

INFORME TÉCNICO	No. EPE-DEE-IT-003/2019-r0
	Data: 22/01/2019
Proposta de formulação do Preço de Referência para o produto Potência Leilão para suprimento a Boa Vista e Localidades Conectadas	

Objetivo

O presente Informe Técnico apresenta uma metodologia de ordenação econômica de empreendimentos de geração que vierem a participar do produto "Potência" do "Leilão para suprimento a Boa Vista e Localidades Conectadas", cujas diretrizes foram estabelecidas pela Portaria MME nº 512, de 21 de dezembro de 2018.

Este método classificatório, denominado "Preço de Referência", visa a eleger as soluções de suprimento, candidatas no produto Potência, mais econômicas para o consumidor, atendendo a requisitos de capacidade de modulação de carga e flexibilidade para operação variável, além de considerar eventual parcela de geração inflexível, permitida para as Soluções de Suprimento cujas fontes primárias sejam gás natural ou renováveis.

Conceitos e proposta de Preço de Referência

O preço de referência é uma estimativa futura do preço médio da energia elétrica efetivamente gerada por cada projeto participante do Leilão de Boa Vista e Localidades Conectadas, considerando um período anual. Estabelecido na base R\$/MWh, o preço de referência (P_{ref}) corresponde à razão entre a receita total anual (RT) a ser percebida pelo gerador, pela geração elétrica anual, conforme equação (1):

$$P_{ref} = \frac{RT}{f_c * P_{d,max} * 8.760} \quad (1)$$

Nesta equação, f_c é o fator de capacidade, em valor adimensional ou percentual, e $P_{d,max}$ é a potência disponível máxima. O produto " $P_{d,max} * 8.760$ " pode ser definido como a máxima disponibilidade anual da usina, em MWh/ano. A receita total anual (RT) se divide em duas componentes: a receita fixa (RF) e a receita variável (RV), conforme equação a seguir:

$$RT = RF + RV \quad (2)$$

A Receita Fixa (RF) destina-se à remuneração dos custos fixos anuais, inclusive aqueles incorridos na geração inflexível, pré-estabelecida pelo agente gerador antes da contratação. Excluem-se dessa receita os custos decorrentes de ordens de despacho, caso em que a usina gera energia além da inflexibilidade. Destaca-se que, embora a previsão de inflexível seja permitida somente para usinas a gás natural ou renováveis, no produto Potência, a formulação aqui proposta é válida para quaisquer fontes ou tecnologias, como por exemplo, óleo diesel. Porém, neste caso, considera-se uma geração totalmente flexível.

A receita fixa pode ser decomposta em duas rubricas: (i) parcela vinculada ao custo do combustível na geração de energia inflexível, RF_{comb} , em R\$/ano, e (ii) parcela vinculada aos demais itens, RF_{demais} , em R\$/ano, resultando na seguinte equação:

$$RF = RF_{comb} + RF_{demais} \quad (3)$$

INFORME TÉCNICO	No. EPE-DEE-IT-003/2019-r0
	Data: 22/01/2019
Proposta de formulação do Preço de Referência para o produto Potência Leilão para suprimento a Boa Vista e Localidades Conectadas	

Na equação (3), a receita fixa referente ao combustível é composta pelo produto do custo do combustível (C_{comb}), em R\$/MWh, pelo fator de inflexibilidade anual (F_{inflex}), em valor percentual, e pela máxima disponibilidade anual da usina, definida anteriormente:

$$RF_{comb} = F_{inflex} * C_{comb} * P_{d,max} * 8.760 \quad (4)$$

Por sua vez, a receita variável engloba os custos variáveis da usina, oriundos da ordem de despacho, que são o custo do combustível (C_{comb}) e os custos de operação e manutenção da parcela variável ($O\&M_{var}$), ambos declarados na unidade R\$/MWh. Estes custos são proporcionais ao período de geração variável ao longo do ano, representado aqui pelo maior valor entre a diferença do fator de capacidade (f_c) pelo fator de inflexibilidade anual (F_{inflex}) e zero. Destaca-se que quando a diferença ($f_c - F_{inflex}$) é negativa, significa que, ao longo de um período de um ano, a usina recebeu o valor financeiro referente à inflexibilidade do combustível, mas não gerou toda a energia contratada referente a esta inflexibilidade. Por analogia, quando esta diferença é positiva, visa a refletir a parcela da geração por ordem de despacho, acima da inflexibilidade. A equação que forma a receita variável anual, definida na unidade R\$/ano, é a seguinte:

$$RV = \max[(f_c - F_{inflex}); 0] [(C_{comb} + O\&M_{var})P_{d,max} 8.760] \quad (5)$$

