio-óleo foi realizada em escala de bancada, para se obter frações de corte na faixa de $40^{\circ}\text{C} \leq T \leq 175^{\circ}\text{C}$, para a Biogasolina; na faixa de $175^{\circ}\text{C} \leq T \leq 235^{\circ}\text{C}$ para o bioquerosene e, na faixa de $235^{\circ}\text{C} \leq T \leq 305^{\circ}\text{C}$ para o Green-Diesel. As frações obtidas em cada faixa de temperatura de destilação foram coletadas e armazenadas posteriormente submetidas às análises físico-químicas, como no trabalho realizado por Wiggers (2008).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização do Físico-Química do Bio-óleo

Tabela 1 contém os resultados da caracterização físico-química do bio-óleo, cujos procedimentos metodológicos estão descritos na secção 2. Observou-se que os valores da viscosidade e a densidade estão no mesmo intervalo destes parâmetros das ramas de petróleo, estabelecidos pela ANP. Estudos do craqueamento do óleo de palma (*Elaeis guineensis*, Jacq) realizados por Corrêa et al. (2014) resultaram na obtenção do bio-óleo com índice de acidez equivalente de 30,45 mg KOH/g, justificado pela ausência de estabilização dos produtos, no final de processo, exigindo a implementação de operações complementares para diminuir o índice de acidez dos produtos do reactor.

Tabela 1. Características físico-químicas do Bio-óleo produzido, comparativamente com petróleo

Bio-óleo	Unidades	Petróleo bruto (ANP)	Resultados
Índice de acidez	mg KOH/g	0,5- 1,0	10,2
Viscosidade, 40 °C	mm ² /s	2,0- 4,5	2,01
Índice de Refração	-----	-----	1,46
Densidade à 26°C	g/cm ³	0,86-0,94	0,81
Cor e estado	-----	Castanho escuro	Castanho escuro

3.2 Curva de destilação do Bio-óleo

A curva de destilação construída do bio-óleo, foi comparada com a curva de de destilação de uma rama de petróleo conforme a Figura 3. A condição máxima de operação foi limitada pela capacidade dos instrumentos de medida utilizados, tendo-se observado o comportamento qualitativo similar, justificando assim a presença de hidrocarbonetos similares aos do petróleo bruto.

A análise qualitativa da curva de destilação do Green-diesel, comparativamente ao diesel fóssil, conforme descrição contida na Figura 4, mostra similaridade no seu comportamento. Na generalidade, com o aumento de temperatura observa-se o aumento do volume do líquido acumulado e para temperaturas de aproximadamente 250 a 270°C, observa-se estabilização térmica na faixa e aumento do volume de 25 até 62 ml. Depois deste intervalo, observa-se o aumento da temperatura até a condição final, que resulta na temperatura final de 410°C para o diesel e 345°C para o Green-diesel.

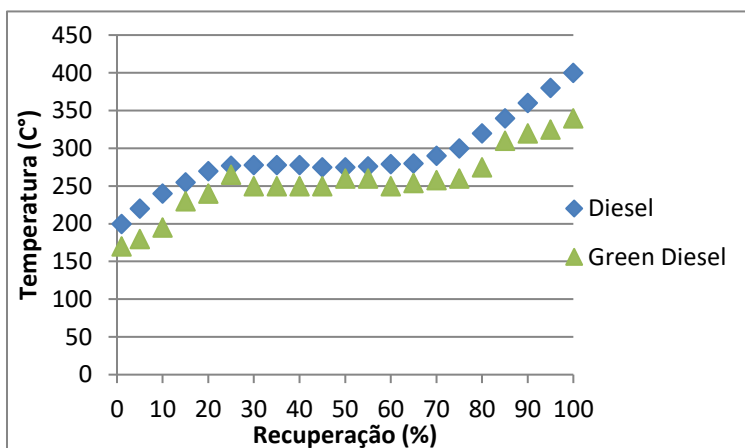


Figura 4: Curva de destilação do Green-diesel e do Diesel (Autora, 2020)

