



XXVII Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica  
08 a 12 de fevereiro de 2021, Curitiba, PR, Brasil

## Utilização do ciclo Kalina em usinas geotérmicas híbridas no Brasil

Arthur Almeida Fitzner do Nascimento, arthurfitzner05@gmail.com<sup>1</sup>  
Ramon Silva Martins, ramon.martins@uvv.br<sup>1</sup>  
Arthur Monteiro Filho, arthurmtfilho@gmail.com<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Vila Velha, Av. Comissário José Dantas de Melo, 21, Vila Velha, ES, 29.102-920, Brasil,

<sup>2</sup>Instituto Federal do Espírito Santo, Avenida Vitória, 1729, Vitória, ES, 29.040-780, Brasil,

**Resumo.** Este trabalho tem como objetivo estudar a possibilidade de implementação de usinas geotérmicas para geração de potência, no Brasil. Pretende-se dimensionar uma planta geotérmica, utilizando o ciclo Kalina, que atenda as diversas regiões brasileiras classificadas como sendo de baixa entalpia, assim como vislumbrar uma possibilidade de hidridização utilizando-se de energia solar. Para isso foram realizadas simulações por meio do software COCO simulator. Os resultados sugerem que uma planta de ciclo Kalina, mesmo hibridizada com energia heliotérmica, é inviável no Brasil

**Palavras chave:** Ciclo Kalina. Usinas geotérmicas. Energia solar

**Abstract.** This work aims to study the possibility of implementing geothermal plants for power generation in Brazil. The intention is to dimension a geothermal plant, using the Kalina cycle, that serves the various brazilian regions classified as being of low enthalpy, as well as envision a possibility of hybridization using solar energy. For that, simulations were performed using the COCO simulator software. Results suggest that a Kalina-cycle power station, even added by solar energy, is not suitable in Brazil.

**Keywords:** Kalina cycle. Geothermal plants. Solar energy

### 1. INTRODUÇÃO

Nunca foi dada tanta importância sobre o impacto do ser humano no planeta terra, como hoje. Somado a isso, constata-se um crescimento populacional vertiginoso e esgotamento das fontes convencionais de energia. É nesse cenário que muitas outras formas (especialmente as renováveis) de energia têm sido exploradas, de modo a atender uma demanda energética cada vez maior. (Ahmad e Karimi, 2016)

Neste sentido, a energia geotérmica se destaca, pois Cerca de 80% do calor proveniente do centro da terra é de origem radioativa e a meia vida de seus elementos podem variar de 0,7 bilhão de anos até 14 bilhões de anos (Kale, 2015). Comparando estes dados com a escala de vida humana, conclui-se que esta poderá contribuir como uma fonte alternativa de geração de energia térmica por tanto tempo quanto for necessário, podendo-se ainda afirmar, que sua fonte de energia térmica é ilimitada (Campos Rodríguez, et al., 2013; Kale, 2015; Smith, 1974)

Além disso, a energia geotérmica, quando comparada a outras fontes de energia, possui importantes vantagens. É uma energia limpa, beneficiando assim, o meio ambiente. Requer uma área mínima de atuação (Em termos de comparação, para que seja produzido 1000 MW em uma planta geotérmica são necessários apenas 3,5 km<sup>2</sup> comparado aos 32 km<sup>2</sup> de uma Usina que opera a carvão e os 12 km<sup>2</sup> de um Parque Eólico) (Kale, 2015)

Ainda, diferentemente de outras fontes renováveis de energia, como a solar e a eólica, esta não depende tanto de fatores climáticos e, por este motivo, opera de forma contínua (Li, et al., 2016). Ela também possui um mecanismo de conversão de energia térmica em mecânica muito similar ao utilizado em plantas de combustíveis fósseis, pois utilizam vapor para rotacionar uma turbina (Prananto, et al., 2018)

Uma vez que o potencial de produção de energia através da fonte geotérmica não é o mesmo ao redor do mundo (Smith, 1974; Lund, 2018), existem diferentes tecnologias que podem ser empregadas, que irão depender do nível entálpico do poço geotérmico. Dentre elas, destacam-se: plantas de vapor seco, plantas do tipo flash e as plantas de ciclo binário (Kavadias, et al., 2019).