Assumindo a hipótese de não desperdício da energia inflexível, a equação (5) pode ser simplificada para a seguinte relação:

$$RV = (f_c - F_{inflex})[(C_{comb} + O\&M_{var})P_{d,max} 8.760] \quad (6)$$

Agrupando as equações (3), (4), e (5) na equação (2), tem-se a seguinte relação para a receita total anual devida ao gerador termelétrico:

$$RT = RF_{demais} + F_{inflex} * C_{comb} * P_{d,max} * 8.760 + \max[(f_c - F_{inflex}); 0] [(C_{comb} + O\&M_{var})P_{d,max} 8.760] \quad (7)$$

Substituindo a equação (7) na equação (1), tem-se a seguinte relação para os preços de referência:

$$P_{ref} = \frac{RF_{demais}}{f_c * P_{d,max} * 8.760} + \frac{F_{inflex}}{f_c} C_{comb} + \max\left[\left(1 - \frac{F_{inflex}}{f_c}\right); 0\right] (C_{comb} + O\&M_{var}) \quad (8)$$

Particularizada para o caso de não desperdício da energia inflexível, a equação (8) pode ser escrita da seguinte forma:

$$P_{ref} = \frac{RF_{demais}}{f_c * P_{d,max} * 8.760} + C_{comb} + \left(1 - \frac{F_{inflex}}{f_c}\right) O\&M_{var} \quad (9)$$

De acordo com o Art. 6º, §4º, da Portaria MME nº 512, de 21 de dezembro de 2018, as soluções de suprimento do produto Potência cujas fontes primárias sejam gás natural ou renováveis, poderão declarar inflexibilidade de geração anual limitada a 50%. Efetivamente, a opção pela geração inflexível pode representar um benefício

INFORME TÉCNICO	No. EPE-DEE-IT-003/2019-r0
	Data: 22/01/2019
Proposta de formulação do Preço de Referência para o produto Potência Leilão para suprimento a Boa Vista e Localidades Conectadas	

ao agente gerador de energia, conferindo maior previsibilidade na gestão do combustível e geração elétrica, à medida em que se declara maior inflexibilidade. Como consequência, a inflexibilidade pode impactar em menores preços de geração elétrica, decorrente, especialmente, de menores custos com combustível.

Por outro lado, a geração inflexível pode penalizar a geração por ordem de mérito econômico, que procura adequar a oferta à demanda por meio do despacho sequencial das usinas com menor custo operacional. Do ponto de vista do operador, quanto menos inflexíveis forem as usinas termelétricas (ou quanto mais flexíveis), mais robusta será a otimização da operação do sistema, com o objetivo de minimização dos custos globais da energia elétrica ao consumidor. Desta forma, numa visão qualitativa, é possível que uma usina termelétrica com menor inflexibilidade, ainda que apresente custos de combustível mais elevados (impactando diretamente em maior preço da sua geração elétrica), possibilite ao operador do sistema uma geração global mais econômica ao longo de determinado período, devido à maior autonomia na gestão de portfólio.

Adicionalmente, há que se considerar que a contratação de geração inflexível impacta o montante máximo a ser contratado no produto Energia, ou seja, quanto mais geração inflexível for contratada no produto Potência, menos energia poderá ser contratada no produto Energia, de forma a evitar um excesso de geração, que resultaria em custo adicional ao consumidor.

