



**XXI SNPTTE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0
23 a 26 de Outubro de 2011
Florianópolis - SC

GRUPO – XIV

**GRUPO DE ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GESTÃO DA
TECNOLOGIA, DA INOVAÇÃO E DA EDUCAÇÃO – GET**

PROSPECÇÃO E HIERARQUIZAÇÃO DE INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS APLICADAS A LINHAS DE TRANSMISSÃO.

Sérgio de O. Frontin *
UnB

Vinícius B. Rego
UnB

Leonardo B. Murça
UnB

José Alexander Araújo
UnB

Gliender P. Mendonça
TAESA S.A.

Alexandre M. Abreu
UnB

Ricardo Ramos Fragelli
UnB

Arnoldo R. Saavedra
Consultor

RESUMO

Este informe Técnico apresenta, de forma hierarquizada, uma consolidação dos principais temas de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) na área de Linhas de Transmissão (LT's). O objetivo é fornecer subsídios às empresas, órgãos governamentais, centros de pesquisa e universidades para a seleção de temas promissores de P&D neste setor. Para tanto, foi desenvolvida uma metodologia de prospecção e hierarquização de inovações tecnológicas, apresentada neste IT, que indicou 15 temas prioritários no desenvolvimento de pesquisas para LT's.

PALAVRAS-CHAVE

Hierarquização, Inovação, Linha de Transmissão, Pesquisa & Desenvolvimento, Prospecção.

1.0 - INTRODUÇÃO

O Programa de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) menciona, no contexto do tema Planejamento de Sistemas de Energia Elétrica, que a rede básica, com vida média na faixa de 20 a 30 anos de serviço, em pouco tempo apresentará inevitável degradação. Por este motivo, vem sendo enfatizada a importância do desenvolvimento de tecnologias que permitam aumentar a capacidade de transporte e a confiabilidade.

Com este objetivo foi realizada a pesquisa "Prospecção e Hierarquização de Inovações Tecnológicas Aplicadas a Linhas de Transmissão" em parceria da Transmissora Aliança de Energia Elétrica (TAESA), com a Universidade de Brasília (UnB). Este projeto intitulado de INOVA-LT foi, primordialmente, conduzido em três etapas. Na primeira delas, foi realizada a contextualização do tema proposto a partir da análise dos diversos estudos e atividades necessários para a implantação de uma linha de transmissão, da análise do sistema de transmissão atual, da expansão planejada e dos indicadores de desempenho das linhas em operação. A segunda etapa refere-se à apresentação dos resultados das prospecções efetuadas para a identificação e análise dos temas que poderiam conduzir a inovações tecnológicas. Já a terceira refere-se ao estabelecimento e aplicação de metodologia de hierarquização aos temas selecionados, considerando as dimensões: aumento da capacidade de transporte, aumento da confiabilidade, redução do impacto ambiental, redução dos custos e expansão do sistema.

2.0 - IMPLANTAÇÃO, PLANEJAMENTO, CUSTOS E DESEMPENHO DAS LINHAS DE TRANSMISSÃO NO BRASIL

A implantação de uma linha de transmissão se inicia pela identificação de sua necessidade, com vistas à expansão do sistema elétrico ou necessidade de reforço das instalações existentes até a sua efetiva operação. De maneira global, estas etapas podem ser nomeadas da seguinte forma: i) estudos para a expansão do sistema de transmissão. ii) estudos de ampliações e reforços do sistema existente. iii) realização de leilões de linhas de transmissão. iv) Contrato de concessão do serviço público de transmissão de energia. v) elaboração do projeto básico para atendimento dos requisitos do edital. vi) construção e comissionamento. vii) operação. viii) remuneração do ativo de transmissão. ix) manutenção.

(*) Campus Universitário Darcy Ribeiro, Bloco SG-09, Engenharia Mecânica—Universidade de Brasília. Asa Norte. Brasília/DF – Brasil -- CEP: 70.910-900. Tel: (+55 61) 3107-1149/1151. E-mail: sergiofrontin@hotmail.com

O planejamento da expansão do Sistema Interligado Nacional (SIN) consiste em se definir novas instalações de geração e transmissão, necessárias para se atender ao crescimento dos requisitos do mercado, segundo critérios de garantia de suprimento pré-estabelecidos, de forma ambientalmente sustentável e minimizando os custos totais esperados de investimento, inclusive socioambientais, e de operação

A identificação das necessidades de transmissão da Rede Básica é determinada pela EPE (Programa de Expansão da Transmissão – PET – e Plano Decenal) e pelo ONS (Plano de Ampliações e Reforços – PAR). Com base nessa identificação, consolidada pelo Ministério de Minas e Energia (MME), a ANEEL prepara as licitações das novas instalações de transmissão. O PET, elaborado pela EPE após estudos de planejamento de longo prazo, e o PAR, elaborado pelo ONS após estudos das necessidades de curto prazo da rede elétrica, indicam as linhas de transmissão e subestações necessárias para a adequada prestação dos serviços de transmissão de energia elétrica pela Rede Básica (RB) do Sistema Interligado Nacional (SIN).