Para a utilização da planta de vapor seco, o fluido geotérmico a ser extraído deverá se encontrar na forma de vapor (vapor saturado ou superaquecido). O vapor passará por um filtro de modo a evitar que partículas sólidas entrem em contato direto com a turbina. Após sua passagem pela turbina, este irá para um condensador onde o excesso de vapor será condensado e reinjetado através do poço de injeção para que seja reaquecido e o ciclo continue (Prananto, et al., 2018).

Na planta do tipo flash, o fluido a ser extraído deverá se encontrar no estado de líquido saturado. Este passará por um tanque flash, responsável por submeter o fluido a uma baixa pressão, evaporando-o. O vapor originado deste processo será então direcionado à turbina para geração de potência. A parte do fluido que não evaporou no tanque flash será liberada e encontrará a parte condensada após a passagem pela turbina, retornando para o reservatório geotérmico por meio do poço de injeção (Prananto, et al., 2018).

Já as plantas que utilizam o ciclo binário possuem um funcionamento mais complexo. Este tipo de planta é bastante utilizado para fontes de baixa temperatura, sendo que o fluido de trabalho será diferente do fluido geotérmico. Neste caso, ao invés do fluido geotérmico ser direcionado para a turbina, este irá para um trocador de calor no qual fornecerá calor para um fluido secundário. Já o fluido secundário deverá possuir uma temperatura de evaporação inferior ao do fluido geotérmico (Prananto, et al., 2018). Uma grande vantagem deste sistema é que o fluido geotérmico não entra em contato direto com a turbina e outros componentes mecânicos, o que permite uma maior durabilidade destes e, portanto, menos custo com manutenção (Campos Rodríguez, et al., 2013).

No Brasil, os únicos lugares que foram classificados como tendo reservatórios de alta entalpia foram as ilhas de Fernando de Noronha e Trindade. Porém, por ter dimensões continentais, possui diversas fontes de baixa entalpia (cujas temperaturas não excedem 90°C) espalhadas por algumas regiões de seu território. Essas regiões são: Centro-oeste (nos estados de Goiás e Mato-Grosso) e no Sul (no estado de Santa Catarina) (Campos Rodríguez, et al., 2013).

Todavia, outros estudos apontam para possíveis indicativos da existência de recursos geotérmicos de média entalpia nas regiões nordeste e centro-oeste, entre profundidades de 3 a 5 km (Cardoso, et al., 2010).

Até mesmo nas regiões onde os níveis de radiação solar são considerados abaixo da média, principalmente nos estados ao sul do Brasil, possuem uma capacidade superior ao de muitos países europeus, não somente em relação ao seu potencial de geração de energia térmica, mas também se tratando do seu potencial de geração de energia elétrica (Simioni e Schaeffer, 2019)

## 1.1. Objetivos

O objetivo desta pesquisa consiste na apresentação de uma opção para melhor explorar a geração de energia mecânica por meio de fontes geotérmicas de baixa entalpia utilizando o Ciclo Kalina como base. Também busca-se testar a viabilidade da hibridização de uma planta geotérmica com uma solar e analisar o quanto se consegue em termos de melhora de eficiência devido a esse acréscimo de energia térmica. Além disso, busca-se testar, por meio de simulação e análise dos dados, a possibilidade de se obter valores ótimos de eficiência no ciclo termodinâmico adotado e, com isso, provar que tal tecnologia poderia ser utilizada no cenário brasileiro, apesar deste apresentar, em sua grande totalidade, reservatórios geotérmicos classificados como de baixa entalpia. Para isso, pretende-se fazer um levantamento do cenário geotérmico e solar brasileiro, além de se aprofundar no estudo não só dos ciclos (utilizados na extração de potência através de fontes geotérmicas), como também do fluido de trabalho utilizado, buscando ressaltar suas principais características.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Ciclo Kalina

