



de variáveis inteiras, transformando o modelo FPO AC em um problema de PNLIM. Apesar de existirem pacotes de otimização disponíveis no mercado que se propõem a resolver modelos de PNILM (ver Baron [2] e Knitro [3]), a combinação da convexidade intrínseca dos fluxos nos circuitos com um número representativo de variáveis inteiras, especialmente para problemas de mediando a grande porte, é ainda um desafio e um terreno a ser explorado.

As razões citadas acima e a crescente confiabilidade apresentada pelos pacotes de otimização de programação linear inteira motivaram o desenvolvimento de uma abordagem FPO AC modelado como PLIM. Nas seções seguintes, são apresentados dois modelos de programação matemática para o problema de FPO AC como um PLIM: o primeiro a partir da formulação em coordenadas polares e o segundo a partir da formulação em coordenadas retangulares.

## 2.0 - MODELO NÃO LINEAR

Existem diversas funções objetivo que podem ser combinadas com FPO, dependendo da análise a ser considerada. Neste trabalho será representada a função objetivo de mínimo despacho de potência ativa. O modelo geral de FPO AC é descrito matematicamente pelo seguinte conjunto de equações.

$$\text{Min } \sum_i c(i) P_g(i) \quad (1)$$

$$\text{s.a } P(k) = \sum_{m \in \Omega(k)} P_{km} \quad (1.a)$$

$$Q(k) = \sum_{m \in \Omega(k)} Q_{km} \quad (1.b)$$

$$P(k) = P_l(k) - \sum_{i \in G(k)} P_g(i) \quad (1.c)$$

$$Q(k) = Q_l(k) - \sum_{i \in G(k)} Q_g(i) \quad (1.d)$$

$$P_{\min}(k) \leq P(k) \leq P_{\max}(k) \quad (1.e)$$

$$Q_{\min}(k) \leq Q(k) \leq Q_{\max}(k) \quad (1.f)$$

$$|P_{km}| \leq P_{km,\max} \quad (1.g)$$

Onde:

i	índice de gerador
k	índice de barra
km	índice do circuito conectando a barra k à barra m
$\Omega(k)$	conjunto de circuitos conectados à barra k
G(k)	conjunto de geradores conectados à barra k
c(i)	custo de despacho de potência ativa do gerador i
P(k)	injeção de potência ativa na barra k
Q(k)	injeção de potência reativa na barra k
$P_l(k)$	carga ativa na barra k
$Q_l(k)$	carga reativa na barra k
$P_g(i)$	geração de potência ativa do gerador i
$Q_g(i)$	geração de potência reativa do gerador i
$P_{km}$	fluxo ativo no circuito conectando a barra k à barra m
$Q_{km}$	fluxo reativo no circuito conectando a barra k à barra m

### 2.1 Coordenadas Polares

As não linearidades do modelo são devidas principalmente aos fluxos de potência ativa e reativa nos circuitos. No modelo em coordenadas polares, os fluxos dependem das tensões nas barras e da diferença angular nas barras terminais dos circuitos. Eles são representados pelas seguintes equações.

$$P_{km} = g_{km} V^2(k) - g_{km} V(k) V(m) \cos(\theta_{km}) - b_{km} V(k) V(m) \sin(\theta_{km}) \quad (2)$$

$$Q_{km} = -(b_{km} + bs_{km}) V^2(k) + b_{km} V(k) V(m) \cos(\theta_{km}) - g_{km} V(k) V(m) \sin(\theta_{km}) \quad (3)$$

Onde:

$g_{km}$	condutância serie do circuito km, conectando a barra k à barra m (parâmetro conhecido)
$b_{km}$	susceptância serie do circuito km, conectando a barra k à barra m (parâmetro conhecido)
$bs_{km}$	susceptância shunt do circuito km, conectando a barra k à barra m (parâmetro conhecido)
V(k)	magnitude de tensão na barra k

$\theta_{km}$  diferença angular da barra k para a barra m

Adicionalmente à representação do fluxo nos circuitos, existem limites operacionais nas magnitudes de tensão nas barras e nas diferenças angulares nos circuitos.

$$V_{\min}(k) \leq V(k) \leq V_{\max}(k) \text{ e } |\theta_{km}| \leq \theta_{km,\max} \quad (4)$$