O PAR e o PET são consolidados sob condução do MME, o que resulta num conjunto de empreendimentos de transmissão necessário para o atendimento da geração e da carga do SIN, e para o adequado desempenho do sistema no período considerado.

No que concerne ao setor elétrico, os principais papéis na expansão do sistema de energia elétrica pertencem aos agentes de geração e transmissão responsáveis pelos investimentos e aos agentes de distribuição responsáveis pela contratação da parcela de energia, com antecedência necessária à implantação dos novos empreendimentos.

Para o setor elétrico, o planejamento decenal tem, portanto, a função de orientar e subsidiar a realização dos futuros leilões de compra de energia; de novos empreendimentos de geração e de transmissão; a definição de quais estudos de expansão da transmissão devem ser priorizados, estudos de viabilidade técnico-econômica e socioambiental de novas usinas geradoras e, ainda, quais estudos de inventários deverão ser feitos ou atualizados.

A Tabela 1 apresenta uma estimativa da evolução física (em km) dos sistemas de transmissão e a Figura 1 uma estimativa de investimento total em linhas de transmissão por nível de tensão, ambas no período 2010-2019

Tabela 1 – Estimativa da evolução física (km) dos sistemas de transmissão (Plano Decenal 2019)

	Tensão						TOTAL
	750 kV	± 600 kV	500 kV	440 kV	345 kV	230 kV	
Evolução 2010-2019	–	9.350	16.146	17	538	10.746	36.797
Estimativa 2019	2.683	10.962	49.653	6.808	9.932	52.326	132.364

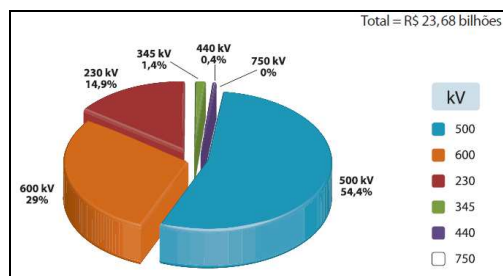


Figura 1 – Estimativa de Investimentos total em Linhas de Transmissão por nível de tensão no período 2010 – 2019

O Plano Decenal 2019 aponta uma evolução no período de 2010 a 2019 para a Rede Básica (sem as linhas de 138 kV) de 36.797 km. Nesta evolução, o Plano aponta que as linhas de 500 kV continuam com crescimento importante. Neste período, deve enfatizar que, além da inclusão do sistema de Corrente Contínua do Rio Madeira em 600 kV atualmente em construção, foi adicionado à alternativa de um possível sistema de Corrente Contínua para a Usina de Belo Monte com extensão total de 4.600 km. Considerando o Sistema de Itaipu, a extensão total das linhas de CC estimada para 2019 é de 10.962 km.

Analisando o desempenho das linhas de transmissão (ver Figura 2) entre os anos de 2008 e 2009 (ano em que se deu início a pesquisa apresentada neste IT), as descargas atmosféricas foram apontadas pelo ONS como as causas principais de desligamento forçado das linhas de transmissão, o que indica a relevância de investigação de medidas que possam reduzir a frequência e duração deste tipo de desligamento, seja mediante maior blindagem e isolamento dos espaçamentos elétricos, seja mediante religamentos com alta probabilidade de sucesso etc. A

segunda maior causa de desligamentos forçados refere-se a queimadas próximas às linhas. A partir os meses de julho, o efeito das queimadas começa a aumentar com o máximo ocorrendo em outubro, tendo em vista principalmente o período de colheita em diversas regiões do Brasil. Isto indica a necessidade de um trabalho de conscientização dos proprietários rurais, a fim de reduzir o número de ocorrências. A investigação de métodos de detecção e informação dos pontos críticos ao longo das linhas é importante para a aplicação de medidas preventivas.