Para a realização deste trabalho, foi adotado o ciclo Kalina, que é um ciclo termodinâmico binário, onde o fluido de trabalho e o fluido geotérmico são distintos. Portanto, o fluido geotérmico não participará diretamente do ciclo; este servirá apenas para trocar calor com o fluido de trabalho (Campos Rodríguez, et al., 2013). O ciclo Kalina possui a seguinte configuração:

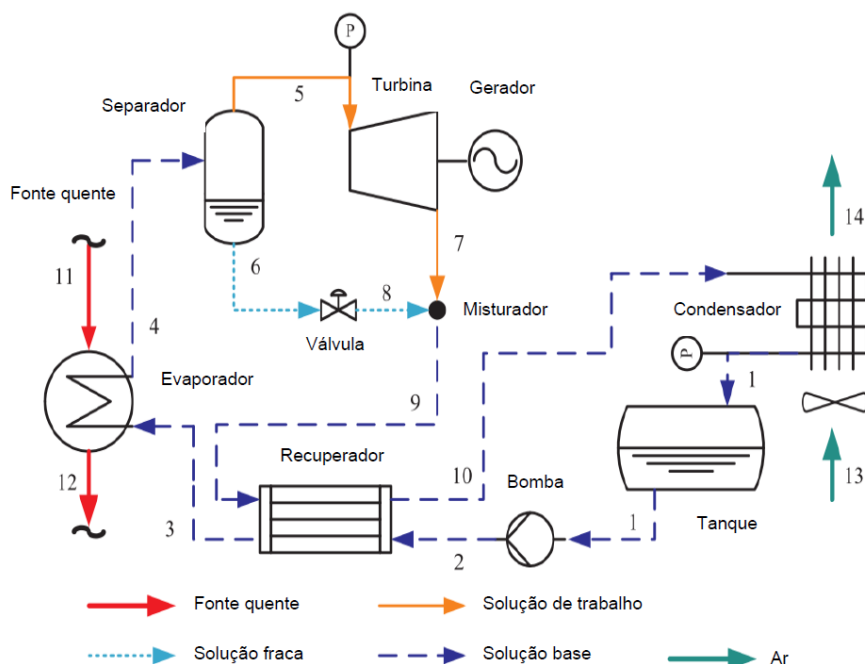


Figura 1. Representação esquemática do ciclo Kalina (Wang, et al., 2017)

Sua característica principal que o diferencia dos demais ciclos é a utilização da mistura amônia-água como fluido de trabalho. A amônia é utilizada de forma estratégica como componente dessa mistura, pois possui um ponto de evaporação inferior ao da água (Sarkar, 2015). Essa característica confere ao ciclo a capacidade de produzir potência a partir de fontes de baixa temperatura.

Além disso, a mistura amônia-água se caracteriza por ser uma mistura zeotrópica. Isto quer dizer que suas temperaturas de evaporação e de condensação não são constantes, (Sarkar, 2015; Wang, et al., 2017) conferindo ao ciclo grande vantagem em termos de eficiência, devido à redução das perdas por irreversibilidade durante a transformação de líquido saturado para vapor saturado e vice-versa. Aliás, a amônia e água possuem pesos moleculares semelhantes, possibilitando a utilização de turbinas a vapor já padronizadas, sem que nenhuma alteração neste sentido precise ser feita (Ganesh e Srivivas, 2011).

Segundo Moran (2018), um ciclo termodinâmico ganha em eficiência sempre que consegue aumentar a temperatura média de adição de calor e/ou diminuir a temperatura média de rejeição de calor. O ciclo Kalina, por conta de seu fluido de trabalho, consegue atingir este objetivo simplesmente por não contar com transformações isotérmicas.

Adicionalmente, há a possibilidade de manipulação da concentração de amônia na mistura, alterando juntamente, as pressões nos diferentes estágios do ciclo, o que lhe concede um grau de liberdade superior. Essa possibilidade de se trabalhar com diferentes pressões pode resultar num ganho de eficiência térmica, pois aumentando a pressão no componente responsável pela adição de calor no ciclo, tende a aumentar a temperatura média de adição de calor, assim como diminuir a pressão no condensador tende a diminuir a temperatura média de rejeição de calor. (Sarkar, 2015).