Nos fluxos nos circuitos representados em (2) e (3), pode-se reconhecer três termos não lineares, um como uma função quadrática da tensão na barra e dois envolvendo o produto da tensão nas barras terminais dos circuitos e o seno ou cosseno da diferença angular. Mais especificamente:

$$V^2(k), \quad V(k) V(m) \sin(\theta_{km}) \quad \text{e} \quad V(k) V(m) \cos(\theta_{km}) \quad (5)$$

## 2.2 Coordenadas Retangulares

Uma segunda representação do FPO é obtida representando os fluxos nos circuitos por coordenadas retangulares, ao invés de coordenadas polares. Esta abordagem é menos utilizada na literatura, mas tem a vantagem de desvincular o fluxo nos circuitos das funções trigonométricas seno e cosseno. Os fluxos nos circuitos são representados por:

$$P_{km} = g_{km} (w^2(k) + z^2(k)) - g_{km} (w(k) w(m) + z(k) z(m)) + b_{km} (w(k) z(m) - w(m) z(k)) \quad (6)$$

$$Q_{km} = -(b_{km} + bs_{km}) (w^2(k) + z^2(k)) + g_{km} (w(k) z(m) - w(m) z(k)) + b_{km} (w(k) w(m) + z(k) z(m)) \quad (7)$$

Onde:

$w(k)$  componente real da tensão complexa na barra k

$z(k)$  componente imaginária da tensão complexa na barra k

Adicionalmente à representação do fluxo nos circuitos, existem limites operacionais associadas às componentes real, imaginária e complexa das tensões nas barras.

$$w_{\min}(k) \leq w(k) \leq w_{\max}(k), \quad z_{\min}(k) \leq z(k) \leq z_{\max}(k) \quad \text{e} \quad E_{\min}(k) \leq (w^2(k) + z^2(k)) \leq E_{\max}(k) \quad (8)$$

Os termos não lineares dos fluxos de potência ativa e reativa nos circuitos estão presentes no quadrado das componentes real e imaginária da tensão nas barras, assim como nas funções bilineares resultantes dos produtos cruzados das componentes real e imaginária da tensão nas barras terminais dos circuitos. Mais especificamente:

$$w^2(k), \quad z^2(k), \quad w(k) w(m), \quad z(k) z(m), \quad w(k) z(m) \quad \text{e} \quad w(m) z(k) \quad (9)$$

## 3.0 - MODELO LINEAR INTEIRO MISTO

Os modelos lineares inteiros do FPO AC serão obtidos aplicando aproximações lineares e restrições de convexificação de McCormick (ver[4]) sobre as funções não lineares (5), para o modelo em coordenadas polares, e sobre as funções não lineares (9), para o modelo em coordenadas retangulares.

### 3.1 Modelo em Coordenadas Polares

Apresenta-se, na sequência, cada uma das linearizações utilizadas para a reformulação do modelo em coordenadas polares como um PLIM.

a. Quadrado da tensão nas barras:  $V^2(k)$

Devido aos níveis de tensão estarem em uma faixa de variação relativamente estreita (em torno da unidade) pode-se considerar que uma boa aproximação do quadrado da tensão é obtida através da expansão por série de Taylor, limitada no termo de primeira ordem, e ao redor do valor 1.

$$V^2(k) \approx 2 V(k) - 1 \quad (10)$$

b. Função trivariável em função do seno para  $V(k) V(m) \sin(\theta_{km})$

A primeira aproximação a ser considerada assume que as diferenças angulares nos circuitos não são representativas e, à semelhança dos modelos DC de FPO, o seno do ângulo pode ser aproximado pelo próprio ângulo. Desta forma, a função trivariável  $V(k) V(m) \sin(\theta_{km})$  se transforma na seguinte função trilinear.

$$V(k) V(m) \sin(\theta_{km}) \approx V(k) V(m) \theta_{km} \quad (11)$$

O lado direito desta equação pode ser desdobrado em duas funções bilineares:

$$V_{km} = V(k) V(m) \quad \text{e} \quad \varphi_{km} = V_{km} \theta_{km} \quad (12)$$

Cada uma destas funções bilineares podem, por sua vez, ser aproximadas pela envoltória convexa definida pelas desigualdades de convexificação de McCormick. As desigualdades de McCormick que definem a envoltória convexa de uma função bilinear  $z = x y$ , definida pelo produto das variáveis  $x$  e  $y$ , são representadas por:

$$z \geq x y_{\max} + x_{\max} y - x_{\max} y_{\max} \quad (13.a)$$

$$z \geq x y_{\min} + x_{\min} y - x_{\min} y_{\min} \quad (13.b)$$

$$z \leq x y_{\max} + x_{\min} y - x_{\min} y_{\max} \quad (13.c)$$

$$z \leq x y_{\min} + x_{\max} y - x_{\max} y_{\min} \quad (13.d)$$

É importante observar que a precisão na definição da envoltória convexa determinada pelas restrições de desigualdade de McCormick esta diretamente associada aos limites mínimo e máximo das variáveis  $x$  e  $y$ .

