**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA**

CARLOS EDUARDO CENTURION NYBROE

**“ESTUDO PROSPECTIVO DA INSERÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS
NO PARAGUAI E NA BOLÍVIA À LUZ DE UMA AVALIAÇÃO
ECONÔMICO-FINANCEIRA”**

**SÃO PAULO
2015**

CARLOS EDUARDO CENTURION NYBROE

“ESTUDO PROSPECTIVO DA INSERÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NO PARAGUAI E
NA BOLÍVIA À LUZ DE UMA AVALIAÇÃO ECONÔMICO-FINANCEIRA”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Célio Bermann

Versão Original

SÃO PAULO
2015

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA

Centurion Nybroe, Carlos.

Estudo prospectivo da inserção de veículos elétricos no Paraguai e na Bolívia à luz de uma avaliação econômico-financeira. / Carlos Centurion Nybroe; orientador: Célio Bermann – São Paulo, 2015.

128f.: il.; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Energia – Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo.

1. Veículos elétricos – aspectos econômicos. 2. Veículos elétricos – aspectos ambientais. 3. Veículos elétricos – Paraguai. 4. Veículos elétricos – Bolívia. I. Título.

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS – GRADUAÇÃO EM ENERGIA**

CARLOS EDUARDO CENTURION NYBROE

**“ESTUDO PROSPECTIVO DA INSERÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NO PARAGUAI E
NA BOLÍVIA À LUZ DE UMA AVALIAÇÃO ECONÔMICO-FINANCEIRA”**

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Célio Bermann – PPGE/USP
Orientador e Presidente da Comissão Julgadora

Prof. Dr. –/USP

Prof. Dr. –/USP

Dedico essa Dissertação a Emma,
Minha querida filha
A Liz, minha amada esposa
E a Ruben e Alba, meus pais

Agradecimentos

Ao Professor Doutor Célio Bermann por me orientar nesta pesquisa e pelos seus conhecimentos e compreensão ao longo desses anos.

Ao Professor Doutor Ildo Luis Sauer, pelos ensinamentos na disciplina de Demanda de Energia, pelas ideias que inspiraram o tema desta dissertação.

Ao plantel pesquisador do *Centro de Análisis y Difusión de la Economía Paraguaya* (CADEP), onde me iniciei na pesquisa, Msc Fernando Masi, Prof. Dr. Dionisio Borda, Msc Julio Ramirez, Msc Cynthia Gonzalez, Prof. Dr. Gustavo Setrini, Fernando Ovando, Msc Leila Rodriguez.

Aos Professor Doutor Pedro Garay Armoa – ECO/UNA e ao Pesquisador Fernando Masi - CADEP, pela fé que depositaram em mim quando escreveram a carta de recomendação.

À minha família Lucia Liz Bogado melo (Esposa), Alba Nelly Nybroe (Mãe), Ruben Melanio Antonio Centurion Lopez (Pai), Ruben Dario Centurion Nbyroe (Irmão), Miguel Angel Centurion Nybroe (Irmão), pelo constante apoio.

Aos amigos da Pós-graduação, funcionários e professores do Instituto de Energia e Ambiente.

A todos que contribuíram direta e indiretamente na elaboração dessa dissertação.

À Organização de Estados Americanos (OEA), o Grupo Coimbra de Universidades Brasileiras (GCUB) e a Universidade de São Paulo (USP), pela bolsa de estudo que possibilitou vivenciar esta experiência e adquirir valiosos conhecimentos.

RESUMO

NYBROE, Carlos Centurion, **Estudo prospectivo da inserção de veículos elétricos no Paraguai e na Bolívia à luz de uma avaliação econômico-financeira**. 2015. 128 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós – Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

Este trabalho apresenta um estudo exploratório do potencial do Paraguai e da Bolívia para o desenvolvimento de uma indústria de mobilidade elétrica, avaliando a viabilidade de substituição da frota convencional de veículos leves, propulsados atualmente por motores à combustão interna (VCI), por veículos elétricos (VE) equivalentes. O estudo leva em consideração critérios econômicos, energéticos, ambientais, geopolíticos e disponibilidade de recursos naturais. Por tanto, são consideradas duas situações de substituição. No primeiro, por veículos elétricos disponíveis no mercado internacional (VE) e, alternativamente, por veículos elétricos com baterias de Li-ion, resultado da implantação e desenvolvimento de uma indústria de VE's e outra de baterias de íons de lítio (Li-ion). Aproveitando assim, as vantagens estratégicas de recursos naturais proveniente do *Salar de Uyuni* – Bolívia e da disponibilidade de energia elétrica no Paraguai, considerando a utilização de parte da potência da usina de Itaipu, propriedade do Paraguai e atualmente cedida a seu sócio no empreendimento, o Brasil, bem como a partir das abundantes reservas de gás natural boliviano e o potencial de ambos os países para o desenvolvimento de projetos de fontes renováveis. A indústria de baterias para os automóveis elétricos pode ser localizada na Bolívia, perto dos recursos e com grandes avanços tecnológicos e investimentos do governo na área nos últimos anos, enquanto a de VEL pode ser sediada no Paraguai que na atualidade possui um grande interesse de investidores estrangeiros. Os governos poderiam fomentar o projeto com iniciativas, como subsídios no custo da energia utilizada para o abastecimento de VE's, ou no custo de investimento inicial do veículo. Poderia também fornecer financiamento para a aquisição de VE's a taxas menores as do mercado. As estimativas conduzidas neste trabalho mostram que uma eventual substituição da frota de veículos leves VCI por VE no período de 10 anos, geraria benefícios econômicos cumulativos para o Paraguai de US\$ 1.031 milhões e para Bolívia de US\$ 1.373 milhões. Essa substituição permitiria uma redução das emissões de Gases de Efeito estufa (GEE) de 8.398 GgCO₂ para o Paraguai e 9.420

GgCO2 para a Bolívia. Inicialmente seriam produzidos 40 mil veículos por ano em cada país para atingir a escala necessária para a redução dos custos das BIL's. A ideia subjacente é ganhar escala local para a cadeia de produção inicial e, em seguida, acessar os mercados de América latina e o mundo.

Palavras chave: Paraguai, Bolívia, veículo elétrico, Lítio, baterias Li-ion, gases de efeito estufa, energia elétrica.

ABSTRACT

NYBROE, Carlos Centurion. **Prospective study of electric vehicle insertion in Paraguay and Bolivia, by means of an economic and financial assessment.** 2015. 128 p. Master's Dissertation – Graduate Program on Energy, Sao Paulo University, Sao Paulo, 2015.

This document presents an exploratory study of the potential of Paraguay and Bolivia for the development of an electric mobility industry, assessing the viability of replacing conventional light vehicle fleet, currently driven by internal combustion engines (ICE), for electric vehicles (EV) equivalent. The study takes into account economic, energy, environmental, geopolitical, and availability of natural resources criteria. Therefore, two replacement situations are considered. In the first, for EV's currently available in the international market and, alternatively, for electric vehicles with Li-ion batteries, due to the implementation and development of both, an electric vehicle and a lithium-ion batteries industry. Leveraging so, the strategic advantages of natural resources from the *Salar de Uyuni* - Bolivia and the availability of electricity. This considering the use of part of the over-potential of the Itaipu power plant, owned by Paraguay and currently assigned to his associated in the undertaken, Brazil, and from Bolivian natural gas abundant reserves and the potential of both countries for the development of renewable projects. The battery industry for electric cars could be located in Bolivia, because of the proximity of the lithium resources and the technological breakthroughs and investments in the area of the Bolivian government in recent years, while the LEV industry could be based in Paraguay, which currently has a great appeal for foreign investors. Governments could promote the project with incentives such as subsidies in the cost of energy used to supply EV's, or the cost of the initial investment vehicle, it also could provide funding for the acquisition of EV's at lower rates. Estimates conducted in this study in a ten year basis show that any replacement of the ICE light vehicle fleet for EV would generate cumulative economic benefits to Paraguay for US\$ 1,031 million, and for Bolivia US\$ 1,373 million. This substitution would reduce Greenhouse Gases emissions (GHG) in 8,398 GgCO₂ for Paraguay and 9,420 GgCO₂ for Bolivia. Initially, 40,000 vehicles per year in each country would be produced to achieve the scale required for reducing BIL's

costs. The underlying idea is to make local scale for initial production chain and then access the Latin America markets and the world.

Keywords: Paraguay, Bolivia, Electric Vehicle, Lithium, Lithium batteries, greenhouse gases, electric energy.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Geração elétrica no Paraguai	34
Tabela 2 - Projetos hidroelétricos no Paraguai	35
Tabela 3 - Oferta de Eletricidade, ano 2013 (GWh)	35
Tabela 4 - Demanda de Energia Elétrica, ano 2013 (GWh)	36
Tabela 5 - Linhas de transmissão de eletricidade e transformadores no Paraguai	40
Tabela 6 - Demanda máxima do SIN por subsistema elétrico, ano 2013	40
Tabela 7 - Infraestrutura física de distribuição	42
Tabela 8 - Custo da Eletricidade vendida em 2011	42
Tabela 9 - Tarifa média de energia elétrica 2009-2013	43
Tabela 10 - Consumo de combustível no setor transporte, ano 2013 (tep.)	45
Tabela 11 - Geração Elétrica na Bolívia	47
Tabela 12 - Projetos de geração na Bolívia, 2014	49
Tabela 13 - Oferta de energia elétrica da Bolívia, 2013 (GWh)	50
Tabela 14 - Demanda de Energia Elétrica, ano 2013 (GWh)	51
Tabela 15 - Projeção de demanda incremental de energia y potência 2013-2025	52
Tabela 16 - Linhas de transmissão de eletricidade na Bolívia	53
Tabela 17 - Países com maior fatia de mercado mundial de veículos elétricos a bateria e total de frota elétrica em relação a suas fontes de geração de energia elétrica	59

Tabela 18 - Eficiência do Sistema do motor elétrico, com baterias de íons-lítio	78
Tabela 19 - Frota de veículos do Paraguai, 2013.	81
Tabela 20 - Frota automotiva por tipo de veículo e percentagem do total, 2013	84
Tabela 21 - Frota automotiva boliviana por uso de combustível, 2013	86
Tabela 22 - Projeções de custo da bateria em função do volume de produção	88
Tabela 23 - Depósito do recurso de lítio em Salmouras no Mundo	90
Tabela 24 - Distribuição de custos de construção para uma fábrica de baterias (células 18650) com capacidade de produção de 106 milhões de células por ano.	92
Tabela 25 - Quantidade estimada de lítio necessária para a produção de 80.000 baterias (avaliados para substituição de frota).	93
Tabela 26 - Distribuição de custos unitários de produção de células para uma fábrica com capacidade de produção de 240 milhões de células por ano na China, EUA e Bolívia	94
Tabela 27 - Parâmetros específicos	96
Tabela 28 - Parâmetros gerais	97
Tabela 29 - Taxa Interna de Retorno e Período de Payback simples	98
Tabela 30 - Contratos de compra com financiamento (financiamento total, taxa de juros anual de 8,5% no prazo de 10 anos para o VEL) e o impacto da economia de energia.	100
Tabela 31 - Balanço econômico da transformação da frota de veículos leves no	

Paraguai, na base de dez anos	102
Tabela 32 - Taxas internas de retorno e Períodos de Payback Simples em condições atuais e sem subsídio do governo	105
Tabela 33 - Contratos de compra com financiamento (financiamento total, taxa de juros anual de 8,5% no prazo de 10 anos para o VEL) e o impacto da economia de energia nos dos primeiros cenários	107
Tabela 34 - Taxas internas de retorno e períodos de payback simples com 33% de aumento nos preços atuais de mercado interno do diesel e 25% de aumento nos preços atuais de mercado interno da gasolina.	108
Tabela 35 – Balanço econômico da substituição da frota na Bolívia ao longo de 10 anos.	110