## 2.2. Programa COCO

Foi utilizado o software *COCO* (*Cape Open to Cape Open*), que é um ambiente de simulação de processos químicos em estado estacionário, gratuito e aberto, com um extenso banco de dados. Além disso, o *COCO* é composto por um componente denominado *COFE* (*Cape Open Flowsheet Environment*), onde é possível a construção de fluxogramas (Lima e Poubel, 2015).

Para a simulação, o modelo matemático adotado foi a equação de estado de Peng-Robinson, visto que gases reais apenas se comportam como gases ideais para baixas temperaturas e pressão. Em outras palavras, esta equação servirá para fornecer dados dos estados P-V-T de forma mais precisa, principalmente para valores onde a lei dos gases ideais não se aplica (Zohuri, 2018).

$$P = \frac{RT}{(v-b)} - \frac{aa}{v^2 + 2bv - b^2} \quad (1)$$

$$a = 0,45723553 \frac{R^2 T_c^2}{P_c} \quad (2)$$

$$b = 0,07779607 \frac{RT_c}{P_c} \quad (3)$$

$$\kappa = 0,37464 + 1,54226\omega - 0,26993\omega^2 \quad (4)$$

$$\alpha = \left[ 1 + \kappa \left( 1 - \sqrt{\frac{T}{T_c}} \right) \right]^2 \quad (5)$$

Onde  $a$ ,  $b$ ,  $\alpha$ ,  $\kappa$  e  $\omega$  são constantes. Todas elas dependem da temperatura crítica e da pressão do gás. A constante  $b$  é referente a uma correção volumétrica, enquanto  $a$  é um parâmetro de interação molecular. A constante  $\omega$ , por sua vez, é um fator acêntrico e este está relacionado à geometria molecular do gás. Entretanto, estas constantes podem ter seus valores encontrados de forma tabelada (Zohuri, 2018).

### 2.3. Energia solar e coletores de placas planas

Os melhores lugares para instalação de plantas solares estão localizados onde se tem um bom nível de insolação durante todo o ano. Para plantas solares térmicas, outro aspecto de extrema relevância na escolha dos melhores lugares para sua instalação, tem a ver com a formação de nuvens no local. Regiões onde essa formação é rara, são designados como os melhores lugares para instalação deste tipo de planta (Wray, 2008).

Sobre os coletores solares, estes são trocadores de calor capazes de transformarem a energia térmica da radiação solar em calor e transferi-lo para o fluido que passa pelo coletor.

Existem dois tipos de coletores solares: os não-concentradores ou estacionários e os concentradores. A diferença entre estes consiste na área de absorção de radiação. Um coletor solar não-concentrador possui a área de interceptação da radiação solar igual a área de absorção de radiação solar (coletores solares planos). Já um coletor solar concentrador (geralmente de superfície côncava) intercepta a radiação solar e a redireciona para uma área de absorção menor, aumentando o fluxo de radiação. Estes últimos são indicados quando se deseja ou há a necessidade de se obter temperaturas elevadas (Kalogirou, 2009).

No presente estudo, foi decidido pela utilização dos coletores solares não-concentradores de placas planas, primeiro por causa de sua maior simplicidade em termos de dimensionamento e, segundo, porque o intuito deste trabalho e do ciclo proposto é justamente trabalhar com baixas fontes de temperatura.

Sobre o dimensionamento dos coletores solares foi necessário obter uma série de dados, segundo consta na NBR 15569:2020. Os dados de irradiação solar  $I_G$  foram obtidos através do site do CRESESB por meio da latitude e longitude locais, assim como a inclinação dos coletores solares em relação ao norte geográfico  $\gamma$  e o valor de  $\beta$  que é o ângulo de inclinação do coletor em relação ao plano horizontal. Sabe-se que o valor de  $\beta$  varia de acordo com os diferentes climas e diferentes estações anuais. Além disso, a variável  $\beta_{ótimo}$  foi considerada, como recomendado pela norma em questão, como sendo o valor de  $\beta + 10^\circ$ , ou seja, a latitude local acrescida de dez graus.

Já os valores de insolação média anual das diferentes regiões brasileiras foram obtidos através do Atlas Solarimétrico do Brasil.