4. CONCLUSÃO

Com base no desenvolvimento desse trabalho e considerando os resultados obtidos é possível concluir que a caracterização físico-química dos produtos do craqueamento do óleo de palma mostrou similaridade quando comparado com uma rama de petróleo, com exceção do índice de acidez. De igual modo a Biogasolina e o Green-Diesel apresentam parâmetros físico-químicos em conformidade com as especificações estabelecidas na norma da ANP para a gasolina e o gasóleo, excepto o índice de acidez.

A falta de aparatos de caracterização impossibilitou a análise cromatográfica dos produtos do craqueamento térmico e dos respetivos cortes. Com os resultados experimentais obtidos é possível concluir que o fracionamento do bio-óleo do craqueamento térmico é uma excelente rota tecnológica para a produção de biocombustíveis com características semelhantes aos derivados do petróleo.

REFERÊNCIAS

Adolf Lutz, (1985). Normas analíticas do Instituto. Métodos físico-químicos para análise de Alimentos. Volume 1, 3ª edição, São-Paulo, Brasil.

Agencia Internacional de Energia, EIA, (2014).

Bizerra, Ayla Márcia Cordeiro; Queiroz, Jorge Leandro Aquino; Coutinho, Demétrios Araújo Magalhães (2008). O impacto ambiental dos combustíveis fósseis e dos biocombustíveis.

Energy Information Administration (EIA).(2009).Oil Market Basics/ Prices, Disponível www.eia.gov/pub/oil-gas/petroleum/analysispublication/oil-market-basics-pricez.text.htm.

Hernández, Mónica Rocío Ramírez (2009). Estudo do Processo de Craqueamento Térmico de Frações Residuais do Petróleo, Campinas - São Paulo, Dezembro.

Leffler, William L. (1985). Petroleum Refining for Nontechnical Language.

Naik, S. N., Goud, V. V., Rout, P. K., and Dalai, A. K. (2010). Production of first and second generation biofuels. A comprehensive review,. Sustain. Energy Rev., vol. 14.

Rosa, Rui Namorado. (2017). Combustíveis fósseis, O problema do Peak Oil; Centro de Geofísica de Évora; Universidade de Évora.

Wiggers, V.R.; Wisniewski Jr, A. ; Simionato, E.L.; Barros, A.A.C. ; Wolf Maciel, M.R. ; Meier, H.F. (2008). Produção de Bio-Óleo por Pirólise de Óleo de Fritura

Uso de Solventes Convencionais e Fluido Supercrítico Para a Extração do Óleo Essencial de Moringa (*Moringa oleífera*)

Tchilene Major tchilenemajor@gmail.com¹, Edmilson Cipriano (edmilson.josyana@gmail.com)¹, Pedro António¹ e António André Chivanga Barros (chivanga.barros@isptec.co.ao)¹

¹ Departamento de Engenharia e Tecnologia (DET), Instituto Superior Politécnico de Tecnologias e Ciências (ISPTEC), Avenida Luanda Sul, Rua Lateral S10, Talatona, Luanda, Angola

Resumo: Os óleos essenciais (OE) são substâncias extraídas de diversas partes das plantas e apresentam características específicas que lhes garante a aplicação em diferentes processos industriais. A extração de OE envolve diferentes métodos, todos focados na maximização da eficiência de produção e na qualidade dos produtos. Entre os métodos citados na literatura, destacam-se aqueles relacionados com a minimização das taxas de produção de efluentes, tais como a extração com fluidos supercríticos, mistura de fluidos convencionais com fluidos supercríticos e ultrassom. Neste contexto, fez-se estudos de extração de óleo essencial da semente da Moringa Oleífera, tendo como solvente a mistura de dióxido de carbono (fluido supercrítico) e etanol ou acetona (fluidos convencionais). Este procedimento visou avaliar a influência das vazões de escoamento da mistura de fluidos, sobre o desempenho do processo. Nos estudos realizados, a diminuição da velocidade de escoamento de CO₂ aumenta o tempo de residência e de contato entre o fluido e as partículas sólidas, garantindo maiores taxas de transferência de massa. Por outro lado, o etanol, quando utilizado, é mais efetivo que a acetona, principalmente devido às propriedades físicas intrínsecas, caracterizadas por maior fluidez no leito fixo e tamanho molecular, que resulta na maior intensidade de turbulência entre as partículas sólidas e o fluido.

