

## Energy Utilization from Gases Generated by Charcoal Burning

### Aproveitamento Energético de Gases Originados da Queima de Carvão Vegetal

Article Info:

Article history: Received 2023-10-03 / Accepted 2023-12-26 / Available online 2024-01-05

doi: 10.18540/jcecvl10iss1pp17126



**Vitor Diego D. Barbosa**

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-3621-2183>

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brazil

E-mail: [vitor.diego@ufvjm.edu.br](mailto:vitor.diego@ufvjm.edu.br)

**Carlos Daniel S. de Oliveira**

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6300-6508>

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brazil

E-mail: [carlos.daniel@ufvjm.edu.br](mailto:carlos.daniel@ufvjm.edu.br)

**Tiago Mendes**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0382-4465>

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brazil

E-mail: [tiago.mendes@ufvjm.edu.br](mailto:tiago.mendes@ufvjm.edu.br)

#### Resumo

Diante do crescimento populacional e das crescentes preocupações ambientais, bem como do esgotamento das fontes não renováveis de energia, o objetivo primordial desta análise é avaliar o aproveitamento energético por meio de um grupo gerador. Assim, foram realizados cálculos precisos dos parâmetros teóricos para o funcionamento ótimo do grupo gerador, utilizando um biocombustível proveniente da gaseificação do carvão vegetal. Os resultados alcançados nos proporcionam uma estimativa de geração de energia de aproximadamente 19,44 GWh ao longo do ano de 2022. Esta abordagem busca, portanto, soluções sustentáveis e eficazes para as demandas energéticas diante do cenário atual.

**Palavras-chave:** Carvão vegetal. Combustíveis. Gaseificação. Grupo gerador. Energia elétrica.

#### Abstract

Given the population growth and increasing environmental concerns, along with the depletion of non-renewable energy sources, the primary objective of this analysis is to assess energy utilization through a generator set. Precise calculations of theoretical parameters for optimal generator set operation were conducted, using a biofuel derived from the gasification of charcoal. The results obtained provide us with an estimate of energy generation of approximately 19.44 GWh over the course of the year 2022. This approach seeks sustainable and effective solutions for energy demands in the current scenario.

**Keywords:** Charcoal. Fuels. Gasification. Generator set. Electric energy.

#### 1. Introdução

Diante do aumento populacional, preocupações ambientais, esgotamento de fontes não renováveis e à alta nos preços dos combustíveis tradicionais surge a necessidade de formas energéticas alternativas. Essa necessidade mencionada anteriormente objetiva diversificar e expandir matrizes energéticas sustentáveis com combustíveis alternativos, para que seja possível atender à alta demanda iminente de energia. Segundo o The World Bank (2021), ainda existem 759 milhões de pessoas sem acesso à energia elétrica. E essa oferta total de energia precisará aumentar significativamente para atender à crescente população mundial. O Brasil, com suas condições

favoráveis de solo e clima, se torna capaz de produzir biomassa diversificada, tornando-a uma forma viável de produção de energia sustentável.

A produção energética proveniente da biomassa residual de diversas culturas brasileiras apresenta um grande potencial energético. Por exemplo, a utilização como matéria-prima para a produção de energia, além de ser uma solução para a disposição final desses rejeitos (Ricardinho *et al.* 2020). A utilização do gás de síntese (*syngas*) obtido por meio do processo de gaseificação, é uma alternativa atrativa para o uso com combustíveis alternativos. Podendo o mesmo ser utilizado em geradores de vapor (caldeiras), motores de combustão interna e turbinas a gás (Mckendry, 2002). Essa prática ainda torna possível a geração de uma energia limpa ao contribuir na redução das emissões de gases de efeito estufa.

A gaseificação é a conversão de combustível sólido ou líquido em gás combustível, ou seja, gás de síntese. O processo de gaseificação ocorre por meio da adição de um agente gaseificante em altas temperaturas. A queima parcial da biomassa, onde se utiliza uma quantidade de oxigênio inferior ao necessário para a queima completa é um exemplo de gaseificação (Claudino e Vicente, 2019). A gaseificação pode ser dividida em 4 etapas sendo essas: a secagem, decomposição térmica ou pirólise, combustão parcial e a gaseificação de seus produtos. Apesar de haver uma sequência em que essas etapas são citadas, não há como distinguir quando se passa de uma etapa para outra, pois elas se sobrepõem (Basu, 2013).

A secagem possui como objetivo redução da umidade da matéria-prima próximo de uma faixa de 10 a 20% de massa total (Araújo, 2022). Segundo Basu (2013) uma umidade baixa da matéria-prima utilizada ajuda a consumir menos energia no gaseificador. As perdas de energia no processo de gaseificação é uma preocupação em aplicações de energia. A segunda etapa é a pirólise, que é a quebra térmica das moléculas de cadeias grandes de hidrocarbonetos em moléculas menores de gás. As reações na pirólise liberam substâncias voláteis e também a produção de carvão. Os voláteis podem condensar em um produto líquido chamado de alcatrão (Araújo, 2022). Por sua vez, os compostos gasosos ficam no estado gasoso, como o  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}$ .

A terceira etapa é a combustão, que pode ocorrer no próprio reator, em uma câmara de combustão ou gerador de vapor (Claudino e Vicente, 2019). Essa etapa ocorre na presença de oxigênio, sendo esse uma porção do agente gaseificante.