O valor de temperatura ambiente foi calculado, tirando-se a média dos valores médios de todos os meses, através do site CLIMATEMPO.

Para o cálculo de volume de consumo, a norma sugere a seguinte equação:

$$V_{consumo} = \Sigma(Q \cdot t \cdot \text{frequência de uso}) \quad (6)$$

Em que:

$Q$  = Vazão volumétrica em L/min

$T$  = Tempo médio de utilização diário do aparelho

A vazão de água do circuito solar foi obtido por meio de um balanço de calor no trocador de calor através da fórmula:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta\theta \quad (7)$$

Em que:

$\dot{Q}$  = Taxa de troca térmica em kW

$\dot{m}$  = Vazão mássica do fluido em kg/s

$c_p$  = Calor específico à pressão constante do fluido  
 $\Delta\theta$  = Variação de temperatura

Para os demais cálculos seguiu-se a NBR 15569:2020 e feito isso, o valor de PMEE (Produção Média Mensal de Energia Específica) foi determinado, por meio do INMETRO como sendo de 90,1 kWh/mês.m<sup>2</sup>.

### 3. RESULTADOS

Inicialmente, foram realizadas simulações de modo a contemplar apenas a energia geotérmica para que pudesse ser mensurada a eficiência térmica final do ciclo. Num segundo momento, será feita a comparação desta situação com uma outra, em que será incrementada a energia solar como fonte de calor extra, e calculada a eficiência do ciclo após este incremento.

O ciclo inicial modelado ficou da seguinte forma:

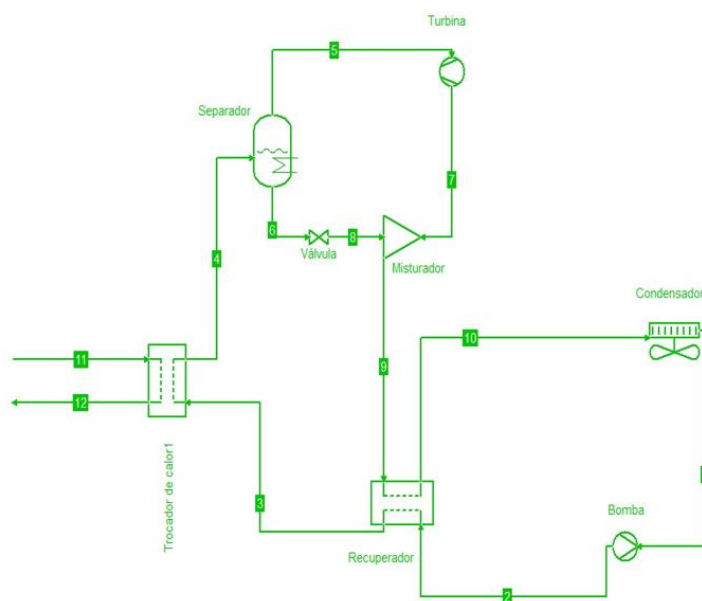


Figura 2. Ciclo modelado no COCO

Além disso, também será feita uma análise em termos geográficos, comparando-se o impacto sofrido sobre a eficiência final do ciclo, devido à alternância entre algumas regiões brasileiras.

Ao definir a temperatura do fluido geotérmico como sendo de 90°C, foram obtidos os seguintes resultados:

Tabela 1. Estados termodinâmicos com entrada à 90°C

Estado	T (°C)	P(MPa)	h(kJ.kg <sup>-1</sup> )	s(kJ.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	ṁ(kg.s <sup>-1</sup> )	x(%concentração de amônia)
1	9,20	0,443	-1766,08	-102,174	32,673	0,76
2	9,59	2,392	-1762,36	-102,13	32,673	0,76
3	30,10	2,325	-1666,67	-96,4825	32,673	0,76
4	83,63	2,325	-990,502	-62,193	32,673	0,76
5	84,38	2,28	63,1134	-20,9542	13,1558	0,99
6	84,38	2,28	-1653,68	-88,2269	19,5172	0,60
7	7,56	0,447	-125,743	-18,9213	13,1558	0,99
8	32,79	0,447	-1653,68	-86,7261	19,5172	0,60
9	30,10	0,447	-1038,45	-58,9496	32,673	0,76
10	24,84	0,443	-1134,15	-64,4145	32,673	0,76
11	90	2	-2241,76	-107,1	141,8	0
12	55,61	2	-2397,56	-115,219	141,8	0