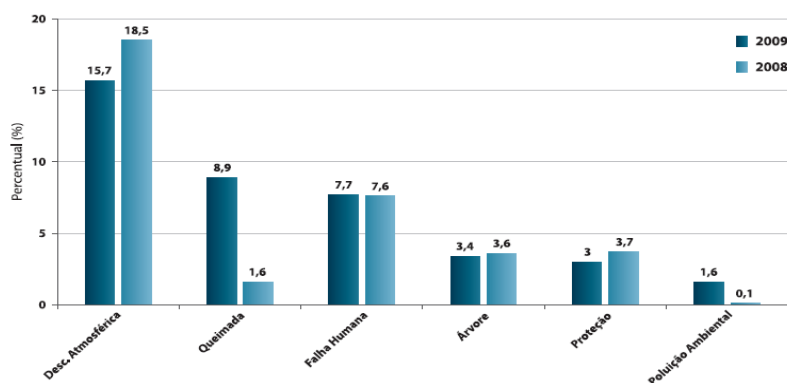


Figura 2 –Causas das perturbações em % no ano de 2008 e 1º semestre de 2009

3.0 - PROSPECÇÕES TECNOLÓGICAS REALIZADAS

A segunda etapa desta pesquisa foi referente à prospecção dos temas mais promissores e considerou as seguintes fontes de pesquisa em âmbito nacional: Programa de P&D da ANEEL; Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES); Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI) e Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica (SNPTEE). Para obter parâmetros comparativos com o cenário internacional, foram consideradas também as fontes *Institute of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE); *Conseil International des Grands Réseaux Electriques* (CIGRÉ) e publicações científicas do banco de dados *Web of Science* (disponível na internet).

Além da identificação e análise dos temas mais promissores no campo de linhas de transmissão, foram levantados outros aspectos considerados relevantes para a pesquisa, como por exemplo: investimentos realizados nos projetos de P&D, as instituições proponentes e executoras e a quantidade de trabalhos por instituição e por país. Devido à grande abrangência do tema Linhas de Transmissão, o trabalho de prospecção foi dividido em oito áreas: i) Estudos e Projetos ii) Recapacitação iii) Estruturas iv) Condutores v) Isoladores vi) Manutenção vii) Monitoramento viii) Meio Ambiente. O tema Estudos e Projetos foi ainda subdividido nos temas a) Estudos Integrados e Confiabilidade b) Efeitos Eletrostáticos e Eletromagnéticos c) Desempenho.

Foram analisados 533 informes relacionados ao tema de Linhas de Transmissão, sendo 117 trabalhos publicados no SNPTEE (2001-2009), 136 artigos publicados nas bienais do CIGRÉ (1998-2008), 82 artigos da base de dados do IEEE (sendo 72 entre os anos 2006 e 2009). Foi observado que a maior parte dos trabalhos ficou concentrado nas áreas de Estudos e Projetos, Monitoramento e Condutores, ficando os outros temas com uma distribuição praticamente igualitária em número de trabalhos (ver Tabela 2).

3.1. Teses acadêmicas analisadas (CAPES)

Foi analisado um total de 83 teses registradas entre os anos de 1999 e 2008 no banco de dados da CAPES, entre mestrados e doutorados. Dentre estas teses, a maioria concentrou-se na área de Estudos e Projetos, com 27 teses, Estruturas com 13 teses e Condutores e Meio Ambiente com 11 teses cada. Entre as instituições que mais se destacam na produção de trabalhos acadêmicos está a Universidade de Pernambuco com 15% das teses, seguida das Universidades de Minas Gerais e Rio de Janeiro

3.2. Patentes analisadas (INPI)

Uma pesquisa no banco de dados do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) não revelou uma produção nacional muito forte no campo de patentes. Foram encontradas apenas 13 patentes no período de 2000 a 2008. Destaques para as áreas de Manutenção e Monitoramento com cinco patentes cada uma.

Tabela 2– Número de documentos prospectados referentes a LT's por fontes de pesquisa.

	CAPES	P&D - ANEEL	SNPTEE	CIGRÉ	IEEE	INPI	Total por área
Estruturas	13	4	15	19	2	0	53
Isoladores	10	3	5	9	27	1	55
Estudos e Projetos	27	25	29	23	17	2	123
Recapacitação	2	5	12	25	6	0	50
Condutores	11	6	25	12	8	0	62
Manutenção	2	8	9	17	9	5	50
Monitoramento	7	35	14	27	10	5	98
Meio Ambiente	11	16	8	4	3	0	42
Total por fonte	83	102	117	136	82	13	533

3.3. Informes Técnicos publicados no SNPTEE

Com base nos informes publicados no SNPTEE, as áreas que mais se mostraram em evidência foram: Estudos e Projetos e Condutores, que somam 54 trabalhos, o que representa mais de 40% dos trabalhos publicados. O Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) e Furnas Centrais Elétricas S.A. foram as entidades que apresentaram maior número de informes. A Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF), Centrais Elétricas do Norte do Brasil (Eletronorte), COPEL Geração e Transmissão S.A. e o Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC) também tiveram importante participação no SNPTEE.

3.4. Trabalhos publicados no CIGRÉ

O CIGRÉ tem dado mais atenção aos temas Monitoramento e Recapacitação, ficando Estudos e Projetos em terceira posição com relação ao número de trabalhos publicados. Juntas, estas três áreas representam 55% dos trabalhos publicados pelo CIGRÉ em suas Bienais desde 1998.

3.5. Trabalhos publicados IEEE

A base de dados do IEEE aponta para áreas que se preocupam com a natureza elétrica da linha de transmissão. Problemas envolvendo isoladores foi um dos temas mais discutidos entre os anos de 2006 e 2009, seguido pelo tema Estudos e pelo tema Projetos e Monitoramento.