Por sua vez, a última etapa do processo de gaseificação, é onde ocorre a gaseificação de fato a gaseificação. Nessa etapa há reações químicas entre os hidrocarbonetos, oxigênio e hidrogênio no reator (Basu, 2013). Com isso, gerando o monóxido de carbono e o gás hidrogênio como principais combustíveis. Dentre os diversos tipos de biomassa utilizadas na produção energética a partir da gaseificação pode-se mencionar a madeira, o bagaço de cana, a casca de arroz, o carvão vegetal, a lixívia e etc. (PEN 2050, 2020).

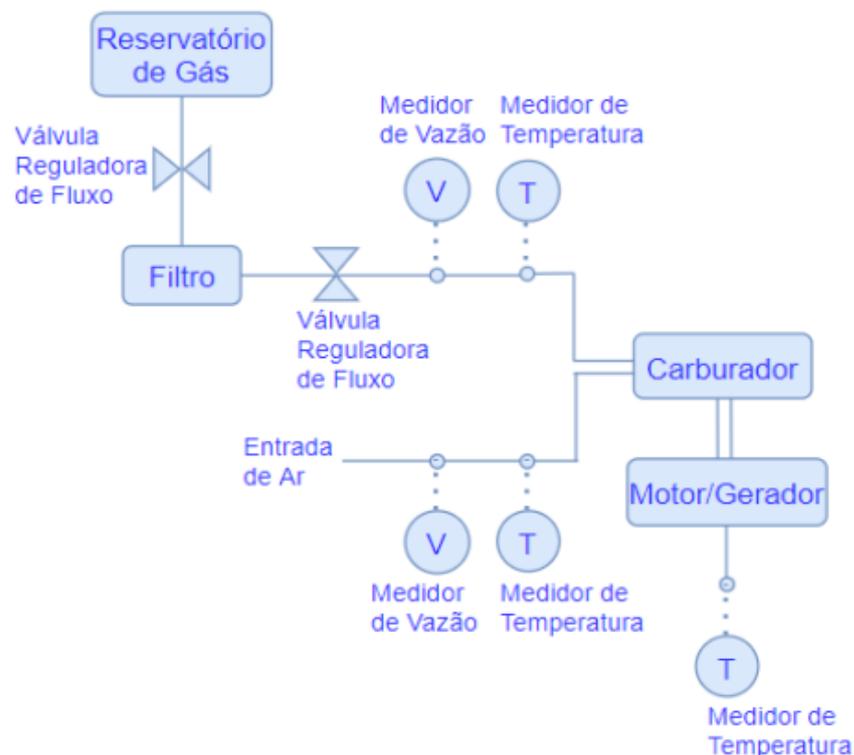
Neste trabalho será dado ênfase a gaseificação do carvão vegetal para a produção de energia. No Brasil, a maioria do carvão vegetal produzido atualmente é oriundo de fornos primitivos, que apresentam baixa eficiência e não possuem controle de emissões atmosféricas (Cardoso *et al.*, 2010). Gerando grandes impactos negativos em termos econômicos, sociais e ambientais, uma vez que mais de 30% é desperdiçado do potencial energético da madeira carbonizada (Oliveira, 2021). Segundo a Aperam (2023) no ano de 2022 houve-se o consumo de 450 mil toneladas de carvão no estado de Minas Gerais, grande consumidor deste insumo. Portanto, é fundamental recuperar ou queimar gases decorrentes do processo de carbonização, diminuindo a poluição e produzindo matriz energética a partir dessa queima. Especialmente para pequenos produtores e empresas de menor porte, visto que grande parte da produção nacional vem desses segmentos.

Segundo Santos *et al.* (2021), é necessário realizar uma pequena adaptação no sistema de alimentação de um grupo gerador para que ele possa operar com combustíveis gasosos alternativos. Essa adaptação consiste na substituição da junta flange por uma com o mesmo formato, porém com maior espessura e um furo vertical para a inserção de uma tubulação, que transportará o gás armazenado em um reservatório até o motor do grupo gerador. Dessa forma, o carburador irá dosar o ar e succionar o combustível gasoso, permitindo que o motor funcione com a mistura ar/combustível. A Figura 1 apresenta uma ilustração da junta flange modificada.



**Figura 1 – Representação da junta de flange modificada para inserir no motor. Fonte: Santos *et al.* (2021).**

Além da junta flange modificada, é necessário um conjunto de instrumentos que têm como objetivo garantir o melhor funcionamento do motor. A partir dessas considerações, é proposto um sistema de implantação do combustível gasoso para alimentação do motor do grupo gerador. Observando a Figura 2, é possível identificar o circuito superior e inferior que representam, respectivamente, as tubulações de gás e ar. Com a abertura das válvulas, o gás flui do reservatório através da tubulação até o motor do grupo gerador, onde ocorre a combustão do mesmo (Lima, *et al.*, 2022). O fluxo de ar é controlado pelo carburador, que o dosa de acordo com a aceleração do motor. Para aprimorar a monitoração do grupo gerador, é recomendado o uso de medidores de vazão e temperatura em diferentes pontos do sistema (Lima *et al.*, 2022).



**Figura 2 – Representação esquemática da implementação do combustível gasoso. Fonte: Santos *et al.* (2021).**

Considerando esse cenário, o objetivo deste trabalho foi analisar a eficiência energética obtida por meio de um grupo gerador alimentado por gases de baixo poder calorífico, provenientes da gaseificação do carvão vegetal.

## 2. Materiais e Métodos

Um grupo gerador com motor de 19 cavalos de potência movido a gasolina, de quatro tempos e refrigerado a ar para avaliar sua viabilidade para aproveitamento energético. Os dados técnicos desse grupo gerados são mostrados na Tabela 1.