Vale ressaltar que esse valor de temperatura que o fluido geotérmico entra no trocador1 (90°C) englobam diversas regiões brasileiras e para muitas dessas regiões funciona como um valor de máximo (Campos Rodríguez, et al., 2013). A seguir são apresentados os cálculos termodinâmicos:

Saída de Potência Líquida:

$$\dot{W}_{liquida} = \dot{W}_{turbina} - \dot{W}_{bomba} \quad (8)$$

$$\dot{W}_{liquida} = 2363,01 \text{ kW}$$

Calor que entra no ciclo:

$$\dot{Q}_{entra} = \dot{Q}_{trocador1} + \dot{Q}_{separador} = \dot{m}_3(h_4 - h_3) + \dot{Q}_{separador} \quad (9)$$

$$\dot{Q}_{entra} = 22092,11 \text{ kW} + 917,84 \text{ kW} = 23009,95 \text{ kW}$$

Eficiência Térmica:

$$\eta = \frac{\dot{W}_{turbina} - \dot{W}_{bomba}}{\dot{Q}_{entra}} \quad (10)$$

$$\eta = 10,27\%$$

Esse resultado representa a eficiência térmica que uma usina geotérmica apresentaria caso fosse instalada nas regiões brasileiras que sabidamente possuem potenciais de baixa entalpia.

Acrescentando a fonte solar ao ciclo, obtivemos a seguinte configuração:

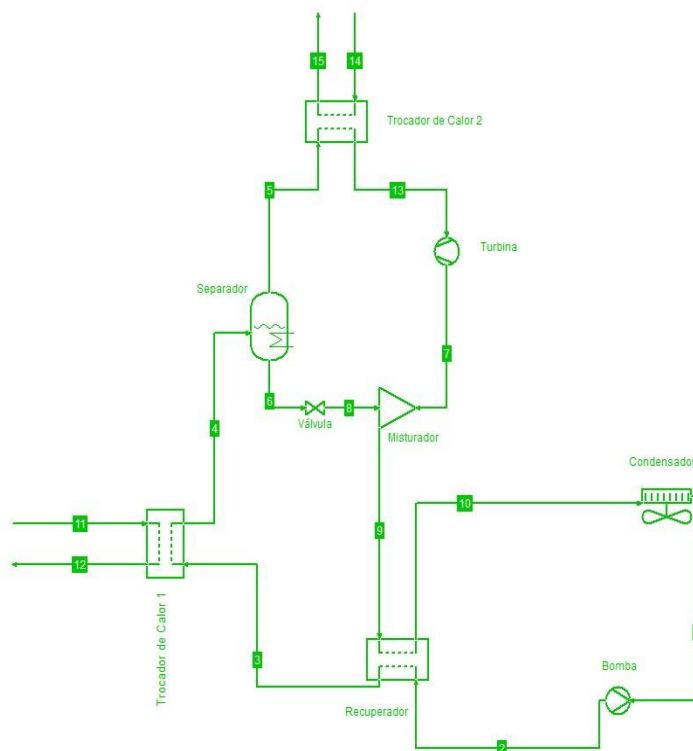


Figura 3. Ciclo geotérmico híbrido

Apesar de ter sido incorporado ao ciclo essa nova fonte térmica, a temperatura de entrada do fluido geotérmico se manteve o mesmo.