Para as funções bilineares  $V_{km} = V(k) V(m)$  e  $\varphi_{km} = V_{km} \theta_{km}$ , os limites de cada variável são determinados a partir dos limites mínimo e máximo do módulo de tensão e da diferença angular nos circuitos.

c. Função trivariável em função do cosseno:  $V(k) V(m) \cos(\theta_{km})$

A primeira abordagem para linearizar a função trivariável  $V(k) V(m) \cos(\theta_{km})$  é obter uma aproximação linear do cosseno. A linearização da função cosseno pode ser obtida discretizando o domínio de definição do ângulo e definindo uma função linear por partes nos pontos extremos de cada segmentação, utilizando restrições tipo SOS2 (ver [5]). Estas restrições tem a vantagem de serem resolvidas de forma muito eficiente pelos pacotes de otimização linear inteira e a desvantagem de associar o aumento de precisão diretamente com o aumento do número de variáveis inteiras. Uma segunda abordagem é representar o cosseno pelas desigualdades lineares definidas pelas retas secantes, definidas nos pontos extremos do intervalo discretizado do ângulo. Neste caso se assume que elas representam uma boa aproximação do cosseno quando as diferenças angulares se encontram próximas de zero, o que coincide com a minimização das perdas ativas na rede de transmissão.

Uma vez linearizada a função cosseno, podemos considerar que a função trivariável  $V(k) V(m) \cos(\theta_{km})$  pode ser representada pela seguinte função trilinear.

$$V(k) V(m) \cos(\theta_{km}) \approx V(k) V(m) \zeta_{km} \quad (14)$$

onde  $\zeta_{km}$  denota a aproximação de  $\cos(\theta_{km})$ .

Novamente, temos um produto trilinear que pode ser aproximado pelas restrições de convexificação de McCormick de forma recursiva, aplicadas, em um primeiro passo, ao produto bilinear  $V_{km} = V(k) V(m)$  e, em um segundo passo, ao produto  $\psi_{km} = V_{km} \zeta_{km}$ . Os limites mínimo e máximo para cada variável são determinados a partir dos limites mínimo e máximo do módulo de tensão e do cosseno, no intervalo de diferença angular nos circuitos.

### 3.2 Modelo em Coordenadas Retangulares

No modelo em coordenadas retangulares as não linearidades estão presentes nos seguintes conjuntos de funções.

a. Funções quadráticas:  $w^2(k)$  e  $z^2(k)$

Estas funções quadráticas são um tipo especial de funções bilineares e, conseqüentemente, podem ser aproximadas pela envoltória convexa definida pelas desigualdades de McCormick (equações 13.a-d), onde seus limites (mínimo e máximo) são determinados pelos limites mínimo e máximo das componentes real e imaginária das tensões nas barras.

b. Funções bilineares:  $w(k) w(m)$ ,  $z(k) z(m)$ ,  $w(k) z(m)$  e  $w(m) z(k)$

Da mesma forma que nos casos anteriores, podemos considerar que cada produto bilinear, resultado do produto cruzado das componentes reais e imaginária da tensão, podem ser aproximados pelas restrições de convexificação de McCormick (13.a-d). Os limites mínimo e máximo de cada variável correspondem aos limites mínimo e máximo das componentes real e imaginária da tensão.

### 3.3 Restrições Disjuntivas na Convexificação de McCormick

Como mencionado anteriormente, um ponto relevante na definição da envoltória convexa das restrições de desigualdade de McCormick é a determinação de limites mínimo e máximo precisos para cada uma das variáveis. Uma forma de obter maior precisão na definição destas restrições é discretizar os intervalos de definição das variáveis, definindo restrições disjuntivas sobre os conjuntos de desigualdades.

As restrições disjuntivas introduzem variáveis discretas na formulação do problema, de forma a garantir que somente uma das restrições estará efetivamente ativa.