Com o objetivo de se representar, ainda que de modo simplificado, a relação de compromisso entre custo de combustível e flexibilidade para operação do sistema, optou-se por incluir um termo, proporcional à geração inflexível e ao custo do combustível, que modifica as equações (8) e (9), respectivamente, da seguinte forma:

$$P_{ref} = \frac{RF_{demais}}{f_c * P_{d,max} * 8.760} + \frac{F_{inflex}}{f_c} (1 + \alpha) * C_{comb} + \max \left[\left(1 - \frac{F_{inflex}}{f_c} \right); 0 \right] (C_{comb} + O\&M_{var}) \quad (10)$$

$$P_{ref} = \frac{RF_{demais}}{f_c * P_{d,max} * 8.760} + \left(1 + \alpha * \frac{F_{inflex}}{f_c} \right) C_{comb} + \left(1 - \frac{F_{inflex}}{f_c} \right) O\&M_{var} \quad (11)$$

Nas equações acima, α é um parâmetro que visa a capturar o benefício sistêmico da flexibilidade. Quanto aos demais termos, seguem abaixo as definições:

Tabela 1 – Lista de símbolos das equações (10) e (11).

Símbolo	Significado	Unidade Dimensional
P_{ref}	Preço de referência	R\$/MWh
RF_{demais}	Receita fixa vinculada aos demais itens	R\$/ano
F_{inflex}	Fator de inflexibilidade anual	Adimensional ou (%)
C_{comb}	Custo do combustível	R\$/MWh
$O\&M_{var}$	Custo de operação e manutenção da parcela variável	R\$/MWh
f_c	Fator de capacidade	Adimensional ou (%)
$P_{d,max}$	Potência disponível máxima	MW

INFORME TÉCNICO	No. EPE-DEE-IT-003/2019-r0
	Data: 22/01/2019
Proposta de formulação do Preço de Referência para o produto Potência Leilão para suprimento a Boa Vista e Localidades Conectadas	

A equação (11) é a fórmula proposta para o preço de referência para a competição no Leilão para suprimento a Boa Vista e Localidades Conectadas, sendo válida somente para fator de capacidade igual ou superior a 50%. Cabe mencionar que nesta equação, ficará a critério de cada agente concorrente determinar todos os termos constantes na fórmula, exceto o fator de capacidade (f_c) e α , que deverão ser estabelecidos previamente pelo Ministério de Minas e Energia, sendo iguais para todos os projetos concorrentes no produto Potência e servirão somente para fins de ordenamento econômico ou classificação no Leilão.

Em relação ao fator de inflexibilidade, conforme mencionado anteriormente, somente as soluções de suprimento do produto Potência cujas fontes primárias sejam gás natural ou renováveis, poderão declarar inflexibilidade de geração anual limitada a 50%. Soluções por diesel, em qualquer percentual, não poderão apresentar inflexibilidade.

Em relação ao fator de capacidade, é fundamental esclarecer que, embora seja um fator definido para fins de competitividade no Leilão, este fator não gera obrigatoriedade de compra de energia acima da inflexibilidade, ficando alocado ao empreendedor o risco da incerteza de despacho de sua Solução de Suprimento, conforme estabelecido no Art. 9º, §4º da Portaria MME nº 512, de 21 de dezembro de 2018.

Simulação de Preços de Referências de Energia para Empreendimentos Referência

Para fins de validação do método do preço de referência e possíveis recomendações, são realizados, a título de referência, cálculos para três usinas distintas: duas a gás natural com diferentes valores de inflexibilidade e uma usina a diesel. Todas as usinas apresentam potência instalada equivalente, distinguindo-se essencialmente pelos seus custos fixos e variáveis¹, conforme demonstrado na Tabela 2. Cabe destacar que estes são valores referenciais estimados pela EPE, diante das melhores informações disponíveis para cada caso, considerando assimetria de informações existentes entre o mercado e a própria EPE. Maiores detalhes acerca das informações técnico-financeiras adotadas pela EPE se encontram no Anexo deste documento.

Tabela 2 – Características técnico-financeiras das usinas termelétricas em estudo.