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Consumo Final de energia elétrica por setores em América do Sul	37
Gráfico 2 - Pico de demanda do SIN no período 2003/2013	37
Gráfico 3 - Demanda de Energia e disponibilidade de geração elétrica no Paraguai	44
Gráfico 4 - Número de beneficiários da tarifa social por patamares de consumo	38
Gráfico 5 - Valor da importação total de combustíveis em milhões de dólares FOB nos últimos 20 anos	45
Gráfico 6 - Expansão da geração de energia 2014 - 2022	48
Gráfico 7 - Pico de demanda do SIN no período 2003/2013	51
Gráfico 8 - Preços no mercado interno do gás natural na Bolívia	54
Gráfico 9 - Preços médios de venda do gás natural boliviano	66
Gráfico 10 - Paraguai: Frota automotiva, 2003 – 2013	81
Gráfico 11 - Paraguai. Frota automotiva por departamento, 2013	82
Gráfico 12 - Bolívia: Frota automotiva, 2003 – 2013	84
Gráfico 13 - Bolívia. Frota automotiva por departamento, 2013	85
Gráfico 14 - Contribuição de cada componente dividido por setores de atividade industrial, no custo de uma fábrica de células de baterias Li-íon, modelo 18650	92
Gráfico 15 - CCV dos veículos paraguaios utilizando taxas de desconto de 10%, 12% e 15%	98

Gráfico 16 - VPL das propostas de substituição de veículos utilizando taxas de desconto de 10%, 12% e 15%.	99
Gráfico 17 - Análise de sensibilidade do Custo do Ciclo de Vida de veículos em função dos Km percorridos por ano.	99
Gráfico 18 – Balanço líquido da penetração dos VEL's substituindo os VCIG's e VCID's no Paraguai	101
Gráfico 19 - Impactos econômicos acumulados da penetração dos VEL's substituindo os VCIG's e VCID's no Paraguai	101
Gráfico 20 - Redução das emissões de CO ₂ por mudanças na tecnologia da frota de veículos Leves no Paraguai.	103
Gráfico 21 - Custo de Ciclo de vida (CCV) para os veículos bolivianos nas condições atuais de mercado, com taxas de desconto 10%, 12% e 15%.	104
Gráfico 22 - Custo de Ciclo de vida (CCV) para os veículos bolivianos com suspensão de subsídios nos combustíveis, com taxas de desconto 10%, 12% e 15%.	104
Gráfico 23 - Os Valores Presentes Líquidos da proposta de substituição de veículos nas condições atuais de mercado, utilizando taxas de desconto de 10%, 12% e 15	105
Gráfico 24 - Os Valores Presentes Líquidos da proposta de substituição de veículos com suspensão de subsídios, utilizando taxas de desconto	

de 10%, 12% e 15%.	106
Gráfico 25 - Análise de sensibilidade do Custo do Ciclo de Vida de veículos em função dos quilômetros percorridos por ano, em condições de mercado atuais	107
Gráfico 26 - Análise de sensibilidade do Custo do Ciclo de Vida de veículos em função dos quilômetros percorridos por ano, com suspensão de subsídios	109
Gráfico 27 – Balanço líquido da penetração dos VEL's substituindo aos VCIG's e VCID's na Bolívia.	109
Gráfico 28 - Impactos econômicos da penetração dos VEL's substituindo aos VCIG's e VCID's na Bolívia.	110
Gráfico 29 - Emissões evitadas na Bolívia por tipo de combustível.	112

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa do Paraguai por subsistemas de transmissão elétrica.	41
Figura 2 - Esquema básico do sistema propulsor do VEH em série	66
Figura 3 - Esquema básico do sistema propulsor do VEH Paralelo	68
Figura 4 - Esquema básico do sistema propulsor do VEH Misto (Serie-Paralelo).	69
Figura 5 - Esquema básico do sistema propulsor do VEB	71
Figura 6 - Ilustração esquemática de uma BIL típica para veículos elétricos.	79

LISTA DE SIGLAS

ABC	<i>Administradora Boliviana de Carreteras</i>
ABVE	Associação Brasileira do Veículo Elétrico
AE	<i>Autoridad de Control Social de Energía Eléctrica</i>
AFD	<i>Agencia Financiera de Desarrollo</i>
ANDE	Administração Nacional de Energia Elétrica
APP	Aliança Público Privada
BEN	<i>Balance Energético Nacional</i>
BIL	Bateria de Íons de Lítio
COMIBOL	<i>Corporación Minera de Bolivia</i>
CNDC	Comité Nacional de Despacho de Carga
CCV	Custo de Ciclo de Vida
CSJ	<i>Corte Suprema de Justicia</i>
DGEEC	<i>Dirección General de Encuestas Estadísticas y Censos</i>
DNRA	<i>Dirección del Registro Automotor</i>
ENARSA	<i>Energia Argentina AS</i>
ENDE	<i>Empresa Nacional de Electricidad</i>
EUA	Estados Unidos da América
EV	<i>Electric Vehicle</i>
FOB	<i>Free on Board</i>
GEE	Gases de Efeito Estufa
GHG	<i>Greenhouse Gases Emissions</i>

GLP	Gás Liquefeito de petróleo
GNV	Gás Natural Veicular
GNC	Gás Natural Comprimido
GSA	Contrato de Fornecimento de Gás
IBM	International Business Machines Corp.
ICEV	<i>Internal Combustion Engine Vehicle</i>
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IIRSA	Integração da Infraestrutura Regional Sul-Americana
INE	<i>Instituto Nacional de Estadística</i>
IVA	Imposto ao Valor adicionado
LEV	<i>Local Electric Vehicle</i>
LIB	<i>Lithium Ion Batteries</i>
Li-íon	Íons de Lítio
MCI	Motor a Combustão Interna
MEM	Mercado Atacadista de Energia Elétrica
MERCOSUL	Mercado Comum do Sul
MHE	<i>Ministerio de Hidrocarburos y energia</i>
MIM	Mercado Varejista da Eletricidade
MOPC	<i>Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones</i>
OPEP	Organização de países Exportadores de Petróleo
PMSE	Plano Maestro do Setor Elétrico
PPS	Período de <i>Payback</i> Simples
PS	<i>Payback</i> Simples
PIB	Produto Interno Bruto

P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
RUAT	<i>Registro Único para la Administración Tributaria Municipal</i>
RVF	<i>Red Vial Fundamental</i>
SA	Sistemas Isolados
SIN	Sistema Interligado Nacional
STI	<i>Sistema Troncal de Interconexión</i>
TDE	Transportadora de Electricidad SA
TESA	Projeto de Estudo Técnico, Econômico, Social e Ambiental
TIR	Taxa Interna de Retorno
UH-IPU	Usina Hidrelétrica de Itaipu
UH-YAC	Usina Hidrelétrica Yacyretá
UH-ACY	Usina Hidrelétrica Acaray
VCI	Veículo de Combustão Interna
VCID	Veículo de Combustão Interna Movimentado com Diesel
VCIG	Veículo de Combustão Interna Movimentado com Gasolina
VE	Veículo Elétrico
VEB	Veículo elétrico a bateria
VECC	Veículo elétrico com célula combustível
VEH	Veículo Elétrico Híbrido
VEHP	Veículo Elétrico Híbrido Plug-in
VHCR	Veículo Híbrido Conectado à Rede
VEL	Veículo elétrico Local
VMEEA	<i>Viceministerio de Electricidad y Energias Alternativas</i>
VMME	<i>Vice ministério de Minas e Energia</i>

VPL	Valor Presente Líquido
YPFB	<i>Yacimientos Petrolífero Fiscales Bolivianos</i>
ZEV	Emissões Zero de Veículos

SUMARIO

1. INTRODUÇÃO	24
2. Elementos de Pesquisa	27
2.1. Justificativa	27
2.2. Objetivos do trabalho	29
2.2.1. Objetivos específicos	29
2.3. Métodos e materiais	30
3. CONTEXTO ENERGETICO ATUAL NO PARAGUAI E BOLÍVIA	33
3.1. Paraguai	33
3.1.1. Setor elétrico	33
3.1.1.1. Geração	33
3.1.1.2. Oferta de energia elétrica	35
3.1.1.3. Demanda de energia elétrica	36
3.1.1.4. Transmissão	39
3.1.1.5. Distribuição	41
3.1.1.6. Custo e preço da energia elétrica	42
3.1.2. Produtos petrolíferos	44
3.2. Bolívia	46
3.2.1. Setor elétrico	46
3.2.1.1. Geração	46
3.2.1.2. Oferta de energia elétrica	50
3.2.1.3. Demanda de energia elétrica	50
3.2.1.4. Transmissão	52

3.2.1.5.	Distribuição	53
3.2.1.6.	Custo e preço da energia elétrica	54
3.2.2.	Produtos petrolíferos	55
3.2.3.	Mineração de Lítio.	56
4.	ASPECTOS TECNOLÓGICOS DO VEÍCULOS ELÉTRICOS	58
4.1.	Histórico dos Veículos Elétricos	60
4.1.1.	Primeira etapa: início e rivalidade tecnológica (1832- 1910's)	60
4.1.2.	Segunda etapa: perda de competitividade e estagnação (1920's - 1973)	62
4.1.3.	Terceira etapa: retorno dos VE's (1973 - atualidade)	63
4.2.	Tipos de veículos elétricos	64
4.2.1.	Veículos elétricos híbridos	65
4.2.1.1.	Veículo elétrico híbrido em série	66
4.2.1.2.	Veículo elétrico híbrido em paralelo	67
4.2.1.3.	Veículo elétrico híbrido misto em série-paralelo	69
4.2.2.	Veículos elétricos híbridos plug-In	70
4.2.3.	Veículos elétricos a bateria	70
4.3.	Baterias para veículos elétricos	73
4.3.1.1.	Baterias de Chumbo-ácido	74
4.3.1.2.	Baterias de Níquel-Hidreto-Metálico (NiMH)	75
4.3.1.3.	Baterias de Sódio (Zebra)	76
4.3.1.4.	Baterias de Íon-Lítio	77
5.	ESTUDO DA INSERÇÃO DE VE's NO PARAGUAI E BOLÍVIA	80
5.1.	Caracterização da infraestruturas rodoviária e do parque automobilístico no Paraguai	80

5.2. Caracterização da infraestrutura rodoviária e do parque automobilístico na Bolívia	83
5.3. Perspectivas para o Veículo Elétrico de Fabricação Local (VEL)	86
5.3.1. Carbonato de lítio como recurso	89
5.3.2. Produção de BIL's e estimativas de investimento para uma fábrica paraguaio-boliviana	91
5.3.3. Análise Econômico-financeira da viabilidade de substituição da frota.	95
5.3.3.1. Metodologia	95
5.3.3.2. Informações e pressupostos para análise	96
5.3.3.3. Análise para o Paraguai	97
5.3.3.4. Análise para a Bolívia	103
6. CONCLUSÕES	113
REFERENCIAS	115

1. INTRODUÇÃO

No começo da história automotriz, o veículo elétrico (VE) dominava o mercado mundial principalmente por ser silencioso, simples, fiável, e de andar suave. No entanto, depois da invenção do motor a combustão interna e a melhora da acessibilidade e preço do petróleo eles perderam a batalha devido a seus principais defeitos, autonomia e custo.

A história de veículos elétricos está intimamente ligada com a história das baterias. O período entre 1880 e 1900, e considerado o mais intenso na implantação dos VE's, a idade de ouro, a qual terminou no início de 1920. Foram estabelecidas redes de estações de carregamento, mas esta infraestrutura foi incapaz de competir com o amplo desenvolvimento dos postos de gasolina (HOYER, 2008). Portanto, a tecnologia predominante para os automóveis foi a de motores de combustão interna. Esta foi uma consequência da segunda fase da revolução industrial, que ocorreu entre os séculos XIX e XX. Durante este período, os combustíveis derivados do petróleo se tornaram a principal fonte de energia veicular, alinhando as estruturas do mercado automobilístico e petroleiro com as práticas comerciais e de produção, bem como com diversas modalidades de comercialização. Foram alinhados os interesses econômicos de três setores de produção: o setor da exploração e refino de petróleo, dos produtos químicos e o automotivo, uma estratégia fortemente perseguida por grandes empresas representativas: a Standard Oil e seus desdobramentos, Du Pont e General Motors (PUERTO RICO; MERCEDES; SAUER, 2010; DIMITRI, 2007).

Uma década inteira, sustentando altos preços do petróleo desde 2005 e o desenvolvimento tecnológico de motores elétricos para tração e baterias secundárias associadas, estão permitindo um retorno da possibilidade de produção em massa de veículos elétricos, os quais voltam a competir com os veículos de combustão interna (VCI). Algumas das principais razões para o retorno dos carros elétricos, na década de 1990, foram devido ao preço e crise de abastecimento do petróleo nos anos setenta e oitenta e às preocupações ambientais globais (BADDOUR, 1997). A década de 1990 foi o período mais intenso na história em relação às pesquisas e desenvolvimento de carros elétricos e híbridos, com todos os principais fabricantes de automóveis do mundo envolvidos no processo (HOYER, 2008). Apesar das melhorias de

eficiência de VCI's alcançados na última década, as emissões dos veículos novos ainda estão por os 140,3 g de CO₂ / km. (FARIA et al., 2012 ; LUTSEY, 2012).