Palavras-Chave: Extração, Óleo Essencial, CO₂, Fluido Supercrítico, Propriedades

1. INTRODUÇÃO

Os óleos essenciais são substâncias voláteis extraídos com solventes convencionais ou fluidos supercríticos, de diversas partes da planta e incorporam odores e fragrâncias características. Estes compostos são bioativos, com características específicas que lhes garante a aplicação como medicamentos, suplementos vitamínicos, aromatizadores e fragrâncias (MIRANDA ET AL, 2016; CAVALCANTE (2017).

A extração sólido-líquido (ESL) é baseada nos princípios de transferência de massa do soluto, presente na fase sólida, para um dado solvente com seletividade apropriada. Para garantir a implementação dos mecanismos referenciados, a extração pode envolver as operações de destilação por arraste a vapor, hidrodestilação, enfloração, prensagem a frio, extração com

solventes e extracção com fluidos supercríticos (EFS). A selecção do tipo de extracção a ser adotada na produção do óleo essencial de sementes oleaginosas depende das características físicas e químicas da semente, principalmente com relação a granulometria das partículas, do solvente envolvido, da temperatura do processo e, principalmente, do teor de óleo presente na semente (FREIXO, 2018; SCHNEIDER, 2002; FERREIRA, 2016)

Neste contexto, diferentes autores apresentaram as vantagens e desvantagens do uso dos métodos convencionais associando o custo de operação e as alterações químicas e físicas do produto, com os métodos alternativos como a extracção com fluidos supercríticos. (FREIXO, 2017; CAVALCANTI, 2013; LEMES, 2018).

Estudos realizados por Costa (2015) mostram que a massa específica do fluido supercrítico é similar a dos líquidos e a viscosidade e a tensão superficial são aproximadamente similares a dos gases. Estas características proporcionam elevada capacidade de solubilização efectiva na penetração e difusão do fluido em poros contidos em partículas sólidas e que resultam na efetiva extração, entre outros factores determinantes como a densidade, pressão, temperatura e vazão do processo. A pressão do fluido extrator influencia na eficiência do processo, pois este parâmetro reflete sobre a temperatura e a massa específica do sistema, e resulta na similaridade das características do fluido com as de um líquido (MICHIELIN, 2002; AQUINO, 2018; COSTA, 2015).

É neste contexto que Costa (2015) e PIES (2017) afirmam que o uso de dióxido de carbono (CO_2) é recomendado como fluido supercrítico por ser um solvente versátil não polar, inflamável, poluente, não corrosivo, tóxico e sem riscos de ocorrência de reações secundárias, e apresenta custos relativamente reduzidos, é abundante e é usado em temperaturas e pressões moderadas, com limitações de extração de compostos polares e possibilidade de modificação dos parâmetros dos processos e a adição de quantidades reduzidas de outros solventes para melhor relação entre tais fluidos e que garantam maior desempenho extrativo.

Michielin (2002) afirma que a razão entre a vazão de solvente e a massa de sólidos é um dos factores mais relevantes na extração, pois o aumento da vazão do solvente, para uma massa fixa de sólidos, reduz a carga do solvente em função do reduzido tempo de residência. Para este caso, a velocidade de extração aumenta até um patamar máximo. Assim, a resistência à transferência de massa no interior da partícula é dominante. Para reduzir a intensidade deste parâmetro, deve-se diminuir a granulometria das partículas constituintes do sistema.