Considerando que o intervalo de definição da variável  $x$  é discretizado em  $n$  segmentos ( $x_{\min,n}, x_{\max,n}$ ), o conjunto de restrições de convexificação de McCormick (13.a-d) passará a ser substituído pelo seguinte conjunto de restrições disjuntivas.

$$z + \text{BigM}(1 - D_n) \geq x y_{\max} + x_{\max,n} y - x_{\max,n} y_{\max} \quad (15.a)$$

$$z + \text{BigM}(1 - D_n) \geq x y_{\min} + x_{\min,n} y - x_{\min,n} y_{\min} \quad (15.b)$$

$$z - \text{BigM}(1 - D_n) \leq x y_{\max} + x_{\min,n} y - x_{\min,n} y_{\max} \quad (15.c)$$

$$z - \text{BigM}(1 - D_n) \leq x y_{\min} + x_{\max,n} y - x_{\max,n} y_{\min} \quad (15.d)$$

$$\sum_n D_n = 1 \quad (15.e)$$

$$D_n \in \{0,1\} \quad (15.f)$$

Onde a constante *BigM* deve ser definida de forma a garantir que as restrições associadas às segmentações não ativas estejam efetivamente relaxadas.

## 4.0 - ESTUDOS DE CASO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Nesta seção, são apresentados resultados numéricos para pequenas variações de cada modelo de PLIM, utilizando o modelo OptFlow como base de comparação. Para o modelo em coordenadas polares serão apresentadas três abordagens diferentes, a primeira considerando a aproximação do cosseno por restrições tipo SOS2, a segunda representando um problema puramente linear onde o cosseno é aproximado por secantes definidas nos pontos extremos do intervalo de diferença angular discretizado, e a terceira adicionando restrições disjuntivas nas restrições de convexificação de McCormick. No modelo em coordenadas retangulares, três representações serão também consideradas, sendo a primeira a formulação básica das restrições de convexificação de McCormick, a segunda introduzindo restrições disjuntivas sobre estas desigualdades e a terceira restringindo o intervalo de variação do ângulo em um entorno da solução do modelo OptFlow. Na Tabela 1 se classificam as características de cada um destes modelos. Para resolver os modelos de PLIM se utilizou o pacote de otimização linear inteira Xpress [6].

Tabela 1 – Modelos de PLIM do FPO

Descrição	Coord. Polares	Coord. Retang.	Cosseno SOS2	Cosseno PL	McCormick Disjuntivo	Intervalo ângulo [-15,15]	Intervalo ângulo Solução NL
CP-1	✓		✓			✓	
CP-2	✓			✓		✓	
CP-3	✓			✓	✓	✓	
CR-1		✓				✓	
CR-2		✓			✓	✓	
CR-3		✓			✓		✓

Para cada um destes modelos serão apresentadas soluções para os seguintes sistemas elétricos.

Tabela 2 – Dimensões Sistemas Elétricos

Sistema	Número barras	Número circuitos	Número geradores
3 Barras	3	3	1
IEEE-24 Barras	24	38	33
Costa Rica	47	58	52

### 4.1 Sistema de 3 barras

A tabela 3 apresenta os resultados de cada um dos modelos de FPO AC para o sistema de 3 barras.

Tabela 3 – Resultados 3 barras

	OptFlow	CP-1	CP-2	CP-3	CR-1	CR-2	CR-3
Função objetivo	307.43	307.06	307.05	307.05	307.20	307.20	307.22
CPU (s)	0.22	0.05	0.03	0.06	0.04	0.05	0.07
Variável 0-1	-	99	-	12	-	14	14
Perdas (%)	2.5	2.4	2.4	2.6	2.4	2.4	2.4
Desvio $\theta_{km}$ ( $^{\circ}$ ) OptFlow	-	0.32	0.24	0.17	0.21	0.21	0.19
Desvio $V(k)$ (pu) OptFlow	-	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

Ao comparar as soluções dos modelos de programação linear inteira mista com o modelo não linear, pode-se observar que: a) as soluções de PLIM mantêm os custos de despacho e perdas ativas da solução não linear e b) a linearização do cosseno por secantes é uma boa aproximação, que leva praticamente ao mesmo resultado da representação do cosseno por restrições tipo SOS2. Esta última observação permite pensar que pode ser uma boa estratégia aproximar o cosseno por programação contínua, reservando a discretização das variáveis para as restrições disjuntivas de McCormick. Por último se observa também que as soluções dos modelos em coordenadas polares e retangulares são próximas, o que é esperado quando é possível determinar aproximações precisas dos modelos não lineares por PLIM.