Em 1932-1935, Bolívia e Paraguai lutaram numa guerra pelo petróleo da região do Chaco Boreal, que ainda não foi encontrado. A Bolívia é um país que superou um século de instabilidades políticas, em grande parte, por meio de mecanismos de controle social para a exploração e desenvolvimento de recursos naturais em favor do interesse público, superando assim os conflitos e disputas sociais históricas com os recursos acumulados pela exportação de gás natural para o Brasil e Argentina. Por sua vez, o Paraguai tem normalizado substancialmente suas relações com os países vizinhos no que diz respeito ao desenvolvimento conjunto dos grandes aproveitamentos hidrelétricos do rio Paraná, como a usina de Itaipu, com o Brasil, e Yacyretá, com a Argentina, além de outros que estão previstos.

A existência de enormes reservas de lítio no Salar de Uyuni na Bolívia e da capacidade de geração de energia elétrica estrategicamente disponível no Paraguai, a partir das usinas binacionais Itaipu e Yacyretá, e na Bolívia, a partir do gás natural e a hidroeletricidade existente e potencial, e tendo em conta a dependência de ambos os países dos combustíveis importados, tais pré-condições configuram uma oportunidade única para o desenvolvimento e produção de carros elétricos na América Latina (MASTROPIETRO, 2014; BARROSO, 2014; GARCIA-VILLALOBOS et al., 2014).

Entretanto, ambos os países possuem um nível de industrialização muito baixo e não participam da cadeia produtiva automotiva. Assim, o estado de maturidade alcançado por ambos os países, com as políticas internas e externas, são um sinal de credibilidade para uma proposta de desenvolvimento conjunto de indústrias de baterias de lítio e veículos elétricos, bem como para a expansão no desenvolvimento de recursos energéticos. Hoje em dia, o governo boliviano considera a industrialização do Salar de Uyuni como projeto estratégico e investiu US\$ 17 milhões em uma planta de extração de lítio experimental e pretende iniciar a produção industrial com um investimento de US\$ 350 milhões até o final de 2014. (COMIBOL, 2014).

Na cidade de Hernandárias, departamento de *Salto del Guairá*, Paraguai, está sendo desenvolvido um parque industrial, cuja infraestrutura inclui uma subestação de 300kV para suprir a demanda das futuras indústrias (ANDE, 2014). Uma subsidiária da empresa coreana

Hyundai confirmou que vai fabricar produtos eletrônicos para a área automotiva, um primeiro passo para a concretização do potencial industrial regional (DUARTE, 2014).

Este trabalho tem como objetivo a avaliação econômica, financeira, ambiental e da perspectiva geopolítica da energia a substituição de VCI (diesel e gasolina) para os veículos elétricos a bateria (VEB) no Paraguai e na Bolívia. A introdução da mobilidade elétrica é avaliada em dois cenários: em primeiro lugar, com os veículos elétricos disponíveis no mercado internacional (VE); e, em alternativa, com o desenvolvimento e implementação de indústrias locais de baterias de íons de lítio (Li-Íon) e fabricação de veículos elétricos.

Esta pesquisa teve seus inícios na aula de Usos Finais e Demanda de Energia, ministrada por o Prof. Dr. Ildo Luís Sauer, resultando na submissão de um artigo para publicação em revista internacional. O artigo, chamado “*Bolivia and Paraguay, a beacon for sustainable electric mobility?*” foi coordenado pelo professor com co-autoria do Prof. Dr. Mauro Pinheiro Da Silva, Msc. Javier Farago Escobar, Msc Carlos Germán Meza e Prof. Dr. José Goldenberg, e minha pessoa.

2. ELEMENTOS DE PESQUISA

2.1. Justificativa

A substituição da frota de veículos leves no Paraguai e na Bolívia baseada atualmente em produtos petrolíferos, para um sistema de transportes baseado principalmente na energia elétrica, beneficiaria não só o setor dos transportes, mas também o sector da energia, pois resultariam ganhos em eficiência energética e redução da dependência de petróleo, além dos benefícios para o ambiente e saúde pública.

A eletricidade é um dos produtos dominantes nas exportações do Paraguai, conhecido mundialmente por ser o maior exportador de energia elétrica do mundo (IEA, 2015). No entanto, o país não obtém a totalidade dos benefícios resultantes da sua grande oferta de energia hidrelétrica, porque o Brasil e Argentina pagam tarifas sistematicamente bem menores do mercado por as exportações de eletricidade do Paraguai (CANESE, 2011; CCSI, 2013).

O Vale Columbia Center, do economista de renome internacional Jeffrey Sachs fez um estudo sobre o Paraguai onde analisa o aproveitamento da energia hidrelétrica para o desenvolvimento econômico sustentável, e conclui que a compensação efetivamente paga ao Paraguai pelo Brasil deve ser aumentada consideravelmente, considerando o valor justo de mercado das vendas de eletricidade do Paraguai, de forma a compensar os pagamentos históricos insuficientes. O mesmo estudo recomenda que o Governo deveria fomentar um uso precoce dos veículos elétricos em Assunção e em outras cidades, com um ou mais produtores de tais veículos, numa base competitiva. Os autores acreditam que existe interesse das empresas internacionais em apoiar o investimento na infraestrutura necessária para a utilização antecipada de veículos elétricos para passageiros (CCSI, 2013).

Por sua vez, a Bolívia é reconhecida não só pela sua riqueza histórica e cultural, mas também pela sua riqueza em recursos naturais, incluindo o gás natural, lítio e potencial hidrelétrico. Diversos autores concordam que desde os tempos coloniais, os recursos naturais extraídos da Bolívia foram destinados à exportação, favorecendo principalmente a grupos de

interesse estrangeiros (HIRSCHMAN, 1958; BUNKER, 1985; FREUDENBURG, 1992). Atualmente a situação econômica do país continua crítica. Sua economia se apoia quase que exclusivamente sobre a renda auferida com a venda de gás natural. Esta é uma clássica dependência econômica de uma fonte de riqueza que reflete na subutilização de outros recursos naturais, gerando conseqüentemente uma situação vulnerável do ponto de vista político-econômico, um aumento da pobreza e dos conflitos sociais (KOHL, 2012 ; MOLINA, 2009).

Assim, o presente estudo assume importância para a avaliação da oportunidade que a introdução deste tipo de tecnologia poderá trazer para uma maior independência energética dos países em estudo, bem como analisar até que ponto os governos dos dois países precisarão fazer trocas nas políticas públicas para viabilizar o projeto, no caso de existir uma decisão política para o desenvolvimento deste objetivo. Por outro lado, pretende-se também demonstrar uma antevisão do comportamento dos usuários de veículos leves na hora de fazer a escolha entre os veículos convencionais e os elétricos, e analisar o impacto da sua utilização ao nível no consumo de combustíveis e energia elétrica, e nas emissões de gases com efeito de estufa. A presente avaliação visa obter também uma antevisão dos resultados econômicos a nível de cada país da penetração dos veículos elétricos no mercado de veículos leves, tendo em conta as reduções na importação de gasolina e diesel, a redução nos impostos de consumo e das margens de distribuição e varejo, a redução na exportação de eletricidade e compensações por cessão de energia, a redução das exportações de gás, e as reduções das emissões de CO₂.

O Paraguai e a Bolívia têm uma particular vantagem em vista da eletrificação da frota com respeito a outros países da região e do mundo, resultado de características de sua matriz energética, geografia e dotação de recursos que poderiam pô-los na vanguarda do recente processo de adoção de veículos elétricos. O principal obstáculo dos veículos elétricos no mundo é o custo das Baterias de íon de lítio, devido a suas características técnicas. Neste sentido, a Bolívia que detém uma das maiores reservas de lítio do mundo poderia apresentar a resposta para diminuir o custo das baterias, com a industrialização da produção de baterias em grande escala, beneficiando-se também do valor agregado gerado neste processo. A eletrificação da frota de veículos leves poderia resultar em grandes benefícios econômicos e ambientais, diminuindo as importações de combustíveis fósseis, gerando valor agregado, melhorando a balança de pagamentos e reduzindo as emissões de gases de efeito estufa (GEE).

2.2. Objetivos do trabalho

Paraguai e Bolívia poderiam repensar o sistema de mobilidade elétrica com o fim de adaptá-lo a sua dotação de recursos, visando uma melhoria em eficiência energética, econômica e redução das emissões de GEE.

Por tanto, esta pesquisa tem como objetivo avaliar a viabilidade da substituição da frota de veículos leves dos países em estudo tanto para o consumidor como para a sociedade. Na atualidade os parques automotores são alimentados com combustíveis fósseis principalmente importados, e se propõe substituí-la por veículos alimentados por energia elétrica. As avaliações são feitas tanto da perspectiva do consumidor de veículos novos como para a sociedade, tomando em consideração certas premissas elaboradas na seção metodológica, visando iniciar o debate e pesquisas relacionadas.

2.2.1. Objetivos específicos

- Os objetivos específicos deste trabalho são os seguintes:
- Descrever a situação atual do setor elétrico e o setor transporte no Paraguai e na Bolívia.
- Descrever os aspectos técnicos dos veículos elétricos e opções tecnológicas.
- Descrever os aspectos técnicos das baterias e opções tecnológicas.
- Discutir a importância do valor agregado nas exportações de recursos energéticos.
- Avaliar a viabilidade financeira da compra de veículos elétricos para o consumidor de veículos novos no Paraguai e a Bolívia, com e sem incentivos do governo; e no caso da importação integral dos veículos elétricos e da sua fabricação no país.

2.3. Métodos e Materiais

Com relação à metodologias, foi adotado o método exploratório, ou seja, aquele realizado quando o objetivo é examinar um tema de pesquisa pouco estudado ou ainda não estudado. Eles servem para aumentar o grau de familiaridade com fenômenos relativamente desconhecidos e obter informação sobre a possibilidade de fazer pesquisas mais completas no futuro (SAMPIERI, 2010).

Para o tratamento dos materiais utilizados, foram adotados os métodos de: pesquisa bibliográfica, a partir de artigos científicos, livros e outros documentos; pesquisa documental, a partir de fontes primárias; entrevistas, com discurso livre, para a coleta de informações com especialistas na área de estudo (SEVERINO, 2007).

O trabalho pode ser dividido em quatro partes principais; a primeira consta de um levantamento de dados estatísticos e informações relativas aos países em estudo, seus setores energéticos (especialmente elétrico), mineiro no caso da Bolívia, demografia, território, infraestrutura rodoviária, parque automotor, fatores todos que influem na escolha dos países em estudo como potenciais beneficiários de um sistema de mobilidade elétrica, e dados e informações necessárias para os cálculos de viabilidade.

A segunda parte consiste em um levantamento bibliográfico e documental contendo informações sobre a história dos automóveis elétricos, tipos e principais características, tipos de baterias que são utilizadas, em razão da importância destes elementos para justificar a escolha do veículo elétrico a baterias, utilizando baterias de lítio para a substituição da frota de veículos leves.

A terceira parte corresponde às avaliações econômico-financeiras com abordagens individuais para o caso paraguaio e o boliviano, onde foi considerado um cenário para a perspectiva do consumidor paraguaio e três cenários para a perspectiva do consumidor boliviano. Para a posterior análise da perspectiva social, é considerado um só cenário para ambos países.

Com relação às ferramentas utilizadas nesta investigação, foram utilizadas ferramentas de tomada de decisão para o investimento, com o fim de avaliar o potencial de substituição de VCI por VE para o consumidor de veículos novos, calculados pelas equações (1), (2), (3) e (4). A

partir dos dados obtidos nesta análise foram também feitas análises de sensibilidade em função da quilometragem percorrida por ano, e o impacto da economia de combustível e custo de propriedade em um contrato de compra com financiamento.

$$\bullet \quad PS = \frac{II}{FC} \quad (1)$$

PS = Payback Simples
II = Investimento Inicial
FC = Fluxo de caixa

$$\bullet \quad VPL = \sum_{t=1}^n \left(\frac{FC_t}{(1+i)^t} \right) - II \quad (2)$$

VPL = Valor Presente Líquido
FC_t = Fluxo de caixa
I = taxa de desconto
II = Investimento Inicial
n = Período de anos

$$\bullet \quad VPL = 0 = \sum_{t=1}^n \left(\frac{FC_t}{(1+TIR)^t} \right) - II \quad (3)$$

TIR = Taxa Interna de Retorno
VPL = Valor Presente Líquido
FC_t = Fluxo de caixa
I = taxa de desconto
II = Investimento Inicial
n = Período de anos
TIR = Taxa interna de retorno

$$\bullet \quad CCV = VP \ II + VP \ Cc + VP \ Cp + VP \ D - VP \ Vr \quad (4)$$

CCV = Custo de Ciclo de Vida
VP II = Valor presente do Investimento Inicial
VP Cc = Valor presente do Custo de combustíveis
VP Cp = Valor presente do Custo de propriedade
VP D = Valor presente da depreciação
VP Vr = Valor presente do valor residual

Com respeito à análise sob o ponto de vista da perspectiva social foram desenvolvidos estudos de impacto na base de 10 anos para a sociedade, para uma penetração de mercado de 40 mil VEL's por ano para cada país.