Com as descrições acima, foi desenvolvido o presente estudo que visa extrair o óleo essencial de moringa utilizando CO_2 como fluido supercrítico e etanol e acetona como solventes convencionais e avaliadas as condições de operação que garantem maior desempenho do processo e a qualidade dos produtos obtidos.

A moringa é uma planta medicinal com quantidades significativas de vitaminas e minerais, como ferro, carotenoides, quercetina, vitamina C, entre outros, que proporcionam maior efeito antioxidante e anti-inflamatório. As características da moringa aqui apontadas têm motivado a realização de estudos para o tratamento de doenças respiratórias, diminuição da ansiedade, perda de peso e controlo da concentração de glicose no sangue. A estratégia de implementação deste estudo proporciona a extração de óleo essencial da moringa para uso como matéria-prima para a indústria farmacêutica e alimentar.

2. Experimental

A extração do óleo da semente de Moringa envolveu quatro etapas, assim descritas: a) Descasque e secagem; b) Trituração e análise granulométrica; c) extração do óleo essencial de moringa e; d) Purificação e caracterização do óleo essencial produzido.

2.1 Secagem

As sementes da Moringa foram descascadas e conseqüente pesagem para a determinação da massa dos resíduos e da matéria-prima usada no processo. Concluída esta etapa, foi realizada a secagem, usando processo semi-contínuo com a definição prévia da velocidade do escoamento do ar (1,40 m/s) e da temperatura de secagem (40°C) durante um período de 5h.

2.2 Análise Granulométrica

Depois da secagem das sementes de moringa, estas foram trituradas e feita a análise granulométrica que consistiu na medida da massa de amostra de moringa triturada. Em seguida, a amostra foi peneirada usando a série Taylor de peneiras padronizadas, com abertura das malhas de 0,5 mm à 2 mm. A agitação mecânica possibilitou incrementar a efetividade do processo, garantindo a passagem e retenção das partículas sólidas nas malhas correspondentes.

2.3 Extração com Fluido Supercrítico

Com a análise granulométrica concluída, as amostras foram inseridas em um dissecador para minimizar a tendência de absorção de água, dado o caráter hidrofóbico da semente de moringa. Em seguinte, fez-se a estruturação do sistema de extração do óleo com fluido supercrítico (CO₂) e um co-solvente, etanol com elevado grau de pureza (96%). Os procedimentos contidos no parágrafo anterior foram utilizados na de extração do óleo essencial de moringa e envolveu a execução de 4 experimentos, cujas condições de operação estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros avaliados em cada experimento realizado

Parâmetros	Exp1	Exp2	Exp3	Exp4
Massa inicial da semente da moringa (g)	235,513	222,72	132,41	100,0
Velocidade do CO2 (m/s)	2,00	1,62	0,10	0,10
Tamanho das partículas (mm)	0,80	0,80	0,80	0,80
Etanol (g)	1000,0	1000,0	1000,0	-----
Acetona (g)	-----	-----	-----	1000,0

Depois da execução de cada experimento, os produtos foram purificados por destilação simples para a recuperação do co-solvente e obtenção do óleo essencial com maior grau de pureza. O rendimento do processo foi calculado relacionando-se as massas do óleo essencial produzido pela massa das partículas sólidas inicialmente inserida no tanque de extração, conforme descrito neste artigo, obedecendo a Equação 1.

$$\eta(\%) = \frac{m_o}{m_s} \times 100 \quad (1)$$

Onde m_o é a massa de óleo extraído, em gramas e m_s é a massa da amostra de partículas sólidas de moringa inicialmente inserida no tanque de extração.