	Gás Natural		Gás Natural		Diesel	
Potência Instalada	100	MW	100	MW	100	MW
TEIF	2%		2%		2%	
IP	2%		2%		2%	
FCmax	100%		100%		100%	
PDmax	96	MW	96	MW	96	MW
RFdemais¹	680	R\$/kW.ano	620	R\$/kW.ano	700	R\$/kW.ano
RFdemais	68.000.000	R\$/ano	61.690.172	R\$/ano	70.000.000	R\$/ano
Ccomb	700	R\$/MWh	780	R\$/MWh	850	R\$/MWh
O&Mvar	30	R\$/MWh	30	R\$/MWh	30	R\$/MWh
Inflexibilidade	50%		25%		0%	

¹ Destaca-se que, para esta avaliação, assume-se o valor do custo de O&Mvar, mencionado na Tabela 1, relativo à inflexibilidade, proporcional ao seu valor (25% ou 50%), no valor da RFdemais.

INFORME TÉCNICO	No. EPE-DEE-IT-003/2019-r0
	Data: 22/01/2019
Proposta de formulação do Preço de Referência para o produto Potência Leilão para suprimento a Boa Vista e Localidades Conectadas	

De posse dos números acima e aplicando a equação (10), procurou-se avaliar os preços de referência para diferentes fatores de capacidade, entre zero e 100%. No caso inicial, considerou-se o parâmetro α igual a zero, obtendo-se três curvas, conforme a Figura 1.

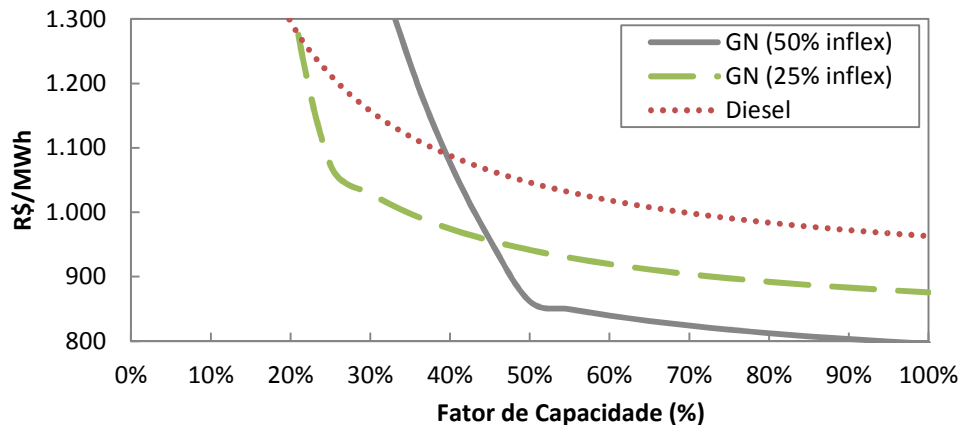
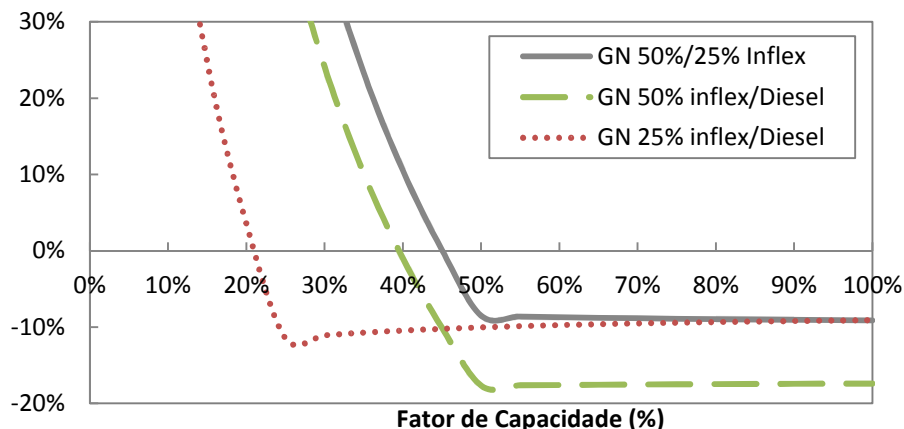


Figura 1 – Preços de referência das usinas termelétricas em função do fator de capacidade.