Finalmente, a quarta parte da presente investigação corresponde às conclusões do trabalho e a indicação de trabalhos perspectivas de trabalhos futuros.

3. CONTEXTO ENERGETICO ATUAL NO PARAGUAI E BOLÍVIA

3.1. Paraguai

3.1.1. Setor elétrico

O Paraguai tem uma única empresa de eletricidade integrada verticalmente a Administração Nacional de Energia Elétrica (ANDE), de propriedade do governo paraguaio. ANDE tem o monopólio para a geração, transmissão e distribuição de energia elétrica bem como para a operação do sistema. Neste contexto, observa-se que o Paraguai é o maior gerador de energia, hidroelétrica *per capita* do mundo (MASI, 2011), obtendo sua energia das usinas hidroelétricas construídas em associação com o Brasil (Itaipu) e a Argentina (Yacyretá) com uma quota de 50% em cada projeto.

3.1.1.1. Geração

Itaipu tem uma capacidade instalada de 14.000 MW, com uma produção média anual de 98.287 GWh e Yacyretá tem uma capacidade instalada de 3.200 MW, com uma produção média anual de 20.867 GWh. Acaray é uma hidrelétrica de menor capacidade instalada (200 MW), mas de propriedade exclusiva do Paraguai. Embora a maior parte de população paraguaia esteja conectada à rede elétrica, existem algumas populações isoladas, principalmente na região norte da região Oriental e no Chaco Paraguai às quais são abastecidas por pequenas usinas térmicas (Tabela 1).

Tabela 1: Geração elétrica no Paraguai

Usina	Tipo	Potência Instalada (MW)	Potência Firme (MW)	Fator de capacidade	Energia disponível (GWh /ano)
Itaipú	Hidro	7000	6067,5	0,85	45179
Yacyretá	Hidro	1600	1440	0,68	8578
Acaray	Hidro	200	200	0,51	901
Outras	Térmica	24,94	24,94	0,51	110

Fonte: Baseado em dados do sitio web de (ANDE, 2012b)

A enorme quantidade de energia elétrica produzida representa um excedente subaproveitado pelo país, cujo melhor uso poderia potencializar seu desenvolvimento econômico. A demanda de energia elétrica anual paraguaia representa apenas uma quinta parte desse montante. Isso, principalmente, porque na matriz energética do país, o consumo de energia elétrica só representa 15% do total.

Com relação ao potencial hidrelétrico, a capacidade teórica bruta do país para a hidroeletricidade é de cerca de 111 TWh / ano, dos quais 68 TWh é estimada como sendo economicamente explorável. A capacidade teórica bruta é a energia anual potencialmente disponível no país, se todos os fluxos naturais foram turbinados para baixo ao nível do mar ou para o nível de água da fronteira do país (se o curso de água se estende para outro país), com 100% de eficiência das máquinas (WEC, 2015).

No entanto, grande parte dessa capacidade teórica carece de viabilidade econômica. Mesmo assim o potencial do Paraguai para a expansão da capacidade de geração hidrelétrica é considerável. Paraguai poderia aumentar sua geração de energia elétrica em 19.651 GWh por ano com o desenvolvimento do potencial hídrico dos rios internos e quatro grandes projetos, três deles em associação com a Argentina (Tabela 2). Portanto, as perspectivas para a implementação do projeto de mobilidade elétrica sustentável são altamente apoiadas pela ampla disponibilidade atual e futura de energia elétrica.

Tabela 2: Projetos hidroelétricos no Paraguai

	Potência (MW)	Energia (GWh)
ITACORÁ-ITATI*	830	5453
CORPUS (Pindoí)*	1440	9461
YGUAZU (Machination)	200	1314
AÑA CUA (Machination)*	273	1794
PEQUENAS HIDRO	248	1629
Potencial Total	2991	19651

Fonte: Baseado em dados de (ANDE, 2014c)

* Parte do Paraguai

3.1.1.2. Oferta de energia elétrica

A hidroeletricidade representa quase a totalidade da oferta de energia elétrica no Paraguai, o 0,003 % restante é produzido por pequenas térmicas em localizações isoladas. A oferta de energia elétrica foi de 9.018 GWh em 2013, uma vez subtraídas a exportação, o consumo pelo próprio setor elétrico e as perdas nos centros de transformação, transmissão e distribuição elétrica da geração bruta (Tabela 3).

Tabela 3: Oferta de eletricidade, ano 2013

GERAÇÃO BRUTA	60.381,0
CHE Acaray	894,1
Binacionais	59.483,7
Térmica	3,2
Exportação	47.365,0
Consumo em plantas / consumo	
ANDE	505,7
Perdas	3.492,3
OFERTA	9.018,0

Fonte: Baseado em *Balance Eléctrico* (VMME, 2013)

3.1.1.3. Demanda de energia elétrica

No Paraguai, o consumo de energia elétrica foi de 9018 GWh para o ano 2013 (Tabela 4). No mesmo ano o setor residencial destacou-se por o dinamismo no consumo de eletricidade, registrando um 42,3 % do consumo total, o qual representa o 44,9 % do crescimento total registrado no consumo nacional, em comparação ao ano anterior (795,7 GWh). Com menor percentagem de consumo está o setor industrial com 22,6 % e comercial com 18,6 %.

Tabela 4: Demanda de Energia Elétrica, ano 2013 (GWh)

Comercial	1.677,3
Industria	2.038,1
Setor Público e outros	1.489,0
CONSUMO FINAL	9.018,0

Fonte: Baseado em *Balance Eléctrico* (VMME, 2013)

O consumo médio per capita paraguaio, em 2012, foi muito menor do que nos países membros do Mercado Comum do Sul (MERCOSUL)¹ e mais próximos dos níveis de consumo observados no Equador, Peru e na Colômbia (Gráfico 1). A Figura 1 que se segue indica o Paraguai como um dos países com maior proporção do consumo final destinado ao setor residencial na região.

¹ Brasil (2381 kWh/per capita), Argentina (2944 kWh/per capita), Uruguai (2850 kWh/per capita) e Venezuela (2934 kWh/per capita).

Gráfico 1: Consumo Final de energia elétrica por setores em América do Sul.

Fonte: Baseado em dados de (IEA, 2015) (WORLD BANK, 2014).

Quanto à demanda de potência máxima do Sistema Interligado Nacional (SIN), no período 2003/2013, tem aumentado, passando de 1.191 MW no 2003 para 2425 MW em 2013, obtendo um crescimento de 123,4 MW / ano. No entanto, o ritmo de crescimento da demanda foi de 155,4 MW / ano nos últimos cinco anos, o que é mostrado no gráfico 2.

Gráfico 2: Pico de demanda do SIN no período 2003/2013

Fonte: Baseado em dados de (ANDE, 2014e).

A geração bruta de energia hidroelétrica foi de 59.577 GWh/ano, em média, ao longo dos últimos anos. Desse total, 20% são destinados ao consumo interno. Os restantes 80% são exportados aos países vizinhos Brasil e Argentina (VMME, 2013), e não se espera que a situação do Paraguai como exportador de energia elétrica mude substancialmente no futuro próximo. O gráfico 3 que se segue apresenta a projeção de demanda de energia elétrica para o período 2014-2023.

Gráfico 3. Demanda de Energia e disponibilidade de geração elétrica no Paraguai

Fonte: Baseado em dados de (ANDE, 2014c).

O Plano Maestro do Setor Elétrico (PMSE) considera quatro cenários relacionados ao crescimento do PIB para fazer suas projeções de demanda de potência (Baixo, Médio, Alto II e Alto I). Finalmente foi escolhido o cenário “PIB Alto I (alto crescimento industrial)”. Neste cenário considera-se que o país iniciou um processo de industrialização, e, que depois de décadas de estagnação no setor, tem uma ruptura com o modelo tradicional. O Governo anunciou a transformação de 50% da soja produzida no país a partir de 2013.

Além disso, ao crescimento constante do investimento bruto de capital nos últimos anos, deve ser acrescentado o impacto econômico da incorporação de pequenas indústrias eletro

intensivas (no total cerca de 250 MW, 2.200 GWh, que estão sendo instaladas nos termos do Decreto N° 7406.

A recuperação das expectativas do sector privado, o crescimento da classe média em torno de 50% ao longo dos últimos 10 anos, o investimento público em infraestrutura, a construção de grandes shoppings e hotéis, e o crescimento contínuo do sector financeiro nacional (cerca de 12% ao ano nos últimos cinco anos) são fatores significativos que representam um elevado produto interno bruto na próxima década (ANDE, 2014c).

A taxa de crescimento foi estimada pelo Departamento de Tarifas e Pesquisa de Mercado da ANDE em 9,6% para o período 2013-2023 no Estudo do Mercado Elétrico Nacional, projeção 2013-2023". Com estes dados, no Plano Maestro do Setor Elétrico 2014-2023 o pico de demanda de potência para o ano 2023 é projetado em 6.486 MW (ANDE, 2014c).

Nos fatores acima, é preciso acrescentar os vários projetos previstos nos termos da Lei 5.102/13 de Aliança Público Privada (APP) e 5.074/13 de licitações de obras públicas com financiamento de provedores. Assim também, a instalação de parques industriais em determinadas regiões como Hernandarias, Villa Hayes, Villeta, Itapúa, Pedro Juan Caballero, Concepción, entre outros.

3.1.1.4. Transmissão

O SIN paraguaio, que consiste principalmente em linhas de 220 kV (Tabela 5) (ANDE, 2014d) é dividido em sistemas ligados entre si. Esses sistemas delimitados na Figura 5 são o sistema leste, sistema central, sistema sul, sistema norte, sistema oeste e sistema metropolitano. Sendo este último quem atende mais do que 60% do consumo nacional.

Tabela 5: Linhas de transmissão de eletricidade e transformadores no Paraguai

ANDE	Linha	Longitude	Unidade
Linhas de transmissão	500 kV	364	Km
	220 kV	4022	Km
	66 kV	1267	Km
Potência Instalada	500/220 kV	4538	MVA
	220/66 kV	2255	MVA
	220/23 kV	1905	MVA
	66/23 kV	2133	MVA
Subestações	76		Unidades

Fonte: Baseado em dados de (ANDE, 2014d).

O resumo da estrutura física do sistema de transmissão é mostrado na Tabela 6 e Figura 1.

Tabela 6: Demanda máxima do SIN por subsistema elétrico, ano 2013

Sistema	MW
Metropolitano	1.339
Central	233
Sur	214
Norte	105
Este	421
Oeste	37
Total sistemas (não simultâneo)	2.349
Fator de simultaneidade	0,93
Total sistemas (simultâneo)	2.175
Perdas em transmissão	251
Total SIN	2.425

Fonte: ANDE, Resumo Estatístico 2009-2013 (ANDE, 2013).

Pela incapacidade de sincronizar as Hidrelétricas de Itaipu e Yacyretá, o SIN opera atualmente com dois subsistemas.

- Subsistema 1, UH-IPU como principal fonte de geração
- Subsistema 2 UH-YAC como principal fonte de geração.

Os geradores da CH-ACY são utilizados predominantemente sincronizados com a UH-IPU. Isto a fim de modular o intercâmbio de energia (Itaipu – ANDE).

Figura 1. Mapa do Paraguai por subsistemas de transmissão elétrica.

Fonte: Plano Maestro do Sector Eléctrico 2014-2023 (ANDE, 2014c).

Uma grande conquista visando a sincronização das Usinas binacionais foi o comissionamento, em outubro de 2013, da linha de transmissão em 500 kV Subestações Margem Direita entre Itaipu e Villa Hayes, com um comprimento de 348 km e uma capacidade de transmissão de 2.215 MVA.