Os seguintes resultados para os cálculos termodinâmicos foram:

Saída de Potência Líquida:

$$\dot{W}_{liquida} = \dot{W}_{turbina} - \dot{W}_{bomba} \quad (8)$$

$$\dot{W}_{liquida} = 2614,14 \text{ kW}$$

Calor que entra no ciclo:

$$\dot{Q}_{entra} = \dot{Q}_{trocador1} + \dot{Q}_{separador} + \dot{Q}_{trocador2} = \dot{m}_3(h_4 - h_3) + \dot{m}_{13}(h_{13} - h_7) + \dot{Q}_{separador} \quad (11)$$

$$\dot{Q}_{entra} = 21858,63 \text{ kW} + 879,794 \text{ kW} + 1181,21 \text{ kW} = 23919,64 \text{ kW}$$

Eficiência Térmica:

$$\eta = \frac{\dot{W}_{turbina} - \dot{W}_{bomba}}{\dot{Q}_{entra}} \quad (10)$$

$$\eta = 10,93\%$$

Os respectivos dados deste novo ciclo encontram-se na tabela abaixo:

Tabela 2. Estados termodinâmicos com entrada à 90°C e com adição da energia solar

Estado	T(°C)	P(MPa)	h (kJ.kg <sup>-1</sup> )	s(kJ.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	ṁ(kg.s <sup>-1</sup> )	x(%concentração de amônia)
1	9,20	0,443	-1766,08	-102,174	32,673	0,76
2	9,59	2,392	-1762,36	-102,13	32,673	0,76
3	30,10	2,325	-1658,35	-96,4825	32,673	0,76
4	83,63	2,325	-989,338	-62,193	32,673	0,76
5	84,38	2,28	63,1134	-20,9542	13,1558	0,99
6	84,38	2,28	-1653,68	-88,2269	19,5172	0,60
7	7,56	0,447	-55,0453	-18,9213	13,1558	0,99
8	32,79	0,447	-1653,68	-86,7261	19,5172	0,60
9	30,10	0,447	-1009,99	-58,9496	32,673	0,76
10	24,84	0,443	-1114	-64,4145	32,673	0,76
11	90	2	-2241,76	-107,1	141,8	0
12	55,61	2	-2395,92	-115,219	141,8	0
13	120	2,28	152,9	-16,8749	13,1558	0,99
14	120	0,4	-2105,2	-100,496	8	0

A seguir foram analisadas as seguintes regiões brasileiras, respectivamente: Distrito Federal (GO), Florianópolis (SC) e Cuiabá (MT).

Foram obtidos os seguintes resultados:

Para o Distrito Federal:

$$A_{coletora} = 7476,06 \text{ m}^2$$

Quantidade de coletores = 3738 unidades

Para Florianópolis:

$$A_{coletora} = 7741,77 \text{ m}^2$$

Quantidade de coletores = 3871 unidades

Finalmente, para Cuiabá:

$$A_{coletora} = 7374,21 \text{ m}^2$$

*Quantidade de coletores* = 3687 unidades

Apesar dos grandes valores de área obtidos, se justifica por causa das grandes pressões em que o ciclo trabalha. Portanto, um grande volume de fluido precisa ser aquecido, e para isso necessita-se uma área como essa.

#### 4. CONCLUSÕES

Alguns cenários foram analisados e obtidos seus resultados pôde-se concluir que a eficiência do ciclo geotérmico apresentou ser bem baixa, o que já era esperado, pois o valor da temperatura de entrada no ciclo é muito baixo para os padrões de qualquer planta com o objetivo de gerar eletricidade, apesar disso, de acordo com Ust (2014) o nível de eficiência obtido ainda se encontra na faixa de eficiência esperada de um ciclo de potência geotérmico.

Existem vários meios que podem ser explorados de modo a se buscar um aumento de eficiência de um ciclo termodinâmico (como já mencionado neste texto), no qual, neste estudo, foram deixados de lado. Entretanto, como foram feitas algumas considerações ao longo deste trabalho, seria incorreto afirmar que o resultado obtido representa bem a realidade. Sendo assim, para uma análise mais precisa de uma possível implementação deste tipo de geração de energia térmica, será necessário um estudo mais aprofundado, com medições mais precisas, principalmente em relação a temperatura dos poços geotérmicos tratados neste estudo.