**Tabela 1 – Dados do grupo gerador a gasolina B4T-1200 E3 380V. Fonte Branco (2023).**

Parâmetro	Dados
Potência máxima do motor	19 cv 3600 rpm
Cilindros	Monocilíndro
Cilindradas	622 cc
Combustível	Gasolina
Potência máxima do gerador	13,75 kVa
Potência nominal do gerador	12,5 kVa
Fases	trifásico

Antes de realizar os cálculos dos parâmetros da combustão com base na potência efetiva do motor do grupo gerador em seu ponto de funcionamento e nos dados da literatura, é necessário fazer algumas considerações. Assumiremos as seguintes premissas para realizar os cálculos:

- O gás gerado pela gaseificação do carvão vegetal é composto por 30% de monóxido de carbono (CO), 7% de hidrogênio (H<sub>2</sub>) e 1% de metano (CH<sub>4</sub>) (Rumão, 2013). E o poder calorífico desse gás gerado é de 3,13 MJ/kg (Feitosa, 2019).
- A gasolina idealizada como octano (C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>) (Moran *et al.*, 2018);
- O nitrogênio considerado como um elemento inerte, ou seja, não participa da combustão (Moran *et al.*, 2018);
- Para fins de determinação da massa molar média do gás foi considerado que toda a composição restante que não gera poder calorífico é constituída somente por nitrogênio (N<sub>2</sub>);
- O ar é modelado como seco, ou seja, isento de vapor d'água é composto por oxigênio e nitrogênio cuja composição é de 21% de oxigênio (O<sub>2</sub>) e 79% nitrogênio (N<sub>2</sub>) (Moran *et al.*, 2018).

Primeiro deve-se obter a quantidade molar de ar necessária para ocorrer combustão completa de um mol do combustível gerado. Para isso considerou a gasolina, pois o grupo gerador selecionado possui seus dados usando esse combustível.

A partir da equação química balanceada da combustão da gasolina é possível obter a quantidade molar de ar necessária para a combustão completa de um mol do mesmo combustível. Assim, com o valor obtido, pode-se estabelecer o valor da relação ar-combustível em base molar estequiométrica  $RM_e$ , utilizando a Equação 1.

$$RM_e = \frac{n_{ar}}{n_{comb}} \quad (1)$$

onde  $RM_e$  é a relação estequiométrica de ar/combustível em base molar [-],  $n_{ar}$  é o número de mols de ar [mol], e  $n_{comb}$  é o número de mols de combustível [mol].

Com o objetivo de realizar a conversão para a base mássica, é fundamental saber a massa molar do ar e do combustível utilizado, com as considerações adotadas. Assim a relação ar-combustível em base mássica estequiométrica ( $RM_e$ ), pode ser calculada pela Equação 2.

$$RM_e = \underline{RM_e} \cdot \frac{MM_{ar}}{MM_{comb}} \quad (2)$$

onde  $RM_e$  é a relação ar-combustível em base mássica estequiométrica [-],  $RM_e$  é a relação estequiométrica de ar/combustível em base molar [-],  $MM_{ar}$  é a massa molar do ar [kg/kmol], e  $MM_{comb}$  é a massa molar do combustível [kg/kmol].

Outro parâmetro calculado será a potência térmica do motor ( $W_{term}$ ), com a Equação 3. Para realizar o cálculo é necessário a potência efetiva  $W_{efet}$ , a mesma é obtida pelo fornecedor do grupo gerador no seu ponto de funcionamento. O rendimento térmico efetivo  $\eta_{tef}$ , será considerado de 25,00% (Franco e Mendes, 2021; Santos *et al.*, 2021).

$$W_{term} = \frac{W_{efet}}{\eta_{tef}} \quad (3)$$

onde  $W_{term}$  é a potência térmica [kW],  $W_{efet}$  é a potência efetiva [kW], e  $\eta_{tef}$  é o rendimento térmico efetivo [%].

Com o objetivo de obter a vazão mássica de combustível ( $m_{comb}$ ), utiliza-se a Equação 4. Para o cálculo é necessário à  $W_{term}$  obtida anteriormente e o poder calorífico inferior do combustível (PCI).

$$m_{comb} = \frac{W_{term}}{PCI} \quad (4)$$

onde  $m_{comb}$  é a vazão mássica de combustível [kg/h],  $W_{term}$  é a potência térmica [kW], e  $PCI$  é o poder calorífico inferior do combustível [kJ/kg],

O cálculo da potência indicada do motor  $W_{ind}$  pode ser realizado através da Equação 5. Em que é utilizado a potência térmica  $W_{term}$  e o rendimento indicado  $\eta_{ind}$  considerado de 39,70% (Franco e Mendes, 2021; Santos *et al.*, 2021).

$$W_{ind} = W_{term} \cdot \eta_{ind} \quad (5)$$

onde  $W_{ind}$  é a potência indicada [kW],  $W_{term}$  é a potência térmica [kW], e  $\eta_{ind}$  é o rendimento indicado [%].

Para o cálculo do rendimento mecânico  $\eta_{mec}$  utiliza-se a potência efetiva  $W_{efet}$  e a potência indicada  $W_{ind}$ , pela Equação 6.

$$\eta_{mec} = \frac{W_{efet}}{W_{ind}} \quad (6)$$

onde  $\eta_{mec}$  é o rendimento mecânico [%],  $W_{efet}$  é a potência efetiva [kW], e  $W_{ind}$  é a potência indicada [kW].