3.1.1.5. Distribuição

A quantidade de obras em redes de média tensão, em 2013, chegou a 494 km, o que adicionado ao acumulado até 2012, totalizou 34.419 km. Em relação à baixa tensão, 508 quilômetros foram construídos, acumulando um total de 30,918 km em todo o país (Tabela 7).

Tabela 7: Infraestrutura física de distribuição

Redes de Distribuição (km)	2012	2013
Média Tensão	33.925	34.419
Baixa Tensão	30.410	30.918
Transformadores de Distribuição	2012	2013
Quantidade	41.036	42.564
Potência Instalada (MVA)	2.598	2.699

Fonte: Baseado em dados de (ANDE, 2014e)

O número de usuários com conexão à rede elétrica no país, em 2013, totaliza 1.399.098, com um crescimento médio registrado de 3,1%, no período 2009-2013, atingindo um total de 42.580 novos usuários em 2013.

3.1.1.6. Custo e preço da energia elétrica

Devido à característica especial do setor elétrico paraguaio de depender quase que exclusivamente da fonte de energia hidrelétrica, o custo por kWh para ANDE é particularmente baixo, G. 278 / kWh em 2011 (Tabela 8). A maior parte deste custo é devido ao serviço da dívida atual dos empreendimentos binacionais, de modo que se pode esperar que seja ainda menor no futuro. Os custos de transmissão totalizaram Gs 55.9 por kWh em 2011 (cerca de US ¢ 1,31 / kWh).

Tabela 8: Custo da Eletricidade vendida em 2011

	G/kWh	US¢/kWh
Geração	9,8	0,22
Compra de eletricidade	156	3,65
Transmissão	32,5	0,76
Distribuição	55,9	1,31
Consumidores	23,8	0,56
Total	278	6,50

Fonte: Baseado em dados do Resumo Estatístico 2011 (ANDE, 2011).

A tarifa nacional média de eletricidade é de 313 Gs equivalente a US ¢ 7,32 por kWh, bem abaixo da tarifa média na América Latina de US ¢ 14 por kWh² (CAF, 2011). As tarifas se mantiveram estáveis ao longo da última década e estão ainda acima do custo para a ANDE da energia vendida (em quase US ¢ 1 / kWh).

A tabela 9 mostra que a estrutura de tarifas inclui um subsídio cruzado implícito dos usuários comerciais e residenciais de baixa tensão aos usuários industriais. Também existe uma tarifa social, a qual beneficiou 308.422 (26,1 por cento dos clientes residenciais) em 2013 e custou ao Governo G 59,9 bilhões (aproximadamente US \$ milhões).

Tabela 9: Tarifa média de energia elétrica 2009-2013

Tipo de Usuário	2009	2010	2011	2012	2013
Residencial	354	352,9	362	365,4	359,5
Comercial	339	339,1	343,2	340,9	341,3
Industrial	232,1	229,9	241,1	254,5	247,8
General	279,2	290,1	273,7	280	255,8
Governamental	215,7	202,6	262,2	215,1	205,2
Alumbrado publico	398,4	401	376,9	364,8	340,5
Tarifa média (G/kWh)	310	307,5	318,2	320,4	313,2
Tarifa média (US\$/MWh)	62,2	64,6	75,5	72,2	71,9

Não inclui o imposto ao valor adicionado (IVA)

Fonte: ANDE, Resumen Estadístico 2009-2013 (ANDE, 2013).

A tarifa social (Lei 3480/2008) visa beneficiar consumidores residenciais de baixa tensão que consomem menos de 300 kWh por mês e é aplicada em proporção ao consumo como pode ser observado no gráfico 4.

² Banco de Desenvolvimento de América Latina (CAF), 2011, "La Infraestructura en el Desarrollo Integral de América Latina. Diagnóstico estratégico y propuesta para una agenda prioritaria. Energía eléctrica"

Gráfico 4. Número de beneficiários da tarifa social por patamares de consumo

Fonte: Baseado em dados de (ANDE, 2013) (ANDE, 2014e)

3.1.2. Produtos petrolíferos

O sistema produtivo e de transporte paraguaio é absolutamente dependente do petróleo importado obtido pelo país no mercado internacional. Quase todas as máquinas usadas como meio de transporte, na mecanização da produção e da indústria são movidos usando combustíveis derivados de petróleo. Apenas uma pequena frota começa a usar um tipo de biocombustível produzido no país, como o caso do etanol.

Em 2008, os preços do petróleo atingiram valores recordes no preço internacional já alcançados, com mais de 140 dólares por barril de petróleo bruto. Recentemente os mesmos baixaram consideravelmente para 50 dólares o barril. Esta instabilidade no preço do petróleo pode representar uma séria ameaça na competitividade para um país importador líquido como o Paraguai.

Segundo dados estatísticos do Banco Central do Paraguai, o país recebeu o valor de 564,79 milhões US\$, como resultado da exportação da energia hidrelétrica considerada (BCP, 2015). Em 2013, isso equivale aproximadamente a um terço dos fundos gastos para importar derivados de petróleo, pois o país carece de produção doméstica de hidrocarbonetos e fechou sua última refinaria em 2005.

Portanto, as importações representam 100% de sua demanda de petróleo, derivados e gás. O Diesel e a gasolina representam 65,7% e 21,7% das importações de produtos petrolíferos, respectivamente. A Tabela 10 mostra o consumo de combustível no setor dos transportes em 2013 (SIEN, 2013).

Tabela 10: Consumo de combustível no setor transporte, ano 2013 (tep.)

Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	18,212
Gasolina	368,852
Diesel	1,089.860

Fonte: Sistema de Información Energética Nacional (SIEN, 2013).

O valor das importações de produtos petrolíferos alcançou cerca de US \$ 1,7 bilhões em 2014 (Gráfico 5). As despesas em diesel representam 65,2%, do total gasto nas importações de produtos petrolíferos (BCP, 2015).

Gráfico 5: Valor da importação total de combustíveis em milhões de dólares FOB nos últimos 20 anos.

Fonte: Banco Central do Paraguai. Anexo Estatístico (BCP, 2015).

3.2. Bolívia

3.2.1. Setor elétrico

No setor elétrico boliviano a produção de eletricidade é segmentada verticalmente em três atividades: geração, transmissão e distribuição. Todas as empresas participantes são reguladas pela *Autoridad de Fiscalización y Control Social de Electricidad* (AE). Pela natureza de monopólios naturais, distribuição e transmissão de energia elétrica são regulados, dando-lhes um retorno garantido. No entanto, para a geração de eletricidade, a existência de condições de concorrência perfeita é assumida (ALIAGA et al., 2012)

O Sistema Interligado nacional (SIN) consiste nos mercados atacadista e varejista de eletricidade. O Mercado Atacadista de Energia Elétrica (MEM) é composto por empresas de geração, transmissão, distribuição e os consumidores não regulamentados; enquanto o Mercado Varejista da Eletricidade (MIM) é composto por empresas de distribuição e consumidores regulados.

3.2.1.1. Geração

No ano 2013, a geração bruta total na rede foi de aproximadamente 6,3 TWh. Desse montante, 67% são provenientes de termoelétricas, seguido de 37% de hidroelétricas (AE, 2014). O parque de geração encarregado de atender à demanda do SIN historicamente teve investimentos predominantemente em usinas termelétricas, resultado da conveniência para os investidores privados da pronta recuperação dos investimentos neste tipo de empreendimento e os menores volumes de investimento necessário em comparação com projetos hidráulicos.

Em 2010, a ENDE iniciou um processo de nacionalização das empresas geradoras. Atualmente 76,8% da geração estão nas mãos do Estado e, desde então, vem priorizando

investimentos em novos projetos de energia alternativa para aumentar a geração de forma diversificada (Tabela 11) (MHE, 2014b).

Tabela 11: Geração Elétrica na Bolívia

Empresas	Usinas	MW	GWh
Hidroelétricas			
COBEE	Zongo y Achachicala	188	1000,1
CORANI	Santa Isabel y Corani	148,7	929,5
COBEE	Miguillas	21,1	114,4
ERESA	Yura	19	77,8
SYNERGIA	Kanata	7,5	16,4
HB	Taquesi	89,3	369,2
SDB	Quehata	2	7,4
Termelétricas			
EGSA	Guaracachi	322,1	1820,2
EGSA	Santa Cruz	38,4	40
VHE	Carrasco	124	667,6
VHE	Valle Hermoso	107,7	438,9
VHE	El Alto	46,2	211,3
EGSA	Aranjuez	35,4	158,7
CECBB	Bulo Bulo	87,3	491,2
EGSA	Karachipampa	14,4	85
COBBE	Kenko	17,8	45,9
GBE	Guabirá	21	79,5
ENDE ANDINA	Entre Rios	98,1	734,6
ENDE GEN	Moxos	32,9	60
ENDE GEN	Trinidad	2,9	0

Fonte: Baseado em dados de (CNDC, 2015)

No entanto, as fontes termoeletricas estão em franca expansão dentro do mercado elétrico desse país, devido à ampla disponibilidade de gás natural, as usinas termelétricas são percebidas como a melhor alternativa para a expansão da capacidade de geração elétrica do país. Isso a despeito do grande potencial subaproveitado dos recursos hidroelétricos, geotermias, eólicos, bioenergéticas e solares (BOLIVIA, 2013).

Verifica-se a necessidade de uma maior oferta de energia elétrica na região do Norte do País, o que pode ser conseguido através da construção de usinas hidrelétricas. O território boliviano tem um potencial significativo para a expansão das energias alternativas como fonte de geração de energia para os próximos anos. Segundo o *Plan óptimo de expansión del Sistema Interconectado Nacional 2012-2022* do *Comité Nacional de Despacho de Carga da Bolívia* a

participação da fonte térmica dentro da matriz vai diminuir em 17% em 2022, enquanto a percentagem de capacidade hídrica juntamente com outros comprovantes de energias renováveis deveria aumentar em 27%, o que mostra o potencial para a expansão energética diversificada no país (Gráfico 6) (MHE, 2012).

Gráfico 6: Expansão da geração de energia 2014-2022

Fonte: Baseado em dados de (MHE, 2012)

Segundo o Plano Elétrico do Estado Plurinacional de Bolívia, a expansão da geração considera critérios de universalidade, responsabilidade, acessibilidade, continuidade, qualidade, eficiência, taxas equitativas e cobertura necessária para o fornecimento de energia elétrica, com base nas diretrizes da política de energia elétrica boliviana e de acordo com os pilares da *Agenda Patriótica*. No marco destes critérios, na tabela 12 podem-se observar os projetos de geração planejados pelo governo boliviano com o fim de desenvolver seu potencial de geração elétrica e torna-se exportador líquido do energético (MHE, 2014b).

Tabela 12: Projetos de geração na Bolívia, 2014

USINA	PROJETO	LOCALIZAÇÃO	POTENCIA (MW)
Hidrelétrica	Complejo hidroel. Río Grande	Cochabamba-Chuquisaca- Santa Cruz (SC)	2.882
Hidrelétrica	Cachuela Esperanza	Beni - Pando	990
Hidrelétrica	El Bala	La Paz - Beni	1.680
Hidrelétrica	Misicuni Fases I y II	Río Misicuni, Molle Molle – Chuquisaca (C)	120
Hidrelétrica	San José Ríos	Málaga - Paracti, San José - Chuquisaca	120
Hidrelétrica	Umapalca (Miguillas)	Río Miguillas - La Paz	83
Hidrelétrica	Palillada (Miguillas)	Río Miguillas - La Paz	113
Hidrelétrica	Ivirizu	Río Ivirizu, Monte Punku- Chuquisaca	164
Hidrelétrica	Rositas	Río Grande, Abapó - SC	400
Hidrelétrica	Carrizal Fases I, II y III	Río Camblaya, Tarija y Chuquisaca	347
Hidrelétrica	Icla	Río Pilcomayo, Chuq., Potosí	102
Hidrelétrica	Margarita	Río Pilcomayo, Chaco - Tarija	150
Eólica	Qollpana	Pocona - Cochabamba	3
Eólica	Parque Eólico*	Santa Cruz y Cochabamba	50
Biomassa	San Buenaventura	San Buenaventura- La Paz	10
Geotérmica	Laguna Colorada Fase I y II	Laguna Colorada - Potosí	100
Fotovoltaica	Parque Fotovoltaico*	La Paz - Oruro	20
Térmica a Gás	Unidade Térmica EL Alto ALT02**	El Alto – La Paz	32
Térmica a Gás	Unidade Térmica Buló Buló - BUL03	Entre Ríos - Cochabamba	48
Térmica a Gás	Termelétrica do Sul	Chaco - Tarija	168
Térmica a Gás	Termelétrica de Warnes	Warnes - Santa Cruz	200
Térmica a Gás	Termelétrica na Área Oriental	Área Oriental	488
Térmica a Gás	Termelétrica na Área Central	Área Central	89
Térmica a Gás	Termelétrica na Área Sur	Área Sur	83
Total			8442

Fonte: Baseado em dados de (MHE, 2014b)

3.2.1.2. Oferta de energia elétrica

Em 2013, a maior parte da oferta de energia elétrica na Bolívia foi gerada em usinas termelétricas, aproximadamente 4.709 GWh, representando 57,6 % do total de geração bruta de energia elétrica. No mesmo ano, as usinas hidrelétricas com 31% do mesmo total geraram 2.535 GWh. A oferta de energia elétrica foi de 6.961 GWh, em 2013, uma vez subtraído o consumo pelo próprio setor elétrico e as perdas nos centros de transformação, transmissão e distribuição elétrica da geração bruta (Tabela 13).