2.4 Determinação da Densidade

A densidade do óleo essencial produzido foi determinada pela medida do volume e respectiva massa. Para este caso, determinou-se inicialmente a massa da proveta e consequentemente a massa do óleo essencial foi inserida na proveta até 10 ml e feita a pesagem, à temperatura ambiente. Usando-se a Equação 2, determinou-se a massa específica do óleo essencial produzida.

$$\rho(\text{g/ml}) = \frac{m' - m}{V} \quad (2)$$

Onde m' é a massa (g) da proveta com óleo (g), m é a massa (g) da proveta vazia e V é o volume (ml) do óleo.

2.5 Determinação do Índice de Acidez

A determinação do índice de acidez consistiu na adição de 50 ml de acetona e 4 gotas de fenolftaleína em um erlenmeyer. Em seguida, fez-se a titulação com uma solução de hidróxido de potássio (KOH), 0,1 M. Anotou-se o volume (ml) gasto. Posteriormente, fez-se a pesagem

de 1 g de uma amostra do óleo de moringa e adicionou-se à acetona titulada até homogeneização. Foram adicionadas 4 gotas de fenolftaleína à mistura óleo/acetona e titulou-se com uma solução 0,1 M de hidróxido de potássio (KOH), Os dados obtidos deste ensaio foram utilizados para se determinar o índice de acidez, conforme a Equação 3.

$$\text{Índice de acidez} \left(\frac{\text{mgKOH}}{\text{g}} \right) = \frac{(V_a - V_b) * C * MM * f_c}{m} \quad (3)$$

Onde V_a é o volume (ml) de KOH consumido na titulação da mistura do óleo, V_b é o volume (ml) de KOH consumido durante a titulação da acetona (branco), C é a concentração de hidróxido de potássio (KOH), MM é a massa molar (g/mol) do hidróxido de potássio (KOH) e M é a massa (g) da amostra do óleo.

2.6 Determinação do Índice de Refração

Para a determinação do índice de refração, fez-se uso de um refractómetro tipo Abbe.

3. Resultados e Discussão

3.1 Secagem

Utilizando os procedimentos descritos neste artigo, fez-se a secagem com a medida progressiva do tempo, temperatura e da massa das sementes de moringa, conforme dados contidos na Tabela 2.

Tabela 2. Dados da secagem das sementes de moringa

Medição	T(min)	m (g)	Humidade perdida (%)	perda de massa (%)
1	0	661,5	0,0	100,000
2	30	656,7	0,726	99,274
3	60	653	1,285	98,715
4	90	650,4	1,678	98,322
5	120	649,1	1,875	98,125
6	150	648,3	1,995	98,005
7	180	647,7	2,086	97,914
8	210	647	2,192	97,808
9	240	646,4	2,283	97,717
10	270	647,1	2,177	97,823
11	300	646,5	2,268	97,732
12	308	646,5	2,268	97,732
13	310	646,5	2,268	97,732

Fonte: Autora (2021)

Da análise dos dados contidos na Tabela 2, observa-se perda de massa de 15g no período de 5 h de secagem, correspondente a 2,27% da massa inicialmente inserida no sistema de secagem. Estudos realizados por Almeida et al. (2015) confirmam a presença de água nas sementes de moringa com, aproximadamente, 5,40% de água. A diferença observada neste trabalho comparativamente ao trabalho desenvolvido por Almeida et al. (2015) deve-se à humidade relativa do ar em cada região da implementação dos estudos.

3.2 Análise Granulométrica

A análise granulométricas da semente seca e triturada foi feita, cujos resultados são descritos na Tabela 3. O diâmetro médio das partículas utilizadas foi de 0,782 mm, portanto com área superficial adequada para uma efectiva extração, baseada numa forte interação entre as fases fluida e sólida. Para esta análise, observa-se que a distribuição das partículas por diâmetro abrange 28,3% com diâmetro de 1 mm, 34,42% com diâmetro de 0,5 mm e 25,0% com diâmetros menores que 0,5 mm.