Já para o cálculo da relação ar-combustível em base mássica  $RM$  é calculada pela da Equação 7. Utilizando o coeficiente de excesso de ar  $\lambda$  de 1,40% com base em Martins (2020); Franco e Mendes (2021). Em que  $RM_e$  é a relação de ar-combustível em base mássica.

$$RM = \lambda \cdot RM_e \quad (7)$$

onde  $RM$  é a relação de ar-combustível em base mássica [-],  $\lambda$  é o coeficiente de excesso [%], e  $RM_e$  é a relação ar-combustível em base mássica estequiométrica [-].

Finalmente, cálculo da vazão mássica de ar aspirada pelo motor  $m_{ar}$ , pela Equação 8.

$$m_{ar} = m_{comb} \cdot RM \quad (8)$$

onde  $m_{ar}$  é a vazão mássica de ar [kg/h],  $m_{comb}$  é a vazão mássica de combustível [kg/h], e  $RM$  é a relação de ar-combustível em base mássica [-].

Assim, o procedimento anterior foi realizado para obter a vazão mássica de ar aspirada pelo motor, partindo da potência efetiva e considerando valores de coeficiente e de eficiência com base na literatura. Por meio da reorganização das Equações 06, 07 e 08 pode-se realizar a determinação da vazão mássica do combustível alternativo  $m_{comb}$ , a potência térmica do motor  $W_{term}$  e a potência efetiva  $W_{eft}$ , com as Equações 9, 10 e 11 respectivamente.

$$m_{comb} = \frac{m_{ar}}{RM} \quad (9)$$

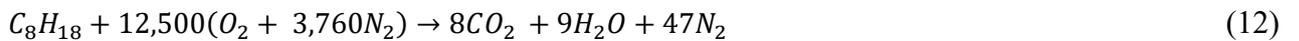
$$W_{term} = m_{comb} \cdot PCI \quad (10)$$

$$W_{eft} = W_{term} \cdot \eta_{ind} \quad (11)$$

Através desta metodologia apresentada, pode-se obter os parâmetros do motor em funcionamento com combustíveis alternativos, permitindo a análise e avaliação do desempenho energético do grupo gerador. Adicionalmente, torna-se factível quantificar a quantidade de energia elétrica que pode ser gerada pelo grupo gerador operando com os combustíveis mencionados.

### 3. Resultados e Discussões

Utilizando a metodologia estruturada nos materiais e métodos, o primeiro passo será efetuar o cálculo com o grupo gerador em funcionamento com gasolina. A equação química balanceada da combustão da gasolina segue a Equação 12.



A partir da equação química balanceada Equação 12 é realizado o cálculo para obter a relação de ar combustível por meio da Equação 1.

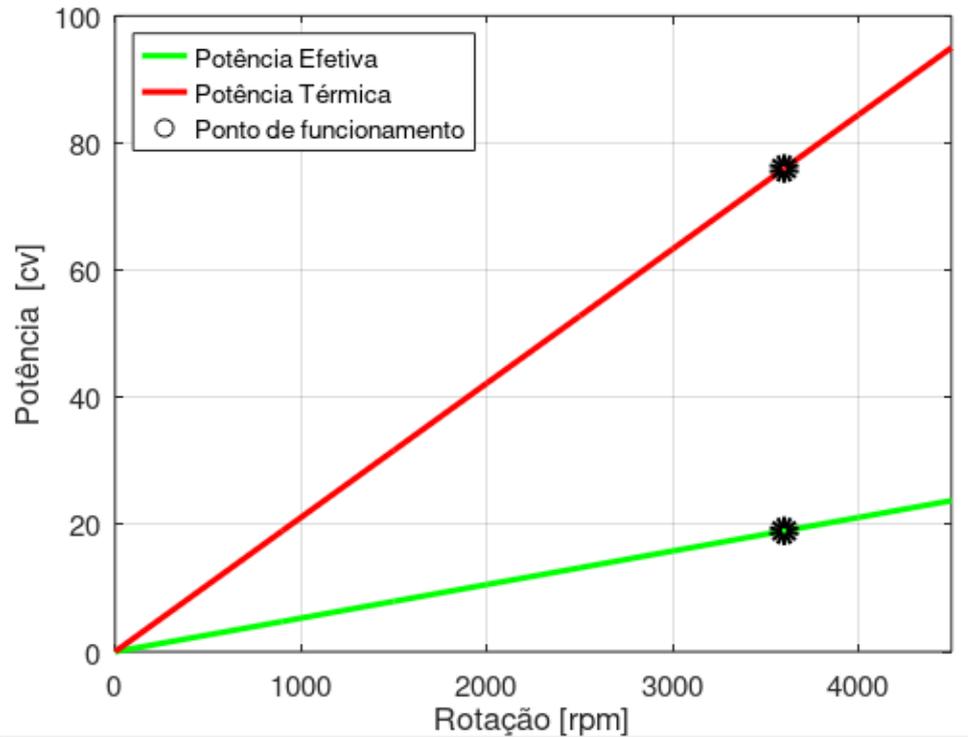
$$RM_e = \frac{12,5 \cdot 4,76}{1} = 59,500 \frac{kmol(ar)}{kmol(comb)}$$

Conforme as considerações utilizadas, o ar tem sua composição formada por 79% de nitrogênio e 21% de oxigênio, assim, sua massa molar é de  $28,840 kg/Kmol$ . Considerando a gasolina como octano sua massa molar será de  $114,220 kg/kmol$ . Logo a relação de ar combustível mássica em base estequiométrica pode ser calculada por meio da Equação 2.