Tabela 13: Balance de energia elétrica da Bolívia, 2013 (GWh)

GERAÇÃO BRUTA	8.162,9
Hidráulica	2.535,0
Térmica	4.709,2
Consumo em plantas	190,5
Perdas	1011,34
OFERTA	6.961,0

Fonte: Baseado em dados de (BOLIVIA, 2013)

3.2.1.3. Demanda de energia elétrica

Segundo os dados do Balanço Energético Nacional da Bolívia, o consumo de energia elétrica foi de 6.961 GWh para o ano 2013. No mesmo ano, o setor residencial foi responsável por 4.197 GWh, equivalente a 37 % do consumo total de eletricidade, a indústria registrou um consumo de 1.882 GWh equivalente a 27% de mesmo total. Com menor percentagem de consumo, o setor comercial demandou 1596 GWh em 2013, 23% do total (Tabela 14). O consumo médio per capita boliviano em 2012 foi o menor dentre os países da região³ (Gráfico 9).

³ Brasil (2381 kWh/per capita), Argentina (2944 kWh/per capita), Uruguai (2850 kWh/per capita) e Venezuela (2934 kWh/per capita).

Tabela 14: Demanda de Energia Elétrica, ano 2013 (GWh)

Setor	GWh
Residencial	2.600,87
Indústria	1.882,36
Comercial	1.596,69
Setor Público e outros	882,07
CONSUMO FINAL	6.961,01

Fonte: Baseado em dados do Balanço Energético Nacional (BOLÍVIA, 2013).

Quanto à demanda de potência máxima do Sistema Interligado Nacional (SIN), no período 2003/2013, tem aumentado, passando de 684 MW em 2003 para 1201 MW em 2013, obtendo um crescimento de 40 MW/ano. No entanto, o ritmo de crescimento da demanda foi de 63 MW/ano nos últimos quatro anos, o que é mostrado no gráfico 7 que se segue

Gráfico 7: Pico de demanda do SIN no período 2003/2013.

Fonte: (CNDC, 2015)

A demanda total de energia e de potência considera a demanda projetada necessária para cobertura do serviço, a exigência do setor produtivo e os sistemas isolados, bem como a projeção do crescimento vegetativo das empresas de distribuição e consumidores não regulados. O aumento necessário de suprimento de energia elétrica para o período 2013-2025 atinge um total

de 13.737 GWh e de potência 2.114 MW, dos quais 43% são resultados do aumento na demandada do setor produtivo, 39% para atender a crescimento vegetativo da demanda das distribuidoras e consumidores não regulamentados, 10% para a interligação dos sistemas isolados ao SIN e os 8% restantes para atender aos requisitos de cobertura (Tabela 15) (MHE, 2014b).

Tabela 15: Projeção de demanda incremental de energia y potência 2013-2025

Setor	2013-2015		2016-2020		2021-2025		Total	
	(GWh)	(MW)	(GWh)	(MW)	(GWh)	(MW)	(GWh)	(MW)
Cobertura	226	41	405	71	409	74	1.039	186
Interconexão ao SIN de AS	312	60	471	95	641	119	1.424	274
Produtivo	437	69	3.819	526	1.689	233	5.945	829
Crescimento vegetativo (Distribuidoras + não regulados)	946	152	1.912	294	2.471	380	5.329	826
TOTAL	1.921	322	6.607	987	5.209	806	13.737	2.114

Fonte: (MHE, 2014b)

O sistema de transmissão para 2025 vai triplicar em quantidade de linhas de transmissão do STI, em relação ao existente em 2012. Também é importante mencionar que existem projetos de linhas de 500 kV para exportação do esperado excedente de energia elétrica resultado dos variados projetos de geração (MHE, 2014b).

3.2.1.4. Transmissão

O Sistema Interconectado Nacional (SIN) é o sistema elétrico conformado pelas instituições de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica e fornece energia as cidades de La Paz, Oruro, Cochabamba, Santa Cruz, Potosí, Chuquisaca e Beni. Ele administra 90% da distribuição de energia do país, o restante 10% e gerado em sistemas isolados.

A Lei da Eletricidade define o *Sistema Troncal de Interconexión* (STI), como parte do SIN, compreendendo as linhas de alta tensão, incluindo as suas subestações correspondentes. Os

componentes do STI devem operar em tensões iguais ou superiores a 69 kV, e funcionam sob a direção do Comité de Despacho de Carga Nacional (CNDC).

O sistema de transmissão na Bolívia Consiste em linhas de 230, 115 e 69 kV, como se observa na tabela 16.

Tabela 16: Linhas de transmissão de eletricidade na Bolívia

Empresas de Transmissão	Linhas	Km.
TDE	230 KV	958.2
	115 KV	953.8
	69 KV	112.1
ISA Bolivia	230 KV	587.0
ENDE	115 KV	402.4
	230 KV	255.4
Total		3268.9

Fonte: Baseado em dados de (CNDC, 2014)

3.2.1.5. Distribuição

As empresas de distribuição envolvidas no MEM compram a energia dos geradores em grandes quantidades e com altos níveis de tensão, e usam o sistema de transmissão para transportar essa energia para seus pontos de conexão. Neste mercado a procura de energia está condicionada, principalmente, pelas características da demanda das empresas de distribuição (87% do mercado de energia). As distribuidoras participam também do MIN, através da venda de energia em quantidades menores e menores níveis tensão aos consumidores regulados (ALIAGA et al., 2012).

No segmento de distribuição até 2012 havia 49 empresas e / ou cooperativas registradas na Autoridade de Controle Social de Energia Elétrica (AE), o mesmo que atendem a 81% da população boliviana. As principais empresas de distribuição no INS são: CRE, em Santa Cruz, CESSA em Chuquisaca, Delapaz em La Paz, ELFEC em Cochabamba, Oruro ELFEO, ENDE em

Beni e SEPSA em Potosi; dos quais Delapaz, ELFEC e CRE concentraram 75,6% dos usuários e 70% do consumo de eletricidade INS (CNDC, 2015).

3.2.1.6. Custo e Preço da energia elétrica

A tarifa do gás praticada pelo governo para à geração de energia elétrica é de 1,30 dólares/Mbtu o qual representa menos de um quarto do preço do gás comercializado no mercado internacional (Gráfico 8). Esse subsídio governamental no setor elétrico está sendo verticalizado a fim de abastecer o consumo interno rural e urbano.

Gráfico 8: Preços no mercado interno do gás natural na Bolívia

*(SIN) – Sistema Interligado Nacional

** (SA) – Sistemas Isolados

Fonte: Baseado em dados de (MHE, 2014)

Além disso, como medida para beneficiar a população de baixa renda, o Estado através de um acordo com as empresas de eletricidade a operar no mercado grossista da eletricidade criou a Tarifa Dignidade, que é um desconto de vinte e cinco por cento (25%) em comparação com o montante total faturado pelo consumo mensal de energia elétrica. O custo deste subsídio é suportado pelas empresas de geração, distribuição e transporte de energia elétrica na proporção do valor das suas compras ou vendas de eletricidade.

Este subsídio, estabelecido por Decreto Supremo 28.653 de 21 de março de 2006, é aplicado para os usuários residenciais com um consumo de até 70 kWh / mês servidos por empresas de distribuição que operam no SIN e SA. (MHE, 2008). Beneficiou um total de 933.255 em 2013 e custou as empresas do setor elétrico 69 milhões de bolivianos (aproximadamente US\$ 10 milhões).

A taxa média residencial, tanto para a região urbana quanto rural, no país, é de US\$ 0,05 / kWh, bem abaixo da tarifa média na América Latina de US ¢ 14 por kW (CAF, 2011).

3.2.2. Produtos petrolíferos

A Bolívia possui a segunda maior reserva de gás natural na América do Sul (BOLIVIA, 2013). Os hidrocarbonetos representaram 93,9% da produção total de energia primária em 2013, 80,3% na forma de gás natural, com uma média de 60,4 milhões de metros cúbicos por dia. 60% foi exportado para o mercado brasileiro, 21% para a Argentina e 19% entregues para o mercado interno (BOLIVIA, 2012). Além de uma fonte de energia, o gás natural é um dos principais motores da economia e da estabilidade social, devido às receitas geradas na exportação. O gráfico 9 mostra os preços médios internacionais de venda de gás natural e os do mercado interno boliviano (MHE, 2014).

Não obstante os enormes recursos de gás natural, que também permitem a produção de líquidos associados, Bolívia depende do combustível importado para o setor de transporte doméstico. Em 2012, 2,1 milhões de tep foram importados; diesel (21,7%), gasolina (55,7%) e de combustível de jacto (10%) (BOLIVIA, 2013). O Ministério da Economia e Finanças Públicas estima as despesas com importações de combustível em cerca de US \$ 800 milhões, parcialmente subsidiados pelo governo (MEFP, 2013).

Gráfico 9: Preços médios de venda do gás natural boliviano.

*ENARSA - Energía Argentina S.A.

*GSA - Contrato de fornecimento de gás, Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB) vende gás natural a Petrobras no Brasil

Fonte: Baseado em dados de (MHE, 2014).

3.2.3. Mineração de Lítio.

O Projeto de Lítio, foi iniciado em 2012 com o processo de desenvolvimento e produção de cátodos de íon de lítio. O desenvolvimento do projeto apresentou uma significativa exigência tecnológica para o *Ministerio de Minería y Metalúrgia*. Este projeto na primeira fase piloto iria produzir 480 toneladas/ano de carbonato de lítio e 12.000 toneladas por ano de cloreto de potássio. Além disso, sua industrialização está prevista para 2016, com a instalação da planta industrial de carbonato de lítio.

Entre as principais realizações relacionadas com a industrialização das baterias de lítio na Bolívia podem ser indicadas (MMM, 2014):

- Produção piloto de carbonato de lítio grau técnico⁴ (16 toneladas)
- Instalação e montagem da planta piloto de BIL's
- Instalação de laboratório eletroquímico em La Palca

⁴ Com a pureza suficiente para seu uso em baterias.

- Montagem experimental de baterias de lítio de alta capacidade (para bicicletas elétricas) e baixa capacidade (baterias para telefones celulares)
- Construção de piscinas de evaporação para a produção de matéria-prima em escala industrial no Salar de Uyuni (180 hectares impermeabilizadas)
- Conclusão do projeto de Estudo Técnico, Econômico, Social e Ambiental (TESA) para a linha de transmissão da rede de alta tensão da estação de sub San Cristóbal, a planta Llipi e Salar de Uyuni.
- Bolívia tem assinado acordos de cooperação tecnológica com vários países, a ser Brasil, Venezuela, Coréia do Sul, Irão, Holanda e a França.

4. ASPECTOS TECNOLÓGICOS DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS (VE's)

Um veículo elétrico (VE) é um veículo propulsado por um ou mais motores elétricos alimentados com eletricidade de qualquer fonte, armazenada em baterias secundárias ou outro sistema de armazenamento de energia.

Fazendo uma comparação com o VCI, o qual é acionado por motor de combustão interna, o VE apresenta duas vantagens importantes: maior eficiência energética e menor emissão de poluentes. Assim, reduzindo o consumo de combustíveis e contribuindo para preservar a qualidade do meio ambiente.