Tabela 3. Distribuição Granulométrica da Semente

Nº da Peneira	Di (mm)	Mi	%Mi	%Mic	Diâmetro médio da Partícula (mm)
10,00	2,00	38,76453	0,060	0,060	0,792
18,00	1,00	144,5109	0,223	0,283	
20,00	0,85	80,4866	0,124	0,408	
35,00	0,50	221,5177	0,342	0,750	
Fundo	0	161,6203	0,250	1,000	
Total		646,9	1,000		

Fonte: Autora (2021)

Portanto, a maior proporção de partículas foi retida na peneira de 0,50mm, em seguida na peneira do fundo com 22,3% e por fim na peneira de 1mm. Para a efetividade deste estudo, foram utilizados os grãos retidos na peneira de 0,5mm, portanto, com diâmetro das partículas de 0,8mm.

3.3 Extração com CO₂ e Etanol

Com a definição do sistema particulado utilizado neste processo, fez-se a extração do óleo essencial de moringa, obedecidos os procedimentos contidos neste trabalho. Os experimentos de extração foram realizados para um tempo de operação de 3h, conforme dados contidos na Tabelas 4 e 5.

Tabela 4. Rendimento do óleo essencial obtido usando CO₂ e Etanol

Exp.	Massa inicial (g)	Massa Final (g)	Massa do óleo (g)	Velocidad e CO ₂ (m/s)	Temperatura (°C)	Yielt (%)
1	235,513	209,11	14,40	2,0	46°C	6,11
2	222,72	203,11	14,37	1,62	63°C	6,45
3	132,41	82,01	22,70	0,10	70°C	17,16

Fonte: Autora (2021)

A análise da Tabela 4 possibilita afirmar que o rendimento em óleo extraído situou-se entre 6,11% e 17,16%. Para esta análise observa-se que o rendimento diminui com o aumento da velocidade do escoamento de CO₂. Este comportamento é associado ao tempo de residência dos fluidos de extração, portanto, tempo de contato entre as fases, que impactam sobre as taxas de transferência de massa, garantindo o incremento da eficiência do processo.

Outro factor associado ao desempenho do processo é a temperatura de operação. Quando a velocidade de escoamento de CO₂ é elevada, o trocador de calor não garante o aquecimento, deste fluido supercrítico, suficientemente para que a extração ocorra na temperatura estabelecida. Para velocidades reduzidas, o tempo de aquecimento aumenta e portanto a temperatura e o desempenho do processo.

Estudos realizados por Belo et al. (2019) mostram que a melhor temperatura de extração de óleo de Moringa oleifera essencial é de 57°C e uma pressão de 80MPa. E dos estudos de Nguyen et al (2011) a melhor operação é a 47,5°C para 30 MPa, Os trabalhos desenvolvidos pelos autores apontam rendimento de 29,24% e 40,01% com um tempo de extracção de 7h.

Os dados obtidos por Nguyen et al (2011), se comparados com os dados contidos neste trabalho, mostram que o tempo de extração é um dos factores de maior predominância neste processo, pois quando o processo de extração é realizada em 7 horas o desempenho é de 40% e a linearização destes valores para um tempo de 3 horas, resulta num desempenho de 17,142%, similarmente aos resultados obtidos neste trabalho para reduzida velocidade de escoamento do CO₂, 17,53%

O óleo essencial de moringa foi caracterizado tendo sido determinada a densidade, índice de acidez e índice de refração, conforme dados contidos na Tabela 5.

Tabela 5. Parâmetros do óleo obtido com o solvente Etanol

Exp.	Rendimento (%)	densidade (g/ml)	índice de acidez (mg KOH/g)	índice de refração
1	6,11	0,8887	-----	1,4535
2	6,45	0,8608	3,8456	1,4330
3	17,16	0,8604	2,8710	1,4534

Fonte: Autora (2021)

Aquino (2018) fez a análise do desempenho tribológico do biolubrificante a base do óleo de Moringa, extraído com solvente e tendo obtido um índice de acidez de 0,909 mg NaOH/g e densidade de 0,834g/cm³ para o óleo puro. Leone et al. (2016) determinou o índice de acidez de óleo de moringa na faixa entre 0,32 e 4,0 mg KOH/g e índice de refração na faixa de 1,455 e 1,470, a 40°C. Bouanga-Kalou et al. fez a caracterização físico-química do óleo de moringa, quando determinou o índice de refração, a 25°C, de 1,4652.