3.6. Programa de P&D da ANEEL

No período de 2000 a 2007, foram analisados 102 projetos no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) da ANEEL relacionados diretamente com o tema Linhas de Transmissão. Os projetos foram apresentados por um total de 31 empresas proponentes e 51 empresas/entidades executoras. Os investimentos totais no período foram de R\$ 58.509.065,25. O destaque é para assuntos relativos a Monitoramento, Estudos e Projetos e Meio Ambiente que, juntas, levam cerca de 74%% do investimento total.

Nota-se da Figura 3 que, após o ano de 2001, acontece um “boom” de investimentos em P&D na área de linhas de transmissão atingindo um auge no ano de 2005. Porém, a partir deste ano, os investimentos se reduziram. Este movimento acompanha não somente os valores em investimento, mas também o número de pesquisas.

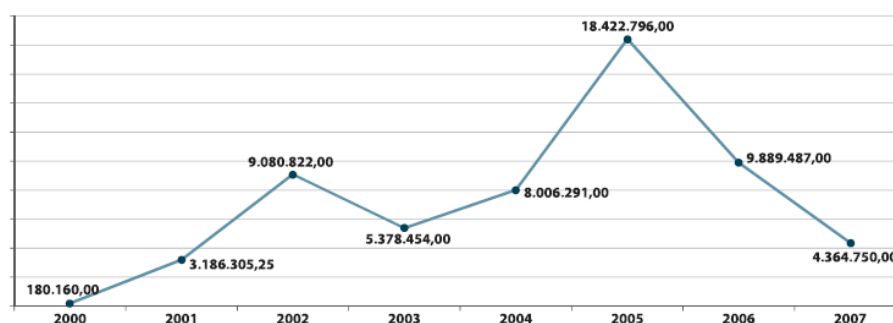


Figura 3 – Evolução dos Investimentos em R\$ em P&D no Brasil relacionados a LT's (Fonte: P&D ANEEL).

No que tange às empresas proponentes, a Eletronorte destacou-se bastante com relação às demais, apresentando 22 projetos dentre os 102 analisados. O Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC) e a Universidade do Pará (UFPA) demonstraram ser grandes pólos de execução de projetos de P&D com 12 e 6 projetos, respectivamente. O CEPEL e o CPqD também demonstraram muito interesse no assunto.

3.7. Seleção dos temas mais promissores com base nas prospecções

Foram selecionados 98 temas mais promissores em termos de desenvolvimento de projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D). Espera-se que os investimentos em P&D nos temas apontados possam trazer benefícios para redução dos custos decorrentes das diversas atividades visando à implantação de uma linha de transmissão, melhoria do desempenho com consequente redução das saídas das linhas, redução dos impactos ambientais e indicação de novos processos e tecnologias que possam ser utilizados para aumentar a capacidade das linhas existentes e aplicados na expansão do Sistema Elétrico.

Como resultado das prospecções realizadas foram elaborados relatórios para cada uma das áreas estudadas dentro do tema Linhas de Transmissão. Esses relatórios continham os temas mais abordados e relevantes dentro de cada área e foram selecionados com base nos documentos analisados na etapa de prospecção. Cada relatório parcial foi então enviado a um especialista com alto grau de conhecimento no tema para que fosse dado um parecer. A Figura 4 apresenta um diagrama das etapas da fase de prospecção.



Figura 4 – Diagrama da fase de prospecção.

Após a fase inicial de prospecção, que durou seis meses, foi realizado um seminário com especialistas da área de LT's. Este seminário teve por objetivo apresentar os resultados das prospecções realizadas e iniciar a fase de hierarquização conforme descrita a seguir.

4.0 - METODOLOGIA DE HIERARQUIZAÇÃO E SELEÇÃO DOS TEMAS PROMISSORES

Identificados os temas mais promissores a partir de prospecções bibliográficas realizadas nas fontes de informação referentes a linhas de transmissão, tornou-se necessário analisar as metodologias que permitissem a sua hierarquização. Neste sentido, foi realizada uma pesquisa sobre as principais metodologias de hierarquização disponíveis na literatura. Dentre as alternativas identificadas, destacaram-se Análise Custo Benefício, Análise de Regressão, Análise Multicritério, Levantamento Documental, Metodologia Delphi, SWOT, Construção de Cenário, Grupo Focal, Survey, Modelos Computacionais de Equilíbrio, Benchmarking, Roadmap, entre outros.

Após a análise destas opções, foi escolhida a metodologia Delphi que pode ser utilizada para se obter consenso de opiniões sobre o objeto que se está investigando. Baseia-se na aplicação de questionários, durante sucessivas rodadas, a um grupo de especialistas. A cada rodada, os participantes recebem feedback sobre os resultados da rodada anterior, os quais são submetidos a tratamento estatístico, ou seja, uma abordagem quantitativa dos dados.