Com respeito à eficiência, a do motor elétrico supera os 90%, bem mais elevada do que a do motor de combustão interna ($\pm 25\%$ no motor Otto, a gasolina, e $\pm 35\%$ no diesel). Além disso, o veículo elétrico não demanda energia quando está parado no trânsito ou se deslocando levado pela inércia do movimento, ao contrário dos VCI's que precisam ficar ligados e consomem energia o tempo todo. Os sistemas de embreagem e câmbio, além disso, dissipam de 15 a 20% da energia mecânica produzida pelo motor do VCI. (ABVE, 2013)

Em relação à segunda vantagem, é importante ressaltar que para avaliar corretamente as emissões reais dos VE, o modo como a energia elétrica é gerada é um fator importante a ser considerado. O processo de geração de energia elétrica pode ser realizado de diversas maneiras, cada uma com o seu próprio impacto ambiental, dependendo da fonte de energia. A geração de eletricidade com base em fontes renováveis de energia, tais como hídrica, solar ou eólica, tem quase zero de emissões de GEE, enquanto a geração com base em uma fonte fóssil, como o petróleo, carvão ou combustível, têm as maiores emissões de GEE⁵ (FARIA et al., 2012).

No entanto, inclusive quando a energia elétrica é gerada com combustíveis fósseis, a energia requerida pelas usinas e as emissões decorrentes resultam menores que aquelas devidas ao consumo de combustíveis por os VCI, graças à maior eficiência dos motores elétricos. Isto inclui as usinas que utilizam o carvão mineral como combustível, excepcionando as usinas geradoras que apresentem eficiência inferior à média. É importante notar que às emissões nas

⁵ Apesar de que a geração de energia elétrica baseada em fontes renováveis e nuclear não causam emissões de GEE durante a etapa de operação, elas não são uma fonte de energia com emissões zero. A etapa de abastecimento, construção de usinas e desmantelamento precisam energia, envolvendo emissões indiretas.

usinas devem ser somadas aquelas devidas à produção, processamento e transporte dos combustíveis e que a energia elétrica pode ser obtida a partir de qualquer fonte primária, inclusive de fontes renováveis (ABVE, 2013).

No sistema de frenagem regenerativa, o motor opera como gerador, que oferece a resistência ao movimento das rodas, enquanto energia elétrica é gerada e armazenada na bateria. A tecnologia de frenagem regenerativa proporciona uma importante redução de consumo com relação aos carros convencionais onde a energia inercial finalmente se perde. Do efeito combinado desses fatores, resulta que a eficiência “do tanque à roda⁶” do VCI aproximasse a 15%, sendo que para os VE’s aproximasse a 70% quando se computam, além das perdas do motor, as que ocorrem na carga e descarga das baterias (ABVE, 2013).

Os países com a maior frota de veículos elétricos em utilização, atualmente, obtêm a maior parte da energia elétrica a partir da queima de combustíveis fósseis. Com exceção da França que obtém a maior parte da energia elétrica a partir de usinas nucleares e da Noruega que obtêm quase que exclusivamente de usinas hidroelétricas (tabela 17).

Tabela 17: Países com maior fatia de mercado mundial de veículos elétricos a bateria e total de frota elétrica em relação a suas fontes de geração de energia elétrica.

País	Vendas de VEB - 2012	Total de VE* - 2012	Geração de Eletricidade por fonte - 2012			
			Comb. Fósseis	Nuclear	Hidrelétrica	Outros
Japão	15.937	44.727	89,0%	1,4%	8,4%	1,2%
Estados Unidos	14.592	71.164	69,7%	18,8%	7,2%	4,2%
China**	8.733	11.573	78,6%	1,8%	17,9%	1,8%
França	6.067	20.000	9,5%	75,7%	11,6%	3,3%
Noruega	3.883	10.000	2,3%	0,0%	96,7%	1,1%
Alemanha	1.294	5.555	66,9%	15,7%	4,6%	12,8%
Reino Unido	1.167	8.183	73,3%	18,4%	2,3%	6,0%
Outros	5.009	8.798	-	-	-	-
Total	56.682	180.000	-	-	-	-

Fonte: Baseado em dados de IEA - Global EV Outlook (IEA, 2013) e IEA Statistics (IEA, 2015).

*Inclui (VHCR) Veículos Híbridos conectados à rede, (VEB) Veículos elétricos a baterias e (VECC) Veículo elétrico com célula combustível. ** Dados de geração elétrica para 2010.

⁶ Também chamada de *downstream*, e a uma análise utilizada para avaliar o consumo total de energia e as emissões associadas de todo o ciclo do combustível, incluindo a sua pegada de carbono, para veículos automóveis.

A pesar das vantagens do veículo elétrico, sua adoção a nível mundial ainda é incipiente como mostrado na tabela 8. Isto pode ser explicado por três fatores principais, elevado custo de aquisição, infraestrutura relacionada insuficiente, e em alguns casos menor autonomia em comparação aos veículos convencionais.

4.1. Histórico dos Veículos Elétricos

A história dos veículos elétricos pode ser dividida em três grandes etapas, marcadas principalmente por descobrimentos tecnológicos e eventos que influenciaram os nível de preços do petróleo, a fonte de energia primaria necessária para alimentar o MCI do seu principal competidor, o VCI. A primeira etapa, entre 1832 e 1910's refere-se a invenção dos primeiros VE's e seus primeiros passos; a segunda etapa entre 1920's e 1973 corresponde ao declive dos VE's; e a terceira etapa entre 1973 e a atualidade, a seu ressurgimento. O objetivo desta seção não é fazer uma revisão exaustiva da história dos veículos elétricos, mas simplesmente estabelecer uma linha do tempo que apresente uma breve síntese dos acontecimentos mais relevantes na história dos veículos elétricos, classificados nas mencionadas etapas:

4.1.1. Primeira etapa: início e rivalidade tecnológica (1832- 1910's)

Esta etapa começa com a invenção dos primeiros veículos elétricos simultaneamente na Escócia e nos Estados Unidos, e caracterizada pela competitividade entre as diferentes tecnologias nascentes no setor automotivo, onde o VE recebe grande aceitação dos usuários e por um tempo é considerado superior aos competidores. A etapa termina na década de 1910's após uma combinação de fatores que reduziram a competitividade aos VE's. Dentre estes fatores estão a ampliação do sistema de estradas dos EUA, a introdução no mercado do primeiro VCI de produção em massa, a invenção do arranque elétrico, e a descoberta de grandes reservas de petróleo em Texas, EUA.

A seguir, são indicados os principais acontecimentos em ordem cronológica (IEA, 2013; JUNIOR, 2014: citando a CASTRO, 2012; NOCE, 2009; MACHADO, 2015; BURN, 2015):

- 1832–39: O escocês Robert Anderson desenvolveu o primeiro veículo acionado por motor elétrico, uma carruagem.
- 1834: Nos Estados Unidos, Thomas Davenport inventa e instala o primeiro motor elétrico de corrente contínua num automóvel que operava numa pista circular eletrificada.
- 1842: Robert Anderson se juntou a Thomas Davenport para construir um veículo elétrico movimentado por baterias, as quais ainda careciam da capacidade de ser recarregadas.
- 1859: Primeira demonstração de uma bateria recarregável que utiliza eletrodos de chumbo mergulhados em uma solução de ácido sulfúrico, realizada pelo francês Gaston Planté.
- 1870: Foi motorizada uma carruagem para estrada com um motor elétrico por David Salomon.
- 1882: Na Inglaterra foi desenvolvido um veículo elétrico com uma bateria de chumbo ácido, por William Ayrton e John Perry.
- 1885: Primeiro automóvel prático está em produção na Europa: o Benz de um cilindro e três rodas, uma máquina movida a gasolina.
- 1888: Primeiro automóvel elétrico de quatro rodas é construído pelo engenheiro alemão Andreas Flocken.
- 1897: Os primeiros veículos elétricos comerciais se unem à frota de taxi da cidade de Nova Iorque. A montadora “Pope Manufacturing Co.”, torna-se a primeira montadora em grande escala de VE nos Estados Unidos.
- 1899: Primeiro veículo elétrico, em viajar a mais de 100 km por hora, chamado "*La Jamais Contente*", é construído na França.
- 1900: Nos Estados Unidos, 4.192 carros são produzidos este ano: 1.681 carros a vapor, 1575 a energia elétrica, e apenas 936 carros a gasolina, de acordo com o Censo dos EUA.
- 1904: Mais de um terço de todos os veículos em Nova York, Boston e Chicago são elétricos.

- 1908: Início da produção em massa dos VCI. O Ford Modelo T é introduzido no mercado por Henry Ford, com MCI alimentado à gasolina e oferecido inicialmente em US\$ 850, preço que foi sendo reduzido até atingir 265 dólares em 1923. Em contrapartida, o preço dos veículos elétricos, no ano de 1912 chegou a alcançar cerca de US\$ 1.750.
- 1912: Invenção do motor de arranque elétrico, por Charles Kettering, evitando a necessidade do uso da manivela, torna mais fácil para o usuário dirigir carros movidos à gasolina.
- 1912: O lançamento do Cadillac neste ano incorpora a partida elétrica ao invés da partida à manivela; logo após na mesma década, as demais montadoras fazem o mesmo.
- 1912: O número de VE's no mundo atinge o pico histórico de 30.000 unidades.

4.1.2. Segunda etapa: perda de competitividade e estagnação (1920's - 1973)

Esta etapa começa na década de 1920. Nela o desenvolvimento tecnológico da indústria automobilística foi concentrado para os MCI. Portanto, esta etapa se caracteriza pela predominância dos VCI sobre os VE, ficando a tração elétrica quase que reservada aos meios de transporte em massa como ônibus, bondes e trens, e à movimentação de cargas industriais⁷, com algumas exceções relacionadas a problemas pontuais de aprovisionamento de petróleo em épocas de guerra. A etapa finaliza com o renovado interesse nos veículos elétricos devido ao embargo do petróleo da OPEP em 1973.

A seguir, são indicados os principais acontecimentos em ordem cronológica (NOCE, 2009; BURN, 2015; IEA, 2013):

- 1920's: O automóvel elétrico não consegue competir e perde sua popularidade; são cobradas taxas mais elevadas por seu peso maior (devido a bateria), eles estão limitados a distâncias mais curtas, com poucas estações de carregamento, as versões disponíveis são de menor potência que os VCI. Ao mesmo tempo, a gasolina barata torna mais desejáveis aos VCI.

⁷ Empilhadeiras e máquinas de tração industriais utilizadas em minas

- 1933-1945: Uma segunda pequena onda de interesse em carros elétricos, começa na Inglaterra e Europa, estimulada pelo racionamento de gasolina pela II Guerra Mundial. Pequeno número montadoras de automóveis alemães, franceses e holandeses, produziu um punhado de veículos elétricos para o transporte durante o racionamento de gasolina.
- 1947: Também no Japão, o racionamento de petróleo leva a montadora “Tama” a lançar um carro elétrico de 4.5hp com uma bateria de chumbo-ácido de 40V.
- 1966: O Congresso dos EUA introduz uma legislação recomendando veículos elétricos como meio de reduzir a poluição do ar.
- 1973: O embargo de petróleo da OPEP provoca altos preços do petróleo, longas filas nos postos de abastecimento de gasolina, e renovado interesse em VE’s.

4.1.3. Terceira etapa: retorno dos VE’s (1973 - atualidade)

Esta etapa começa com os choques de petróleo de 1973 e 1979, com altos preços do petróleo que promoveram o retorno a considerar os VE’s como alternativa para a mobilidade e aumentaram as pesquisas relacionadas. Ao longo desta etapa surgiu um novo impulso ao desenvolvimento de VE’s, com a preocupação mundial pelas emissões de GEE e suas consequências no meio ambiente e na saúde humana. Já na década de 1990 os principais fabricantes de automóveis do mundo ficaram envoltos num intenso processo de pesquisas e desenvolvimento de carros elétricos e híbridos. Elevados preços do petróleo desde 2005 aceleraram o processo de P&D dos VE’s, focando-se também nas baterias secundárias associadas, especialmente as de lítio-íon.

A seguir são indicados os principais acontecimentos em ordem cronológica (HOYER, 2008; IEA, 2013; BURN, 2015):

- 1976: Programa "PREDIT" do governo da França acelera as P&D relacionadas aos VE’s.
- 1990: Califórnia aprova o Mandato de Emissões Zero de Veículos (ZEV), na Califórnia, ordenando que 2% de todos os carros vendidos no estado sejam de emissões zero até

1998. Esta exigência é estendida para 5% até 2001 e 10% até 2003. Além disso, a Ford produz a vão utilitária elétrica “Ecostar” com o sistema de frenagem regenerativa.