Os dois parâmetros avaliados pelos autores situaram-se na mesma faixa dos parâmetros obtidos neste estudo, portando, com consistência metodológica do procedimento utilizado e descrito neste trabalho. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) do Brasil estabelece limite máximo de índice de acidez para óleos brutos e não refinados de 4 mg KOH/g de óleo. Este parâmetro de referência, quando comparado com os parâmetros advindos deste estudo, mostra o atendimento do limite estabelecido por este órgão Brasileiro.

3.4. Extração com CO₂ e Acetona

Para ampliar a abrangência dos estudos realizados, foram feitos ensaios de extração de óleo de moringa, utilizando os procedimentos descritos neste trabalho, mas desta vez tendo sido explorado a acetona como co-solvente. Os dados obtidos estão presentes na Tabela 6. Para este caso, considerando o maior desempenho tido com menor velocidade de escoamento do fluido supercrítico com o uso de etanol, esta condição foi explorada e os resultados mostram rendimento de 8,48% e menor índice de acidez.

Tabela 6. Características do óleo de moringa extraído com acetona/CO₂

Massa inicial (g)	Massa Final (g)	Massa do óleo (g)	Velocidad e CO ₂ (m/s)	Yielt (%)	Densidad e (g/ml)	Índice de acidez (mgKOH/g)	Índice de refração
132,41	112,939	11,238	0,1	8,48	0,832	0,775	1,4525

Fonte: Autora (2021)

A análise dos dados contidos na Tabela 6, obtidos da extração com acetona, mostra a influência do tipo de solvente na qualidade do óleo essencial de moringa produzido, caracterizado por menor densidade, menor índice de acidez e maior rendimento, quando os dados são comparados com os dados advindos do uso de etanol como co-solvente. Na análise comparativa com os dados da literatura, observa-se que o melhor desempenho e qualidade é associado ao uso de etanol como co-solvente.

4. CONCLUSÃO

Com base nos resultados contidos neste artigo, pode-se concluir que:

- a) O desempenho do processo de extração é mais efetivo quando é utilizado o etanol como co-solvente, comparativamente a acetona, devido as propriedades moleculares e física do etanol;
- b) A velocidade do escoamento da mistura fluida, composta pelo solvente convencional e fluido supercrítico, deve ser reduzida para garantir maior tempo de contacto entre as fases fluida e sólida, que resulte em maiores taxas de transferência de massa e, portanto, maior desempenho do processo;
- c) O desempenho do processo obtido neste estudo, quando do uso do etanol como co-solvente, é similar ao desempenho descrito na literatura;
- d) As propriedades físicas do óleo essencial avaliados neste estudo são similares aqueles descritos na literatura, constituindo-se no elemento de qualidade para a ampliação da escala para o processo industrial;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F. N. C., et al. Cinética da Secagem da Smente de Moringa Oleifera LAm. Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá. São Paulo. 2015.

AGÊNCIA DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA-ANVISA. Regulamento Técnico Para Óleos Vegetais, Gorduras Vegetais e Creme Vegetal. Resolução RDC n. 270, de 22 de setembro de 2005. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 23 de set. 2005.

AQUINO, Carolina Barros. Desenvolvimento de Biolubrificantes a base de óleo de Moringa. Engenharia Química, Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. 2018.