($\alpha = 0$).

Observa-se na figura acima que comportamentos distintos dos preços na faixa de 0 a 50% e acima de 50% no fator de capacidade. Para os menores fatores de capacidade, a usina a diesel apresenta o menor custo ao consumidor. Entre 25% e antes de 50% a geração da usina a gás natural com 25% de inflexibilidade é a mais competitiva. A partir disso, a usina a gás natural com 50% de inflexibilidade se torna a mais vantajosa. Esta variação na competitividade se deve fortemente pela inflexibilidade das fontes a gás natural e pelo desperdício de energia contratada quando o fator de capacidade é inferior à inflexibilidade da usina. No caso do diesel, como a inflexibilidade da usina é nula, a curva de preço de referência apresenta um formato suave, sem desperdício. Outro fato relevante é que a partir de 50% de inflexibilidade, a competitividade relativa entre as fontes se mantém estável. Isto se pode observar mais claramente na Figura 2, onde é apresentada a diferença relativa de preços entre as fontes.



INFORME TÉCNICO	No. EPE-DEE-IT-003/2019-r0
	Data: 22/01/2019
Proposta de formulação do Preço de Referência para o produto Potência Leilão para suprimento a Boa Vista e Localidades Conectadas	

Figura 2 – Diferença relativa entre os preços de referência.

As curvas de preços de referência são avaliadas a seguir considerando-se três condições para α . No primeiro caso, assume-se que $\alpha = 0,15 * f_c$, no segundo, $\alpha = 0,20 * f_c$ e no terceiro $\alpha = 0,30 * f_c$. Seguem resultados abaixo.

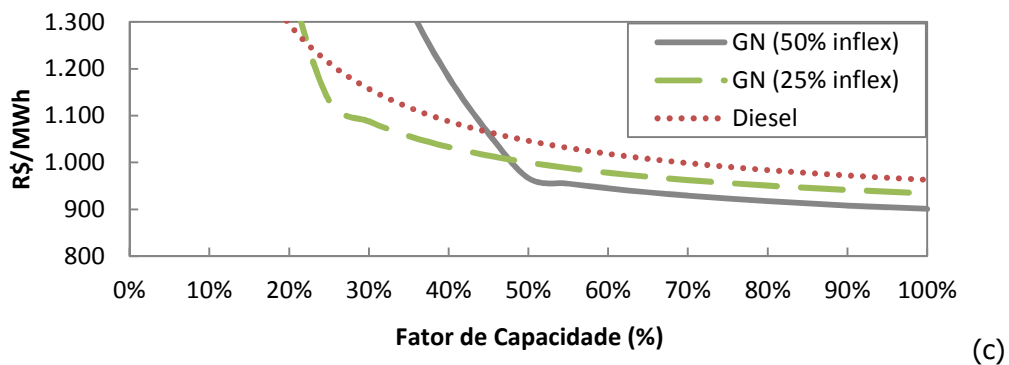
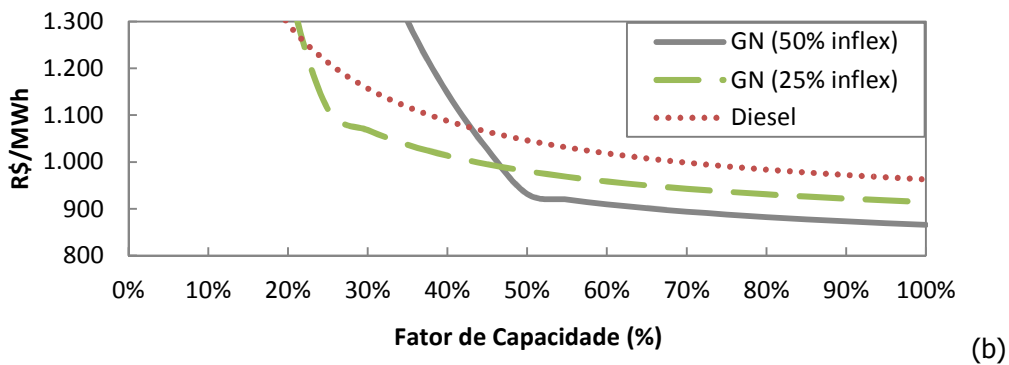
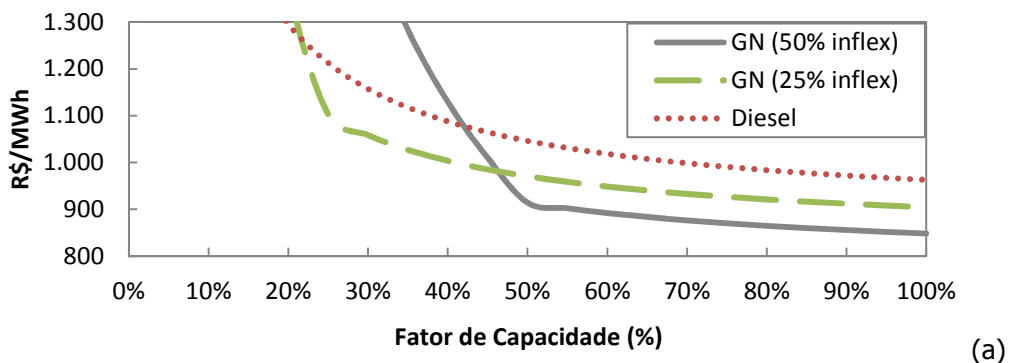