#### 4.2 Sistema IEEE-24 barras

Na tabela 4 se resumem os resultados dos modelos de FPO AC para o sistema IEEE-24 barras.

Tabela 4 – Resultados IEEE-24 barras

	OptFlow	CP-1	CP-2	CP-3	CR-1	CR-2	CR-3
Função objetivo	1656.60	1656.39	1656.39	1656.42	1656.38	1656.38	1657.46
CPU (s)	0.3	1.5	0.3	4.3	0.22	4.0	120
Variável 0-1	-	1254	-	124	-	248	248
Perdas (%)	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.4
Desvio $\theta_{km}$ ( $^{\circ}$ ) OptFlow	-	1.73	1.73	1.07	6.7	5.9	0.58
Desvio $V(k)$ (pu) OptFlow	-	0.06	0.06	0.04	0.19	0.09	0.03

No sistema IEEE-24 barras não se observam diferenças significativas nos valores das funções objetivo e no montante de perdas, se comparamos os resultados dos modelos de PLIM com os resultados do modelo não linear OptFlow. Ao comparar os desvios das soluções dos modelos de PLIM em relação à solução do modelo não linear, a maior precisão para os modelos em coordenadas polares é obtida por aquele que combina a aproximação contínua do cosseno com as restrições disjuntivas das desigualdades de McCormick. Para o modelo em coordenadas retangulares, uma aproximação mais precisa somente foi alcançada quando se realiza um ajuste do intervalo de variação do ângulo em um entorno da solução não linear, o que, apesar de atrativo do ponto de vista matemático, pode não ser aplicável na prática.

#### 4.3 Sistema da Costa Rica

Por último a tabela 5 apresenta os resultados dos diferentes modelos de FPO AC para o sistema elétrico da Costa Rica.

Tabela 5 – Resultados sistema Costa Rica

	OptFlow	CP-1	CP-2	CP-3	CR-1	CR-2	CR-3
Função objetivo	23105.12	23103	23103	23107.7	23103	23103	23103
CPU (s)	0.28	0.44	0.29	108	0.33	11.6	300
Variável 0-1	-	1914	-	445?	-	420	420
Perdas (%)	1.06	1.06	1.06	1.07	1.06	1.06	1.06
Desvio $\theta_{km}$ ( $^{\circ}$ ) OptFlow	-	1.68	1.57	0.78	1.86	2.11	0.49
Desvio $V(k)$ (pu) OptFlow	-	0.06	0.06	0.05	0.12	0.07	0.05

O sistema da Costa Rica, seguindo o mesmo comportamento do sistema IEEE-24 barras, a solução que apresenta melhor desempenho em comparação com a solução não linear, corresponde ao último modelo em coordenadas polares, no qual o cosseno é representado por aproximações lineares contínuas e o intervalo de variação da diferença angular é discretizado para representar as desigualdades de McCormick em forma disjuntiva.

## 5.0 - CONCLUSÕES

As soluções obtidas nos estudos de casos indicam que o método mais robusto e que apresenta menor desvio da solução em relação à solução não linear corresponde ao modelo em coordenadas polares, o qual combina a representação contínua do cosseno com a aplicação de restrições disjuntivas sobre o conjunto de desigualdades de McCormick. A possibilidade de modelar o cosseno por programação contínua é interessante porque abre caminho para aumentar a discretização das restrições disjuntivas e representar os produtos bilineares com maior precisão. A evidência que as restrições disjuntivas apresentam uma melhor aproximação das desigualdades de McCormick se deve à sensibilidade da representação da função seno (ou da correspondente componente imaginária da tensão em coordenadas retangulares) quando o ângulo se encontra próximo de zero. Dividir o intervalo de definição de diferença angular nos segmentos positivos e negativos se apresentou como uma estratégia numericamente interessante.

Um ponto relevante nestas representações é o número de desigualdades de McCormick representadas. Enquanto no modelo em coordenadas polares as desigualdades de McCormick correspondem a  $(4 \times 3 \times \text{número de circuitos})$  restrições, no modelo em coordenadas retangulares elas totalizam  $(4 \times (2 \times \text{número de barras} + 4 \times \text{número de circuitos}))$  restrições. Esta diferença, favorável ao modelo em coordenadas polares, permite aumentar o número de discretizações de suas restrições disjuntivas e com isso obter uma maior precisão na solução.