Este método pode variar em decorrência de sua execução. O convencional é quando o especialista recebe o questionário impresso e, depois de respondido, devolve-o para o pesquisador. O Delphi Conference é realizado com computadores interligados em rede e os especialistas se reúnem ao mesmo tempo para responderem às perguntas e, por último, pode-se utilizar o Delphi eletrônico onde os questionários são enviados via internet.

No caso presente, foram utilizadas duas rodadas de consulta aos especialistas (ver Figura 5). Uma primeira rodada foi realizada durante o seminário realizado, apresentando para os participantes um questionário com os temas

selecionados previamente. Após a análise e consolidação das respostas, foi realizada via internet uma segunda rodada de consulta aos especialistas inscritos no seminário.

A partir dos resultados da segunda rodada elaborou-se uma metodologia de análise da sensibilidade dos resultados e a partir desta análise foram extraídos os cinco temas mais relevantes apontados pelos especialistas.

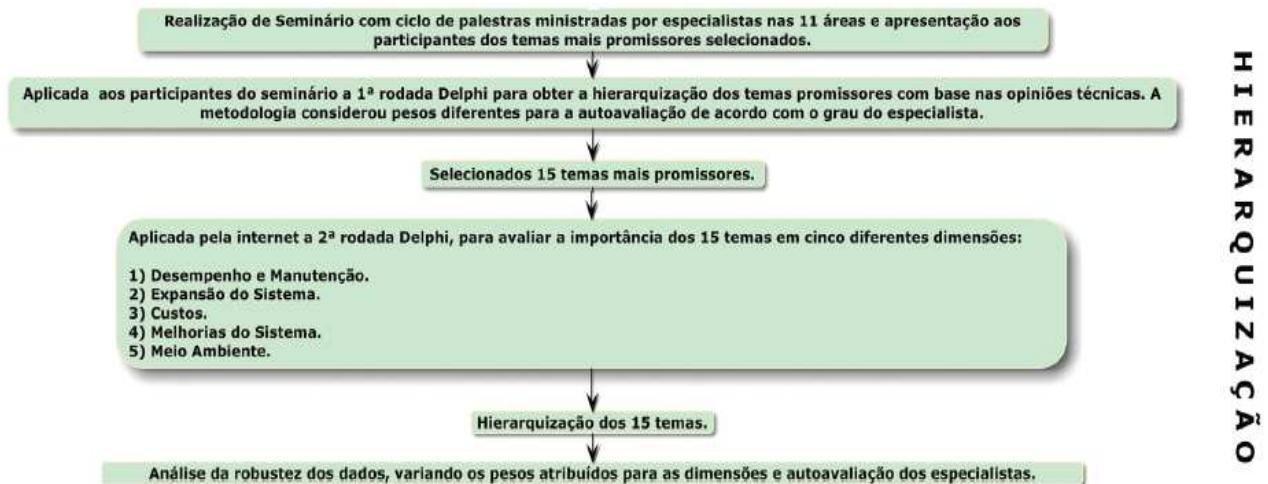


Figura 5 – Diagrama da fase de hierarquização.

4.1 Resultados da primeira rodada Delphi

Durante o Seminário organizado, cada uma das áreas de conhecimento relacionadas às linhas de transmissão foi contextualizada por especialistas do setor. Participaram da primeira rodada Delphi presencial um total de 108 pessoas.

Após cada uma das apresentações, questionários contendo os temas mais promissores correspondentes a área foram entregues aos participantes solicitando o seu preenchimento de acordo com as seguintes réguas:

A primeira régua se referia à avaliação do grau do conhecimento do participante em cada um dos blocos de assunto. Este grau de conhecimento será aplicado como peso para as respostas sobre a importância de cada tema. i) Perito – Atualmente se dedica a este assunto com profundidade. ii) Conhecedor – Está se tornando um perito, falta alguma experiência, ou já foi um perito há alguns anos, mas se considera pouco atualizado. iii) Familiarizado – Conhece o assunto, já leu sobre o assunto e tem opiniões. iv) Não familiarizado – Não se enquadra em nenhuma das outras categorias.

A segunda régua foi ser aplicada a cada um dos temas, onde os participantes deveriam indicar a importância do tema selecionado com vistas à necessidade de maiores investimentos em termos de pesquisa e desenvolvimento, considerando a seguinte definição

Grau de importância do tema (0 – não sabe a 5 – muito importante) visando à realização de projetos de P&D. Avalia, entre os outros aspectos, aprimoramento das ferramentas de estudos e projeto, aumento do desempenho e confiabilidade, aumento da capacidade de transporte, redução do impacto ambiental, redução de custos dos componentes etc. Os participantes devem considerar que a divisão utilizada em blocos de assuntos visou facilitar a coleta das informações. Em muitos dos aspectos abordados, certamente será necessária uma análise mais detalhada, tendo em vista a integração dos diversos fatores que afetam a implantação e operação de uma linha de transmissão.