Figura 3 – Preços de referência das usinas termelétricas em função do fator de capacidade:

(a) $\alpha = 0,15 f_c$; (b) $\alpha = 0,20 f_c$; (c) $\alpha = 0,30 f_c$.

INFORME TÉCNICO	No. EPE-DEE-IT-003/2019-r0
	Data: 22/01/2019
Proposta de formulação do Preço de Referência para o produto Potência Leilão para suprimento a Boa Vista e Localidades Conectadas	

Na análise de sensibilidade apresentada na Figura 3, verifica-se, como já era de se esperar, que as fontes flexíveis se tornam cada vez mais competitivas à medida em que a constante do valor de α aumenta. Outro aspecto relevante é que a competitividade relativa entre as fontes se mantém estável para fatores de capacidade acima de 50%, independentemente do valor atribuído a α .

Recomendações sobre o Preço de Referência

Diante do exposto, em relação ao preço de referência a ser estabelecido na competição do Leilão, recomenda-se, primeiramente, a adoção da equação (11) para fins de classificação dos empreendimentos no produto "Potência". A partir dela, o fator de capacidade e α precisam também ser definidos.

No que diz respeito ao fator de capacidade, dada a incerteza da geração anual no futuro, recomenda-se que seja o mesmo valor para todos os agentes competidores. Com base nas análises de sensibilidade realizadas acima, observa-se que valores de fator de capacidade entre 50% e 100% praticamente não afetam a competitividade relativa entre as soluções de suprimento, o que favorece a adoção de um número que esteja contido nesta faixa de possibilidades. Adicionalmente, valores acima de 50% estão alinhados com o limite de 50% de inflexibilidade permitido na Portaria MME nº512/2018, para algumas soluções de suprimento. Como fundamentação para o valor do fator de capacidade, considerando o planejamento do sistema Roraima sob incerteza, assume-se por hipótese que o padrão de operação das usinas deverá ser proporcional à média do fator de carga previsto para o sistema elétrico do Estado de Roraima entre os anos de 2026 e 2028. De acordo com as informações de mercado repassadas pela distribuidora à EPE, este fator de carga² deverá ser cerca de 70%, valor que se propõe para o fator de capacidade a ser considerado na definição dos preços de referência, conforme destacado abaixo:

$$f_c = 0,7$$

No que tange ao fator α , considerando: (i) os dados apresentados e a assimetria das informações utilizadas como premissas básicas apontado pela EPE; (ii) o planejamento da expansão sob incerteza (renovação da contratação de suprimento com a Venezuela, interligação de Roraima ao SIN, dentre outros); (iii) o benefício de se ter geração local em sistemas de transmissão radiais, em caso de interligação ao SIN (necessidade apontada pelo ONS); e (iv) a necessidade de contratação de potência para suprimento ao sistema Roraima (que se pode traduzir em atratividade para participação dos agentes no referido leilão), **recomenda-se adotar a seguinte relação para o fator α :**

$$\alpha = 0,2 * f_c$$

Caso seja adotado o fator de capacidade de 70%, e a relação acima para α , então o fator α deverá ser igual a 0,14 na equação (11).