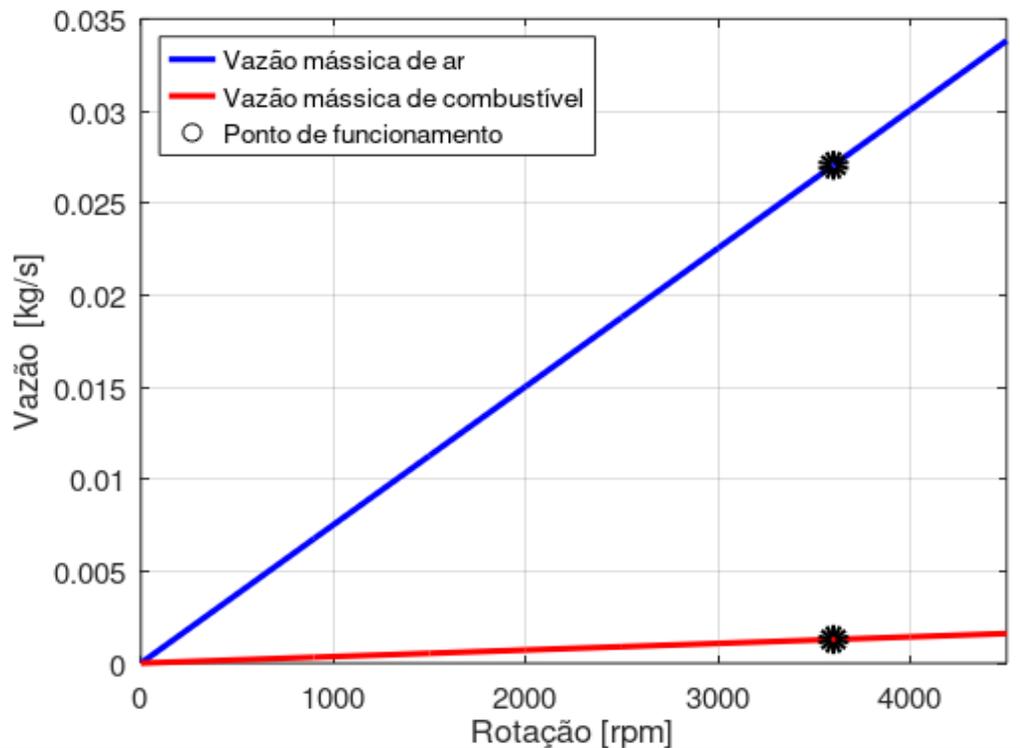
$$RM_e = 59,50 \cdot \frac{28,84}{114,220} = 15,020 \frac{kmol(ar)}{kmol(comb)}$$

Baseado nos dados fornecidos pelo fabricante do grupo gerador, o ponto de funcionamento do motor é de 19 cv de potência efetiva (Branco, 2023). Foi levado em consideração neste trabalho que, quando o motor fornece uma potência efetiva de 19cv, sua rotação é de 3600 rpm. Isso é válido dado que o alternador do grupo gerador possui dois polos, operando a uma frequência de 60Hz e que a conexão entre os eixos do motor e do alternador é direta, resultando na rotação de 3600 rpm fornecida pelo motor.

Através dos dados fornecidos e do cálculo realizado, foram gerados os gráficos (Figuras 3 e 4) que mostram o desempenho do sistema operando com gasolina.



**Figura 3 – Funcionamento das potências do motor do grupo gerador operando com gasolina. Fonte: Próprio autor.**



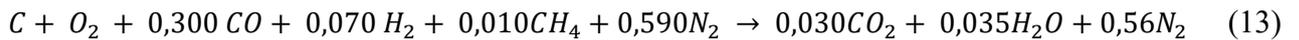
**Figura 4 – Funcionamento das vazões do motor do grupo gerador operando com gasolina. Fonte: Próprio autor.**

A partir dos gráficos obtidos para uma rotação de 3600 rpm, que representa o ponto de funcionamento, foram determinados os parâmetros listados na Tabela 2.

**Tabela 2 – Parâmetros do motor do grupo gerador operando com gasolina. Fonte: Próprio autor.**

Parâmetro	Dados
Vazão mássica de ar - $m_{ar}$ [kg/s]	$2,705 \times 10^{-2}$
Vazão mássica do combustível - $m_{comb}$ [kg/s]	$1,286 \times 10^{-3}$
Relação ar combustível em base mássica - RM [-]	21,028
Potência efetiva - $W_{efet}$ [cv]	19,000
Potência térmica - $W_{term}$ [cv]	76,000
Potência indicada - $W_{ind}$ [cv]	28,728
Rendimento mecânico - $\eta_{mec}$ [%]	66,137

Seguindo a mesma metodologia para o gás gerado pela queima do carvão vegetal, a equação química balanceada da combustão do gás gaseificado (*syngas*), produzido a partir da queima do carvão vegetal, é dado pela Equação 13.



Portanto, utilizando a equação química balanceada da combustão do gás produzido pela gaseificação do carvão vegetal, descrita na Equação 13, é possível determinar a relação ar-combustível por meio da Equação 1.

$$RM_e = \frac{1 + 0,590}{1} = 1,759 \frac{kmol(ar)}{kmol(comb)}$$

Com a massa molar do gás produzido igual a 26,060 kg/kmol, a relação ar-combustível mássica em base estequiométrica pode ser calculada utilizando a Equação 2.