A partir do tratamento e análise das informações relativas aos graus de autoavaliação e graus de importância do tema, foram identificados 15 temas mais promissores na visão dos especialistas, conforme relação apresentada abaixo em sequência aleatória, sem nenhuma ordem de prioridade.

- A. Ampliação da capacidade de transmissão de uma linha de transmissão existente, considerando o monitoramento em tempo real das variáveis elétricas e ambientais.
- B. Desenvolvimento de novos métodos de troca e reparo em condutores, isoladores e outros componentes das linhas de transmissão, que não necessitem da interrupção do fornecimento de energia.
- C. Sistemas de monitoramento e segurança que possam atuar na redução de falhas em linhas de transmissão provocadas por furto e vandalismo.
- D. Aprimoramento da tecnologia de comunicação entre sistemas de monitoramento e as equipes de manutenção com integração a um banco de dados geográficos, com o objetivo de prover maior rapidez nos serviços de

manutenção das linhas de transmissão.

- E. Metodologias mais apuradas para estabelecer a relação custo versus benefício entre isoladores poliméricos, compósitos e de porcelana, levando em conta variáveis como meio ambiente, manutenção, reposição, durabilidade, nível de tensão da linha etc.
- F. Melhorias nos sistemas de diagnósticos de falhas em isoladores, incluindo o desenvolvimento de novas metodologias para estimar a vida de isoladores submetidos a atmosferas poluídas.
- G. Pesquisas de novos materiais no ramo da nanotecnologia, visando aprimorar as características isolantes e hidrofóbicas dos materiais utilizados para isoladores de linhas de transmissão.
- H. Estabelecimento de critérios e metodologias para análise técnica econômica com vistas à aplicação de condutores especiais.
- I. Desenvolvimento de estudos que permitam a máxima compactação das linhas de transmissão, podendo ser estudos com relação a novos arranjos das fases ou novas geometrias de torres.
- J. Desenvolvimento e avaliação de projetos de novas geometrias de torres que possibilitem reduzir os custos, a agressão ao meio ambiente, facilitar a instalação e aumentar a confiabilidade.
- K. Estabelecimento de novos critérios e metodologias para projeto de torres de transmissão de energia elétrica, considerando inclusive revisão de normas de projeto quanto à forma do cálculo das intensidades das forças do vento nas estruturas e quanto à existência de fenômenos de rajadas de vento e tornados.
- L. Novos conceitos, estratégias e critérios de planejamento da expansão do sistema, de modo que a alternativa de recapacitação das linhas de transmissão existentes possa ser efetivamente considerada como uma alternativa técnica e economicamente viável.
- M. Estabelecimento de critérios e metodologias para a determinação da vida útil remanescente de linhas de transmissão existentes, considerando a análise integrada de todos os seus componentes submetidos aos diferentes efeitos elétricos, mecânicos e ambientais.
- N. Redução do impacto sobre o meio ambiente provocado pelos campos elétricos e magnéticos de linhas de transmissão, considerando principalmente os aspectos de percepção do público relacionado a possíveis riscos para saúde.
- O. Utilização de sistemas e ferramentas de geoprocessamento para a gestão, projeto, construção, operação e otimização de linhas de transmissão.

4.2 Resultados da segunda rodada Delphi

Para a segunda rodada de consulta eletrônica Delphi foi elaborado um questionário com 15 temas mais relevantes extraídos da primeira rodada Delphi presencial. Porém, desta vez foi solicitado aos respondentes que avaliassem os itens considerando as seguintes dimensões: i) Desempenho do Sistema ii) Expansão do Sistema atual iii) Custos iv) Melhoria do Sistema Existente v) Meio Ambiente.

A segunda rodada teve 36 respondentes dos quais 10 eram peritos, 13 conhecedores e 13 familiarizados. Para verificar a robustez dos dados encontrados na hierarquização dos temas prioritários para investimento em Pesquisa e Desenvolvimento no setor de linhas de transmissão, foi desenvolvida uma metodologia de análise da sensibilidade dos dados obtidos. Até este ponto, os temas selecionados foram hierarquizados de acordo com a opinião dos especialistas.

Contudo, é necessário entender melhor se a ordem de hierarquização dos temas se altera na medida em que haja uma priorização de uma determinada dimensão em detrimento de outra. Em outras palavras, o que aconteceria com a ordem dos temas selecionados se, por exemplo, fosse atribuído um peso maior à dimensão que avalia o impacto das inovações em relação ao custo e um peso menor à dimensão que prioriza o meio ambiente? Ou vice-versa? E, ainda, se a opinião dos peritos for considerada de maior importância do que a opinião dos conhecedores ou familiarizados no assunto? Visando responder a essas dúvidas, foi realizada a análise de sensibilidade com relação aos pesos da autoavaliação e das dimensões.