Entende-se que este valor é suficientemente atrativo para os possíveis competidores de gás natural ou renováveis no produto Potência, provendo soluções de suprimento adequadas para o suprimento do sistema, ao mesmo tempo em que estimula os empreendedores, especialmente nos cenários de competição acirrada, a equalizar os fatores de inflexibilidade e de custos variáveis (C_{comb} e $O\&M_{var}$) de maneira eficiente. Como

² O fator de carga do sistema pode ser definido como a razão entre a demanda média e a demanda máxima do sistema.



Empresa de Pesquisa Energética

INFORME TÉCNICO	No. EPE-DEE-IT-003/2019-r0
	Data: 22/01/2019
Proposta de formulação do Preço de Referência para o produto Potência Leilão para suprimento a Boa Vista e Localidades Conectadas	

referência, adotar um valor do fator α de $0,2 * f_c$ equivale a beneficiar o empreendimento flexível (versus o inflexível) em cerca de 8,5% (i.e.: considerando o valor do P_{ref} com α nulo como R\$ 1.000/MWh, teríamos o valor do P_{ref} com " $\alpha = 0,20 * f_c$ " de R\$ 1.085/MWh).

Por fim, destaca-se que o presente documento não avalia o Preço de Referência para o produto Energia, que deve seguir formulação distinta, previsto em sistemática.

INFORME TÉCNICO	No. EPE-DEE-IT-003/2019-r0
	Data: 22/01/2019
Proposta de formulação do Preço de Referência para o produto Potência Leilão para suprimento a Boa Vista e Localidades Conectadas	

ANEXO – Dados utilizados na simulação das características técnico-financeiras

Neste anexo, são disponibilizados os valores utilizados pela EPE, como referência para este estudo. Conforme destacado anteriormente, estes são valores referenciais estimados pela EPE, diante das melhores informações disponíveis para cada caso, considerando assimetria de informações existentes entre o mercado e a própria EPE. É importante destacar que, para este estudo que visa a subsidiar decisões para o preço de referência do produto "Potência", mesmo conhecendo-se possíveis suprimentos a partir de biomassa (e outras renováveis), biodiesel ou óleo combustível, considerou-se somente geração de energia elétrica a partir de gás natural e óleo diesel³.

Tabela 3 – Dados de projeto.

	Gás Natural		Diesel	
Custos de Investimento Total - CAPEX	2.500	R\$/kW	2.000	R\$/kW
O&M fixo	70	R\$/(kW.ano)	60	R\$/(kW.ano)
TUSD estimada	7	R\$/(kW.mês)	7	R\$/(kW.mês)
Prazo Contratual/Vida Útil	15	anos	7	anos
Prazo de Financiamento	12	anos	6	anos
Consumo Específico da UTE	8,4	MMBTU/MWh	250	litros/MWh
Preço do combustível	20/22 ⁴	US\$/MMBTU	3,40 ⁵	R\$/litro

³ Destaca-se que atualmente não há suprimento firme de gás natural no estado de Roraima, diferentemente do óleo diesel, combustível com alta liquidez de mercado. As informações aqui utilizadas neste caso, especialmente no que tange à logística de suprimento do combustível, foram estimadas a partir de conversas da EPE com os agentes de mercado.

⁴ Preço do gás natural a US\$ 20/MMBTU na usina e sem impostos (valor para níveis elevados de inflexibilidade, neste caso 50% - para inflex de 25% adotou-se cerca de 10% a maior, ou seja, US\$ 22/MMBTU). A taxa de câmbio utilizada foi de R\$ 3,70/US\$.

⁵ Preço ANP Diesel S10 Boa Vista/Roraima, em dezembro de 2018 + margem da distribuidora de combustível.