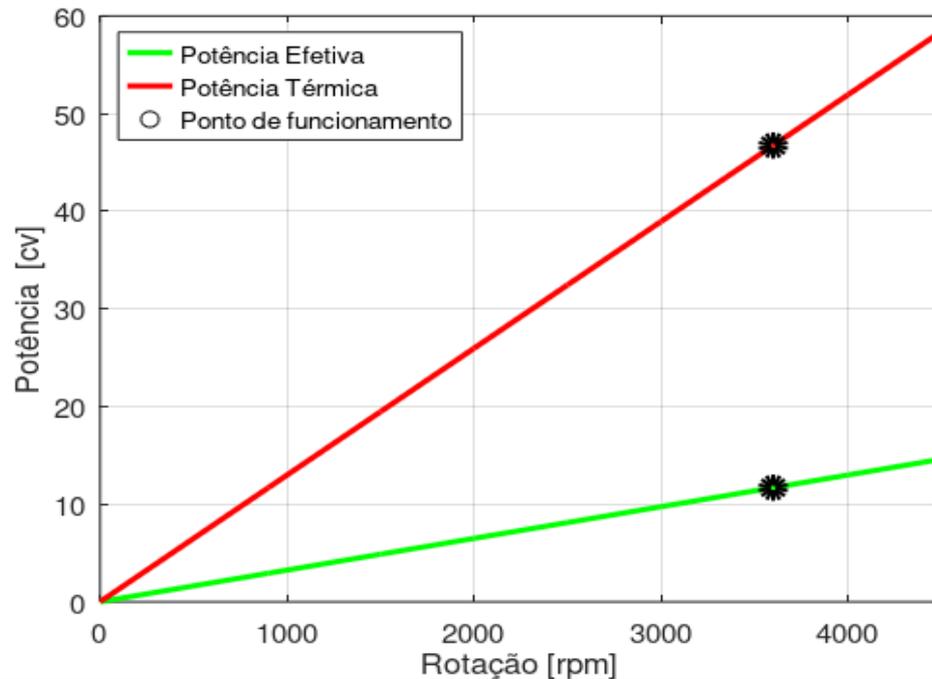
$$RM_e = \frac{1,759 \cdot 28,840}{26,060} = 2,463 \frac{kmol(ar)}{kmol(comb)}$$

Através dos dados fornecidos e do cálculo realizado, foram gerados os gráficos (Figura 5 e Figura 6) que mostram o desempenho do sistema operando com *syngas* do carvão vegetal. A partir dos gráficos obtidos para uma rotação de 3600 rpm, que representa o ponto de funcionamento, foram determinados os parâmetros listados na Tabela 3.

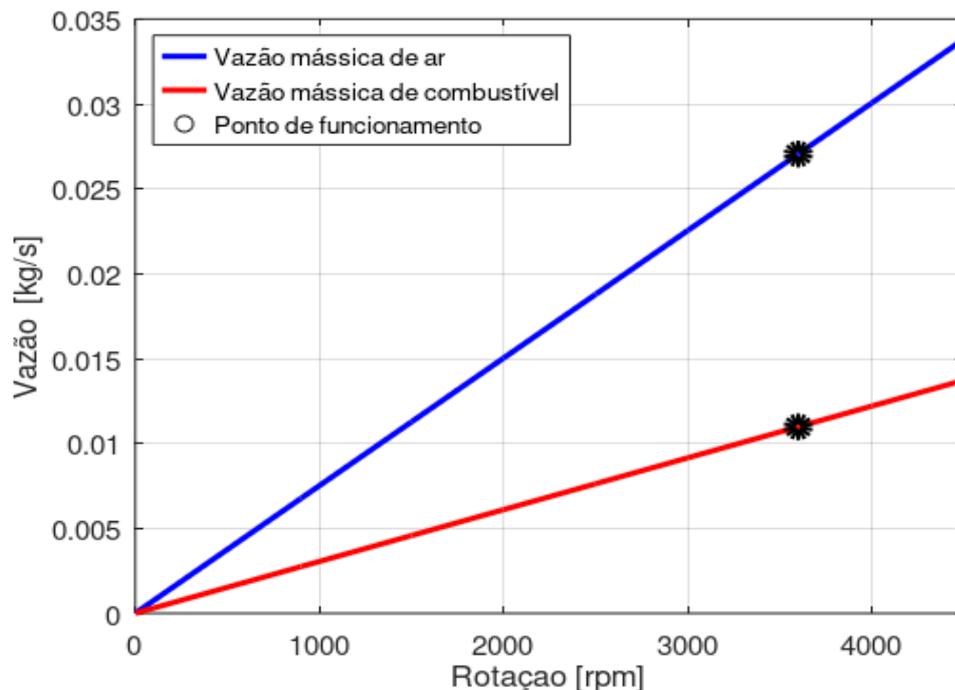
Analisando os dados e os gráficos obtidos pode-se observar que ao utilizar os combustíveis alternativos a vazão mássica de combustível exigida é maior. Devido a relação de ar combustível em base mássica está diretamente ligada a vazão mássica, pois quanto menor for a relação maior será a vazão requerida de combustível pelo motor utilizado. Outra análise observada é que quando se utiliza o combustível alternativo no motor, ocorre uma redução de potência efetiva em comparação ao uso de gasolina. Isso se deve ao fato de que o combustível alternativo tem uma menor capacidade energética.

Utilizando a vazão mássica obtida com o combustível alternativo e considerando um rendimento elétrico do alternador de 97%, calculou-se a quantidade de energia elétrica gerada. Considerando os dados da produção de carvão vegetal da empresa de Aperam de 450 mil toneladas

de carvão vegetal por ano (Aperam, 2023). Realizando a conversão caso esse carvão vegetal fosse gaseificado para servir como combustível alternativo para grupos geradores funcionando 24 horas por dia, durante um ano, é estimado a utilização de 376 grupos geradores. A produção de energia utilizando a safra de carvão vegetal seria possível gerar em torno de  $194,480 \cdot 10^8$  KWh. Com essa produção energética seria o suficiente para abastecer aproximadamente 9992 residências considerando que uma residência no Brasil consome em média 162,2 kWh/mês no ano de 2019 (EPE, 2020).