Podemos resumir as conclusões acima nos seguintes pontos.

- A representação do cosseno por secantes combinada com a representação de restrições disjuntivas para as desigualdades de McCormick se apresentou como uma alternativa viável;
- A segmentação do intervalo de definição das variáveis das desigualdades de convexificação de McCormick leva a uma maior precisão da solução, especialmente quando os produtos das variáveis assumem valores próximos de zero;
- O menor número de desigualdades de McCormick do modelo em coordenadas polares favorece a representação das restrições disjuntivas de McCormick com maior precisão.

## 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PSR, OptFlow - <http://www.psr-inc.com.br/>.
- [2] Baron (Branch and Reduce Optimization Navigator) – <http://www.aimms.com/aimms/solvers/baron>.
- [3] Knitro – <http://www.ziena.com/knitro.htm>. Knitro – <http://www.ziena.com/knitro.htm>.
- [4] G. McCormick – Computability of global solutions to factorable nonconvex programs: Part I – Convex underestimating problems. Mathematical Programming 10 (1976) 146-175. G. McCormick – Computability of global solutions to factorable nonconvex programs: Part I – Convex underestimating problems. Mathematical Programming 10 (1976) 146-175.
- [5] Beale, E. M. L., Tomlin, J. A. – Special Facilities in a General Mathematical Programming System for Non-Convex Problems using Ordered Sets of Variables, in Proceedings of the Fifth International Conference of Operational Research, London, 1969. Beale, E. M. L., Tomlin, J. A. – Special Facilities in a General Mathematical Programming System for Non-Convex Problems using Ordered Sets of Variables, in Proceedings of the Fifth International Conference of Operational Research, London, 1969.
- [6] <http://www.fico.com/en/Products/DMTools/Pages/FICO-Xpress-Optimization-Suite.aspx>.

## 7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

**Maria de Luján Latorre** é graduada em matemática e possui mestrado e doutorado em engenharia de sistemas e computação pela UFRJ. Ingressou na PSR em 2001 onde é responsável pelo desenvolvimento de metodologias e modelos computacionais na área de despacho hidrotérmico estocástico e problemas de fluxo de potência ótimo.

**Mario Veiga Pereira** é presidente da PSR. Ele é engenheiro eletricista, com mestrado e doutorado em pesquisa operacional. Nos últimos anos ele vem atuando em três áreas principais: regulação setorial; avaliação de ativos e desenvolvimento de ferramentas de apoio à decisão. Ele recebeu a medalha Rio Branco, por sua contribuição ao setor elétrico do país, e é membro eleito da Academia Brasileira de Ciências.

**Sérgio Granville** tem graduação e MSc em matemática e Ph.D. em pesquisa operacional pela universidade de Stanford. Ingressou na PSR em 2000, onde é responsável pela área de gerenciamento de riscos em mercados de energia elétrica. Ele também tem participado em estudos de avaliação econômica / financeira de empreendimentos de geração/transmissão e de estratégias de contratação tanto no Brasil como no exterior.

**Rafael de Sá Ferreira** é graduado em engenharia elétrica pela UFMG e tem mestrado, também em engenharia elétrica, pela UFRJ. Depois de experiências com a equipe de planejamento da CEMIG (Belo Horizonte, Brasil) e com o grupo de consultoria em redes da Siemens (Erlangen, Alemanha), ingressou na PSR em 2008. Ele é atualmente gerente de projetos na PSR, onde está envolvido com serviços de consultoria e desenvolvimento de software, com enfoque nos segmentos de transmissão e distribuição de energia elétrica.

**André Dias Pinto** é graduado em engenharia elétrica, possui mestrado em planejamento energético e MBA em finanças corporativas. Ingressou na PSR em 2003, onde tem participado no desenvolvimento de diversos modelos aplicados ao setor elétrico como planejamento da operação de curto prazo, modelo não linear para cálculo de energia firme de usinas hidroelétricas, cálculo da probabilidade de decretar racionamento (RISK), cálculo de potência firme de usinas hidrelétricas e termelétricas, modelo para acoplar estudos de longo/médio prazo em uma sequência de estudos de curto prazo com etapas horárias, gerenciamento e simulação de bacias hidrográficas, modelo de otimização de contratação de combustíveis, modelo de otimização para a elaboração de estudos de inventário hidroelétricos, entre outras aplicações.