A seguir, tem-se a relação dos diferentes cenários criados para simular a robustez dos temas: Cenário C1 – Assume peso 1 para todas as autoavaliações dos especialistas e para todas as dimensões. Cenário C2 – Assume peso 5 para a opinião dos familiarizados, 10 para os conhecedores e 20 para os peritos e, para todas as dimensões, foi considerado peso 1. Cenário C3 – Assume peso 1 para a opinião dos familiarizados, 10 para os conhecedores e 20 para os peritos e, para todas as dimensões, foi considerado peso 1. Cenário C4 – Assume peso 1 para todas as autoavaliações dos especialistas e peso 2 para a dimensão Custos e para a dimensão Melhorias no Sistema, mantendo peso 1 para as demais dimensões. Cenário C5 – Assume peso 1 para todas as autoavaliações dos especialistas e peso 2 para a dimensão Custos, Expansão do Sistema e Meio Ambiente, mantendo peso 1 para as demais dimensões.

Os resultados para as dispersões geradas pelos diferentes cenários podem ser visualizados no diagrama de sensibilidade da Figura 6. No gráfico foi estabelecida uma linha divisória dos itens que sempre permaneceram acima da sétima colocação nos cenários

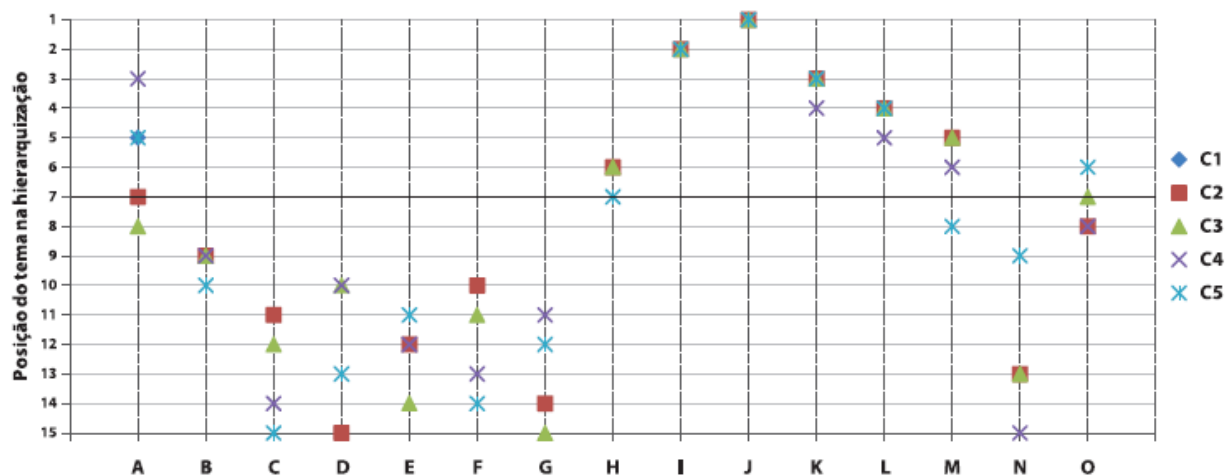


Figura 6 – Diagrama de sensibilidade dos temas para cada um dos cenários propostos.

A aplicação da análise de sensibilidade permitiu a constatação de alguns grupos de temas para inovação tecnológica que aparecem como prioritários e variam pouco nos cenários propostos, enquanto outros apresentam grandes variações. De acordo com o resultado da análise, os cinco itens que se mostraram menos sensíveis aos diferentes cenários foram os itens J, I, K, L e H (descritos na Seção 4.1).

Os itens A, M e O (descritos na Seção 4.1) que em determinados cenários se apresentaram acima da linha, porém em outros se posicionaram abaixo desta, mostrando menos consistência em relação ao valor pré-estabelecido.

5.0 - CONCLUSÃO

Como resultado das prospecções realizadas, foram selecionados 98 temas mais promissores em termos de desenvolvimento de projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D). Estes temas foram classificados em 11 áreas: Estudos Integrados – Confiabilidade (8)*; Efeitos Eletrostáticos – Eletromagnéticos (6); Desempenho de Linhas de Transmissão (8); Recapacitação de Linhas de Transmissão (9); Estruturas (7); Fundações (6); Condutores de Linhas de Transmissão e Cabos OPGW (12); Isoladores de Linhas de Transmissão (11). Identificados e classificados os temas mais promissores, seguiram-se às atividades de hierarquização destes temas. Utilizando a metodologia desenvolvida e com base nas respostas dos especialistas, foi possível estabelecer, para 15 temas, uma ordem de prioridade dos mais promissores, onde se verifica a seguinte ordem de preferência por blocos de assuntos: Projetos de Torres, Compactação, Recapacitação, Monitoramento e Geoprocessamento, Condutores, Manutenção, Isoladores, Efeitos Eletrostáticos e Eletromagnéticos. Ao fim, com o objetivo de validar a metodologia desenvolvida e os resultados obtidos, a análise de sensibilidade mostrou que a hierarquização encontrada é bastante sólida. Dessa forma, espera-se que os investimentos em P&D nos temas apontados possam trazer benefícios para redução dos custos decorrentes das diversas atividades para implantação de uma linha de transmissão, melhoria do desempenho com consequente redução das saídas das linhas, redução dos impactos ambientais e indicação de novos processos e tecnologias que possam ser utilizados para aumentar a capacidade das linhas existentes e aplicados na expansão do Sistema Elétrico.¹