**Figura 5 – Funcionamento das potências do motor do grupo gerador operando com gás da gaseificação do carvão vegetal. Fonte: Próprio autor.**

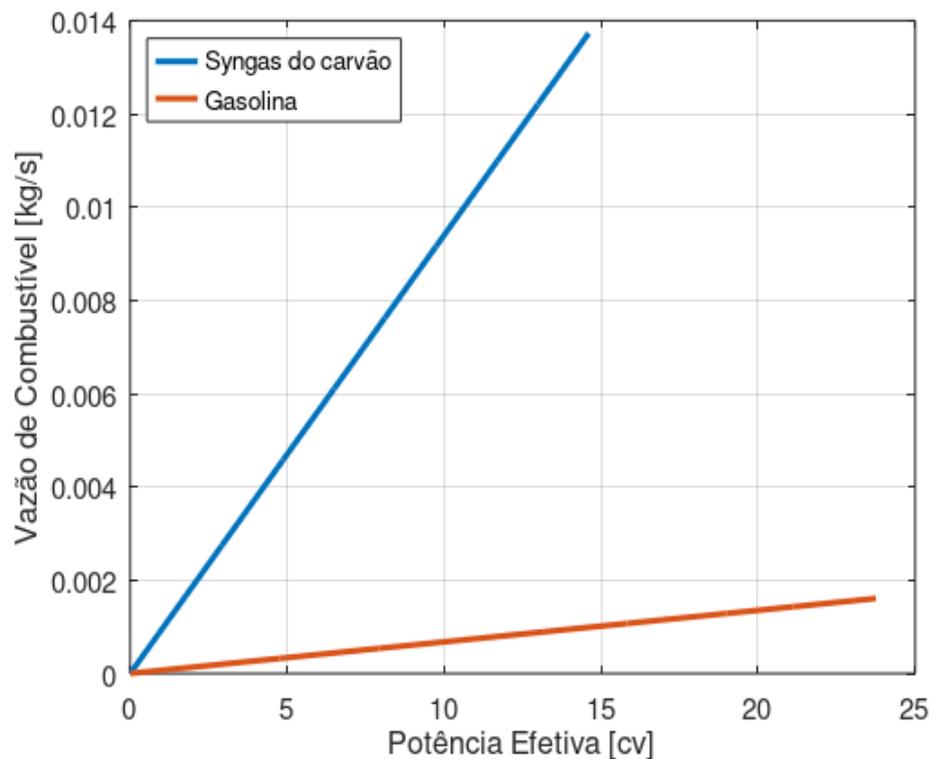


**Figura 6 – Funcionamento das vazões do motor do grupo gerador operando com gás da gaseificação do carvão vegetal. Fonte: Próprio autor.**

**Tabela 3 – Parâmetros do motor do grupo gerador operando com *syngas*. Fonte: Próprio autor.**

Parâmetro	Dados
Vazão mássica de ar - $m_{ar}$ [kg/s]	$2,705 \times 10^{-2}$
Vazão mássica do combustível - $m_{comb}$ [kg/s]	$1,098 \times 10^{-2}$
Relação ar combustível em base mássica - RM [-]	2,463
Potência efetiva - $W_{efet}$ [cv]	11,683
Potência térmica - $W_{term}$ [cv]	46,734
Potência indicada - $W_{ind}$ [cv]	17,665
Rendimento mecânico - $\eta_{mec}$ [%]	66,137

Com base nos resultados obtidos, foi criado um gráfico comparativo (Figura 7) que mostra a relação entre a vazão de combustível e a potência do motor, tanto para o *syngas* quanto para a gasolina.



**Figura 7 – Comparação entre as vazões de gasolina e gás da gaseificação de carvão vegetal. Fonte: Próprio autor.**

#### 4. Conclusões

O presente trabalho desenvolvido visou realizar a análise de um grupo gerador sendo alimentado com combustível gasoso alternativo da gaseificação do carvão vegetal. Com o estudo foi possível observar o comportamento do gerador que ao utilizar combustível alternativo necessita de uma maior vazão de combustível. As análises realizadas no trabalho seguem bases e fundamentos teóricos, onde em diversos cálculos foram realizadas simplificações e considerações. Assim os resultados vão diferir um pouco quando for realizado em um motor de combustão interna real. Entretanto, as considerações impostas são bastantes coerentes com a teoria.

Os parâmetros de massa molar e poder calorífico do novo gás que alimenta o grupo gerador pode afetar diretamente o funcionamento do mesmo operando com gasolina. Além de precisar passar por uma pequena adaptação que seria de baixo custo para grupo gerador para funcionar com gás de gaseificação. Mas uma importante questão a se observar é que os combustíveis de baixo poder calorífico se adequam perfeitamente ao ciclo Otto.

Conclui-se que a gaseificação da safra de carvão vegetal da empresa Aperam convertido na geração de energia elétrica seria possível gerar  $194,480 \cdot 10^8$  KWh. Com a possibilidade de abastecimento de aproximadamente 10 mil residências. Uma alternativa de geração de energia elétrica para locais remotos que não possuem acesso à energia elétrica.

Assim, para futuros trabalhos pode-se realizar uma viabilidade econômica do processo de gaseificação e das adaptações necessárias para o grupo gerador operar com combustível alternativo gerado pelo carvão vegetal. Além, de poder aprimorar os resultados obtidos analisando os parâmetros como pressão e temperatura de admissão do motor. Ensaios em laboratórios também é uma possibilidade para validar os resultados obtidos no presente trabalho. Por fim, sugere-se realizar análises para a gaseificação direta do eucalipto.

### Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a FAPEMIG, CAPES, CNPq, a PRPPG da UNIFEI e a PRPPG UFVJM pelo apoio financeiro. Além do agradecimento ao ICT/UFVJM e ao NEST/UNIFEI.

### Referências

- Aperam (2023). *Aperam BioEnergia é Referência Global em Sustentabilidade e Alta Performance na Produção de Carvão Vegetal*. Disponível em: <<https://brasil.aperam.com/aperam-bioenergia-e-referencia-global-em-sustentabilidade-e-alta-performance-na-producao-de-carvao-vegetal/>>. Acesso em: 15 abr. 2023.
- Araújo, B. M. M. (2022). *Análise Termodinâmica da Gaseificação do Licor Negro em Água Supercrítica*. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia <<http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/11926>>.
- Basu, P. (2013) *Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction: Practical Design and Theory*. 2013. Book Second Edition <<https://www.sciencedirect.com/book/9780123964885/biomass-gasification-pyrolysis-and-torrefaction>>.
- Branco (2023). *Branco Geradores*. Disponível em:<[www.branco.com.br](http://www.branco.com.br)>. Acesso em: 21 mar. 2023.
- Cardoso, M. T. Damásio, R. A. P., Carneiro, A. C. O., Jacovine, L. A. G., Vital. B. R., Barcelos, D. C. (2010). *Construção de um Sistema de Queima de Gases da Carbonização para Redução da Emissão de Poluentes., Vol. 16, p. 115 – 124.* <<http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/14323>>.
- Claudino F., Vicente V. (2019). *Uso de Biomassa e de Carvão Vegetal em Gaseificadores para Produzir gás Adequado a Motores de Combustão Interna*. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal Paraíba, João Pessoa <<https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/18940>>.
- EPE (2020). *Empresa de Pesquisa Energética. Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica*. <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-153/topico-510/Resenha%20Mensal%20-%20Janeiro%202020\\_v4.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-153/topico-510/Resenha%20Mensal%20-%20Janeiro%202020_v4.pdf)>. Acesso em: 15 abr, 2023.
- Feitosa, A. C. R. F. (2019). *Análise da Eficiência de um Gaseificador Operando com Biomassa Residual e Carvão Vegetal*. João Pessoa, 2019. TCC (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal Paraíba, João Pessoa <<https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/25394>>.
- Franco, M. B.; Mendes, T. (2021). *Estudo Comparativo entre Combustíveis para Motores de Combustão Interna*. II CoBICET - Anais do Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência

- e Tecnologia, Diamantina - MG. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/cobicet/390395-estudo-comparativo-entre-combustiveis-para-motores-de-combustao-interna/>>.
- Lima, S. C.; Barbosa, V. D. D., Souza, C., A. O., Mendes, T. (2022). *Pré-projeto de um Banco Experimental com Grupo Gerador Comercial para Testes com Combustíveis Gasosos*. III CoBICET - Anais do Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, Diamantina - MG. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/cobicet2022/507310-pre-projeto-de-um-banco-experimental-com-grupo-gerador-comercial-para-testes-com-combustiveis-gasosos/>>.
- Martins, J. (2020). *Motores de Combustão Interna*. 6 ed. Engebook. <<http://biblioteca.ufvjm.edu.br/pergamum/biblioteca/index.php>>
- Mckendry, P. (2002). *Energy Production from Biomass (part2): Conversion Technologies. Bioresource Technology, Vol. 83, n. 1, p. 47 - 54*. <[https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00119-5](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00119-5)>.
- Moran, M. J., Shapiro, H. N., Boettner, D. D., Bailey, M. B. (2018) *Princípios de Termodinâmica para Engenharia*. Grupo Editorial Nacional, 8 ed, LTC, Rio de Janeiro, Brasil, 2018. <<http://biblioteca.ufvjm.edu.br/pergamum/biblioteca/index.php>>.
- Oliveira, G. M. (2021). *Potencial de Geração de Eletricidade Proveniente dos Gases Efluentes da Produção de Carvão Vegetal em Minas Gerais*. Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá <<https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/handle/123456789/3147>>.
- PEN-2050. (2020). *Plano Nacional de Energia (PNE-2050)*. Empresa de Pesquisa Energética. Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf>> Acesso em: 13 mar. 2023.
- Ricardino, I. E. F.; Souza, M. N. C.; Neto, I. F. S. (2020). *Vantagens e Possibilidades do Reaproveitamento de Resíduos Agroindustriais. Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. Vol. 1, n. 8, p. 55 - 79*. <<https://revistascientificas.ifrj.edu.br/index.php/alimentos/article/view/1651>>.
- Rumão, A. S. (2013). *Geração de Potência e Energia Elétrica a partir da Gaseificação de Rejeitos de Biomassa*. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal Paraíba, João Pessoa <<https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/5362>>.
- Santos, Á. O.; Lima, S. C.; Mendes, T. (2020). *Implementação de Combustíveis Gasosos em um Grupo Gerador à Gasolina*. II CoBICET - Anais do Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, Diamantina - MG. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/cobicet/381094-implementacao-de-combustiveis-gasosos-em-um-grupo--gerador-a-gasolina/>>.
- The World Bank (2021). *International Bank for Reconstruction and Development. The Energy Progress Report*. Disponível em: <<https://www.worldbank.org/en/who-we-are/ibrd>>. Acesso em: 15 abr. 2023.