Belo, Y.N., Al-Hamimi, S., Chimuka, L. et al. Ultrahigh-pressure supercritical fluid extraction and chromatography of Moringa oleifera and Moringa peregrina seed lipids. *Anal Bioanal Chem* 411, 3685–3693 (2019). <https://doi.org/10.1007/s00216-019-01850-x>

Bouanga-Kalou, G., et al. Chemical Composition of Seed Oil from Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) and the Kinetics of Degradation of the Oil During Heating. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*. 2011.

CAVALCANTE, Lilianne Shirley Santos Rangel. Caracterização físico-química e análise térmica do óleo da semente de Moringa oleífera. - 2017. 57 p. Monografia (Graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Instituto de Química, Curso de Química Bacharelado. Natal, RN, 2017.

CAVALCANTI, Rodrigo Nunes. Extração de Antocianinas de Resíduo de Jabuticaba (*Myriaria cauliflora*) Utilizando Líquido Pressurizado e Fluido Supercrítico: caracterização química, avaliação económica e modelagem matemática. Universidade Estadual de Campinas-Faculdade de Engenharia de Alimentos. Campinas. 2013.

COSTA, Fabiola Medeiros da. Extração de Compostos Bioativos de folhas de Vernonia amygdalina Delile Utilizando Dióxido de Carbono em Condições Supercríticas. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal Uberlândia. Uberlândia, 2015.

FERREIRA, Marcela Cravo. Avaliação do uso do Etanol para Extração Sólido-Líquido de Óleo de Soja e Para Produção de Biosiesel Etilico Pela Análise do Equilíbrio Líquido-Líquido. Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Engenharia de Alimentos. Campinas. 2016

Freixo, Ana Margarida dos Santos. Normalização de um processo de Extração de Óleos Essenciais. Análise de Variáveis Críticas do Processo. Faculdade de Ciências de Lisboa. Lisboa. 2018

LEMES, Maurílio Rocha. Extração do Óleo de Gergilim. 37p. Monografia (Graduação em Engenharia Química). Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. 2018.

LEONE, A., Spada, A., Battezzati, A., Schiraldi, A., Aristil, J., & Bertoli, S. (2016). Moringa oleifera Seeds and Oil: Characteristics and Uses for Human Health. *International journal of molecular sciences*, 17(12), 2141. <https://doi.org/10.3390/ijms17122141>.

MIRANDA, C. A. S. F., et al. Óleos essenciais de folhas de diversas espécies: propriedades antioxidantes e antibacterianas no crescimento espécies patogênicas. *Revista Ciência Agrônômica*, Universidade Federal do Ceará: Ceará, Brasil vol. 47, p. 213-220 núm. 1, 2016.

NGUYEN, Hoang & Gaspillo, Pag-asa & Maridable, Julius & Malaluan, Roberto & Hinode, Hirofumi & Salim, Chris & Huynh, Ha. (2011). Extraction of oil from Moringa oleifera kernels using supercritical carbon dioxide with ethanol for pretreatment: Optimization of the extraction process. Chemical Engineering and Processing - CHEM ENG PROCESS. 50. 10.1016/j.cep.2011.08.006.

PIES, Gustavo. Tecnologia supercrítica aplicada a obtenção de extratos ricos em compostos Fenólicos a partir de cascas de Jabuticaba *Plinia Trunciflora* (O. Berg) Kausel. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2017.

SCHENEIDER, Rossana de Cassia de Souza. Extracção, Caracterização e Transformação do Óleo de Rícino. Universidade do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul. 2002.

Santos, Etiandra; Tingeira, Teresa Saleme; Da Costa, Vicencia de Fátima Cristovão, Chiarello, Luana Marcele; Chivanga Barros, António André; Essential oil extraction from onion using ethanol and CO₂ as an extraction fluid mixture; F1000Research, 2021.



**Copyright ©
Ordem dos Engenheiros de Angola
2021**

**Bairro dos Coqueiros, Rua Rainha Ginga,
Edifício da Hyundai (COSAL), 11ºAndar**

Luanda, Angola