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) Maduro-Abreu A., Saavedra A. R., Araújo J. A., Murça L. B., Fragelli R. R., Frontin S. de O., Rego V. B., Prospecção e Hierarquização de inovações Tecnológicas Aplicadas a Linhas de Transmissão, Brasília, 2010.

* Número de temas por área.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

ALEXANDRE MADURO-ABREU - Pesquisador Bolsista da UnB Graduado em Administração, Mestre e Doutor em Desenvolvimento Sustentável, pelo CDS/UnB. atualmente, é docente de graduação e pós-graduação, consultor do Instituto Interamericano de Cooperação para Agricultura (IICA), pesquisador em projetos associados ao Laboratório de Energia e Meio Ambiente, do Departamento de Engenharia Mecânica, da UnB, onde também realiza seu pós-doutorado na área de energias renováveis.

GLIENDER P. MENDONÇA - Gerente do Projeto Pós-graduado em Direito dos Contratos pela UNIDF, atua desde 2001 no segmento de Energia Elétrica. Fez parte do quadro de funcionários da ANEEL e Eletronorte, e atualmente, ocupa as funções de coordenador de Relações Institucionais e Regulatórias e gerente dos Programas de Pesquisa e Desenvolvimento da *Holding Transmissora Aliança de Energia Elétrica S.A. – TAESA*.

JOSÉ ALEXANDER ARAÚJO - Pesquisador do Projeto Professor Adjunto 3 do Departamento de Engenharia Mecânica da UnB. Engenheiro Mecânico pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade de Brasília (UnB). Ph.D em *Engineering Sciences* pela *University of Oxford, UK*. Membro afiliado da Academia Brasileira de Ciências. Pesquisador de Produtividade Nível 2 do CNPq.

LEONARDO BRANT MURÇA - Pesquisador Bolsista de Doutorado da UnB, Engenheiro mecânico e Mestre em Ciências Mecânicas pela Universidade de Brasília (UnB). Trabalha e desenvolve com o Grupo de Mecânica dos Materiais (Gamma/UnB) pesquisas relacionadas à fadiga ocasionada por vibrações eólicas em linhas de transmissão e em projetos de P&D relacionados ao comportamento mecânico de cabos condutores.

RICARDO RAMOS FRAGELLI - Pesquisador Bolsista da UnB Engenheiro mecânico, Mestre em Engenharia Mecânica e Doutor em Ciências Mecânicas pela UnB. É Professor Adjunto da Universidade de Brasília (UnB) e faz parte do Grupo de Mecânica dos Materiais (Gamma/UnB) onde já desenvolveu trabalhos sobre fadiga em cabos condutores. Ex-professor Adjunto dos departamentos de Engenharia Elétrica e de Computação do Instituto de Educação Superior de Brasília (IESB).

ARNOLDO RODRIGO SAAVEDRA – Engenheiro Civil e Eletricista, M.Sc. pela *Universidad Técnica Federico Santa Maria, Valparaíso*, Chile (1963). Atualmente consultor independente trabalhando para ONS, na verificação de projetos de transmissão HVDC e CCAT. Foi chefe do Departamento de Planejamento e Estudos da CHILECTRA, Gerente de Projetos da PTEL (ex-subsidiária da PTI). Profissional Executivo da PROMON.

SERGIO DE OLIVEIRA FRONTIN - Coordenador do Projeto Pesquisador colaborador da UnB, Engenheiro Eletricista pela Escola Nacional de Engenharia da UFRJ, Mestre em *Power Systems* pelo *Rensselaer Polytechnic Institute (RPI), Troy* – Estados Unidos. Trabalhou na Agência Nacional de Energia Elétrica, Furnas Centrais Elétricas S.A., Itaipu Binacional e Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL). Ex-professor da PUC–RJ e do Instituto Militar de Engenharia.

VINICIUS BARROS REGO - Pesquisador Bolsista da UnB Engenheiro mecânico pela Universidade de Brasília (UnB). Estagiou na Superintendência de Administração e Finanças da ANEEL. Foi pesquisador bolsista na área de materiais e soldagem da Faculdade de Engenharia Mecânica do Porto, Portugal (FEUP). Trabalhou com pesquisas relacionadas ao comportamento mecânico de cabos condutores na UnB.