Sobre a hibridização deste tipo de planta com a solar, foi visto que foi necessário uma área enorme (mais de 7000m<sup>2</sup>) para que fosse acrescentado menos do que 1% no valor de eficiência do ciclo. Todavia, trabalhou-se com coletores solares que são utilizados para aquecimento da água de residências, hotéis, hospitais, entre outros. Não sendo a melhor recomendação até por terem temperaturas de trabalho bem limitadas. Mas serve como um valor de referência para futuras simulações e projeções, utilizando-se de outras tecnologias solares, assim como outras formas de hibridização.

Além disso, os coletores solares podem ter um outro foco, que seria tentar corrigir, ou melhorar o cenário de desgaste do poço geotérmico. Esses painéis solares podem ser usados para reaquecer o fluido geotérmico, após este ser condensado e, por tanto, já ter servido seu propósito no ciclo, de modo que a perda de energia térmica pelo fluido seja reduzida, causando um menor impacto ao poço geotérmico, o que irá acarretar em um tempo de vida útil superior. (Kavadias et al., 2019).

#### 5. REFERÊNCIAS

- Ahmad, Moghees; Karimi, M N. Thermodynamic Analysis of Kalina Cycle. International Journal of Science and Research (IJSR), v. 5, n. 3, p. 2244–2249, 2016.
- Campos Rodríguez, Carlos Eymel et al. Exergetic and economic comparison of ORC and Kalina cycle for low temperature enhanced geothermal system in Brazil. Applied Thermal Engineering, v. 52, n. 1, p. 109–119, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2012.11.012>.
- Cardoso, R.R. , Hamza, V.M. E Alfaro, C. Geothermal Resource Base for South America : A Continental Perspective. n. April, p. 25–29, 2010.
- Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito. Potencial Solar – SunData v 3.0. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>. Acesso em: 03 nov. 2020
- Chigueru Tiba et al. Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados solarimétricos. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=publicacoes&task=livro&cid=2>. Acesso em: 12 out. 2020
- Clima tempo, 2020. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/>. Acesso em: 11 nov. 2020
- Ganesh, N Shankar; Srinivas, T. Evaluation of thermodynamic properties of ammonia- water mixture up to 100 bar for power application systems. v. 3, n. 1, p. 25–39, 2011
- Inmetro (org.). Informação ao Consumidor: tabelas de consumo/eficiência energética. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/coletores-solares.asp>. Acesso em: 12 nov. 2020.
- Kale, Dilip. Geothermal energy. Proceedings of the Indian National Science Academy, v. 81, n. 4, p. 993–999, 2015.
- Kalogirou, Soteris A. Solar Energy Collectors. p. 121–217, 2009.
- Kavadias, Kosmas A. et al. Sizing of a solar–geothermal hybrid power plant in remote island electrical network. Energy Procedia, v. 157, p. 901–908, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.11.256>.
- Li, Kewen et al. Upgrading both geothermal and solar energy. Transactions - Geothermal Resources Council, v. 40, n. June 2007, p. 839–852, 2016.
- Lund, John W. Geothermal Energy. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/geothermal-energy>. Acesso em: 27 maio 2020.



- Prananto, Lukman Adi et al. Dry steam cycle application for excess steam utilization: Kamojang geothermal power plant case study. *Renewable Energy*, v. 117, p. 157–165, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.10.029>.
- Sarkar, Dipak K. Steam Power Plant Cycles. *Thermal Power Plant*, n. state 3, p. 1–37, 2015.
- Simioni, Tassio; Schaeffer, Roberto. Georeferenced operating-efficiency solar potential maps with local weather conditions – An application to Brazil. *Solar Energy*, v. 184, n. October 2018, p. 345–355, 2019.
- Smith, Morton C. *Geothermal Power*. p. 401–411, 1974.
- Ust, Yasin. *Marine Steam Turbines*. n. August 2011, 2014
- Wang, Enhua; YU, Zhibin; Zhang, Fujun. Investigation on efficiency improvement of a Kalina cycle by sliding condensation pressure method. *Energy Conversion and Management*, v. 151, n. May, p. 123–135, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2017.08.078>.
- Wray, Peter. *Solar Power*. *American Ceramic Society Bulletin*, v. 87, n. 7, p. 31–33, 2008.
- Zohuri, Bahman. *Properties of Pure Substances*. *Physics of Cryogenics*, p. 53–79, 2018