- 1996: General Motors produz e começa a locação do carro elétrico EV1, para cumprir com o ZEV, o EV1 não era disponível para venda. Também neste ano, a bateria de níquel hidreto-metálico foi desenvolvida para ser grande o suficiente para um carro híbrido.
- 1997: No Japão, a Toyota começa as vendas do Prius, primeiro carro híbrido comercial do mundo. Vende 18 mil no primeiro ano de produção.
- 2008: O preço do petróleo atinge US\$ 145 por barril.
- 2010: Nissan lança ao mercado um VEB com preço competitivo, alcance de 100 milhas, bateria de lítio-íon, e frenagem regenerativa, o Nissan LEAF.
- 2011: O maior serviço de partilha de carros elétrico do mundo “Autolib” é lançado em Paris, com um estoque alvo de 3.000 VE’s.
- 2011: O Nissan LEAF ganha Carro Europeu do Ano.
- 2011: O número de VE’s no mundo atinge novo pico histórico de 50.000 unidades.
- 2011: O consórcio da frota do governo Francês compromete-se à compra de 50.000 VE’s ao longo de quatro anos.
- 2012: O VEHP Chevrolet Volt supera à metade dos modelos de automóveis no mercado norte-americano.
- 2012: O número de VE’s no mundo ultrapassa as 180 mil unidades.

4.2. Tipos de veículos elétricos

Segundo sua concepção, podemos classificar os VE’s em três categorias com diferentes configurações: vários tipos diferentes de veículos elétricos híbridos (VEH’s) cuja propulsão corresponde a uma mescla entre as tecnologias de combustão interna convencionais e a tecnologia de veículos elétricos; Veículos Elétricos Híbridos Plug-in (VEHP’s), os quais se

diferenciam dos VEH's pela capacidade de recarga da bateria mediante sua conexão à rede elétrica; e os veículos elétricos a baterias (VEB's) que são alimentados 100% por energia elétrica.

4.2.1. Veículos elétricos híbridos

Para considerar um veículo como híbrido, por definição, o mesmo deve depender de mais de um motor para a sua propulsão. O tipo mais empregado e estudado de veículos híbridos é o que combina motor de combustão interna e motor elétrico. Os VEH's possuem como maior exigência a capacidade de potência. Assim, as exigências dos VEH's com relação às baterias são menores do que dos VEB's. Em relação à parte elétrica dos híbridos, a mesma pode funcionar como motor ou gerador. Quando funcionando como motor, tende-se a trabalhar, sobretudo, em baixas rotações, nas quais o funcionamento do motor ciclo Otto tem baixo desempenho energético. Quando funcionando como gerador, mediante o sistema de frenagem regenerativa, tenta-se aproveitar a energia cinética do carro que normalmente é desperdiçada em frenagens. (BORBA, 2012) (MACHADO, 2015).

Assim, a principal vantagem dos VEH's repousa na possibilidade do motor de ciclo otto de trabalhar no seu ótimo, reduzindo o consumo energético do mesmo. Além disso, graças ao avanço da eletroeletrônica e áreas afins, foi possível o desenvolvimento de motores elétricos e sistemas de acionamento de alta eficiência, ou que aliado à implementação do sistema de frenagem regenerativa, tornaram o VEH mais eficiente do que o VCI (BORBA, 2012; JUNIOR, 2014).

Segundo seu desenho, os VEH podem ser classificados em três categorias básicas, o híbrido-série, híbrido-paralelo e híbrido-misto, uma breve descrição das diferentes arquiteturas e realizada a continuação.

4.2.1.1. Veículo elétrico híbrido em série

Para os Veículos Elétricos Híbridos em Série, o responsável pela tração do veículo é o motor elétrico. Ao MCI corresponde a tarefa de gerar a energia necessária para o funcionamento do motor elétrico, o que faz através da conexão com um gerador.

No VEH em série existe um único percurso para ligar as rodas do veículo, mas duas fontes de energia. O tanque de combustível alimenta um MCI, que está acoplado a um gerador para carregar a bateria que fornece a energia elétrica para o motor/gerador (motor elétrico), alimentando assim as rodas através da transmissão como mostrado na figura 2, embora também pode ser utilizado um acoplamento direto. O motor/gerador também pode ser usado para recarregar a bateria durante a desaceleração e frenagem com o sistema de frenagem regenerativa (MIT, 2008).

Figura 2: Esquema básico do sistema propulsor do VEH em série.

Fonte: Adaptado de (MIT, 2008).

O VEH em série pode operar nos sete modos indicados a seguir: tração exclusiva do MCI; tração elétrica exclusiva; tração híbrida; tração exclusiva do MCI e carregamento da bateria; carregamento da bateria sem tração; frenagem regenerativa; carga híbrida da bateria.

Embora a maioria dos híbridos em série envolvem o uso do MCI, também é possível projetar uma série híbrida usando uma pilha de combustível alimentada por hidrogênio, criando um Veículo Elétrico de Célula a Combustível (VECC) (MIT, 2008).

A principal vantagem dos VEH em série é a possibilidade de otimizar a operação do motor de combustão interna, contribuindo para aumentar a economia de combustível. A flexibilidade na instalação do motor de combustão interna devida ao desacoplamento com as rodas e outra vantagem a ser considerada. Pelo baixo rendimento do VEH em série para altas rotações, é considerado mais indicado para veículos de grande porte (MACHADO, 2015).

Como principal desvantagem do VEH em série destaca-se a reduzida eficiência em longas viagens, causada, sobretudo pelas grandes perdas de transmissão na condução durante longas viagens. Portanto é recomendável principalmente para uso urbano. O VEH em série precisa de três equipamentos de propulsão: o motor/gerador, o MCI e o gerador, o que torna a eficiência conjunta mais baixa em relação aos outros tipos. Outra desvantagem importante resulta da necessidade de dimensionar os três equipamentos para a potência máxima, levando em consideração que a bateria pode não entrar em operação. Caso contrário, o gerador e o MCI podem ser subdimensionados. O mercado costuma referir-se ao VEH em série como um veículo elétrico com alcance estendido, um exemplo nessa categoria é o Chevrolet Volt. (BORBA, 2012: citando Reis, 2008 e CHAN, 2007).

4.2.1.2. Veículo elétrico híbrido em paralelo

Para o VHE em paralelo o MCI e o motor elétrico atuam de forma independente no acionamento das rodas do veículo, e o regime de funcionamento de ambas fontes de potência depende da solicitação de carga do veículo.

No VEH em paralelo existem dois percursos paralelos para alimentar as rodas do veículo: o percurso do MCI e o percurso elétrico, como se mostra na figura 3. A transmissão acopla o motor/gerador e o MCI, permitindo que qualquer um, ou ambos, consigam alimentar as rodas. O controle do híbrido em paralelo é de maior complexidade do que para um híbrido em serie por

causa da necessidade de acoplar eficazmente o motor/gerador e o MCI de maneira que a dirigibilidade e desempenho seja mantida. O VEH em paralelo pode operar nos cinco seguintes modos: tração exclusiva do MCI; tração elétrica exclusiva; tração híbrida; frenagem regenerativa; carregamento da bateria desde o MCI (MIT, 2008).

Figura 3: Esquema básico do sistema propulsor do VEH Paralelo.

Fonte: Baseado em (MIT, 2008).

A principal vantagem dos VEH em paralelo é a possibilidade de um menor dimensionamento do conjunto motor, MCI/motor elétrico. Isto é possível graças a subtração do gerador da equação em comparação aos VEH's em série (BORBA, 2012). As versões híbridas do Honda Insight, Civic e Accord são exemplos de VEH's em paralelo.

Existe uma subcategoria dos VEH's em paralelo denominada como híbrido dividido (*split hybrid*), que apresenta dois sistemas de acionamento independentes, cada um tracionando um par de rodas. Neste caso o MCI conduz um eixo e o motor elétrico o outro. Pode ser citado como exemplo de híbrido dividido o BMW i8 (MACHADO, 2015).

4.2.1.3. Veículo elétrico híbrido misto em série-paralelo

Da combinação dos aspectos dos sistemas em série e paralelo, surge o VEH misto, buscando maximizar os benefícios de ambos. Para o VEH misto é possível fornecer energia para as rodas do veículo e gerar eletricidade simultaneamente, a diferença do que ocorre para o VEH em paralelo. É possível usar somente o sistema elétrico, dependendo das condições de carga. Também existe a possibilidade de utilizar os motores de forma simultânea (MACHADO, 2015).

O VEH misto tem percursos para a energia tanto em série como em paralelo. Como mostrado na figura 4, um sistema de MCI's e / ou motores/geradores, que às vezes inclui uma engrenagem ou um dispositivo divisor de potência, permite ao MCI recarregar a bateria. Dependendo do número de MCI's e motores/geradores, e como eles são utilizados, as variações de esta configuração podem ser muito simples ou complexas. Estas configurações podem ser classificadas como híbridos complexos, alguns exemplos são o Toyota Prius e o Ford Escape Híbrido (MIT, 2008).

Figura 4: Esquema básico do sistema propulsor do VEH Misto (Serie-Paralelo).

Fonte: Baseado em (MIT, 2008).

4.2.2. Veículos elétricos híbridos plug-in

Os Veículos Elétricos Plug-in (VEHP) podem apresentar qualquer das arquiteturas híbridas previamente descritas, usando uma bateria para armazenar energia de frenagem e melhorar a eficiência do motor. Além disso, eles têm a capacidade adicional para armazenar eletricidade da rede na bateria e usá-lo para substituir a gasolina durante a condução. Portanto, a principal vantagem do VEHP é que seus usuários podem diminuir as emissões e aumentar a eficiência, sem precisar mudar radicalmente seus hábitos. Viagens longas podem ainda ser feitas usando gasolina, enquanto viagens curtas podem ser feitas principalmente ou inteiramente usando eletricidade.

A desvantagem dos VEHP's consiste na necessidade de tanto um MCI como um pacote substancial de bateria⁸. Assim, um VEHP projetado para 64 km de alcance elétrico puro⁹, vai pesar e custar mais do que um VEB de alcance semelhante ou um VCI com semelhante desempenho e espaço interior (PETERSON; MICHALEK, 2013).

4.2.3. Veículos Elétricos a Bateria

Os VEB's dependem exclusivamente da energia armazenada em formato eletroquímico nas baterias para a propulsão do motor elétrico, convertendo nestes a energia elétrica em energia mecânica. Portanto, as baterias devem ser recarregadas pelo usuário através da conexão com a rede elétrica. Existem muitas variações no desenho dos VEB's dependendo do tipo de transmissão, e o número de pacotes de baterias e motores. Um sistema básico de VEB é mostrado na Figura 5.

⁸ O tamanho da bateria define o alcance do veículo em modo elétrico puro

⁹ Geralmente na gama de 30 a 50 milhas para o PHEVL

Figura 5: Esquema básico do sistema propulsor do VEB.

Fonte: Baseado em (MIT, 2008).

No entanto, a arquitetura mais comum contém um único motor elétrico ligado ao eixo dianteiro através de uma caixa de velocidades com não mais de uma ou duas velocidades, mais existem várias outras arquiteturas possíveis do sistema de propulsão. Um exemplo das variações mencionadas pode ser a utilização de quatro pequenos motores em cada roda, em vez de um único motor (BORBA, 2012 citando DELUCHI e LIPMAN, 2010).

Em comparação com o VCI, o VEB tem como uma de suas principais vantagens a menor complexidade do mecanismo de funcionamento, o qual carece da caixa de marchas, motor de arranque e de equipamentos do sistema de exaustão como o escapamento e catalisador, e do sistema de arrefecimento entre outros elementos. Outra vantagem do VEB sobre o VCI é o alto rendimento do motor elétrico, como fora mencionado anteriormente usualmente superior a 90%, o que, adicionado à frenagem regenerativa, tornam a eficiência dos VEB bem maior que as dos veículos convencionais. Outras vantagens a destacar são o baixo nível de ruído do veículo e a pouca vibração (BORBA, 2012; MACHADO, 2015).

Na comparação do BEV com o VCI, as principais desvantagens dos VEB's são o elevado investimento inicial necessário para sua aquisição, a menor autonomia, e a falta de infraestrutura de recarga.

Para o VEB, a frenagem regenerativa é de especial importância para contrabalançar uma de suas desvantagens, especificamente a menor autonomia. Como consequência, segundo a ABVE, em termos energéticos, num carro de passageiros de uso privado o consumo anual de energia é cerca de 4 vezes maior do que o do VEB (ABVE, 2013).

Apesar das melhorias na tecnologia das baterias, na atualidade os VEB's ainda são incapazes de atingir a gama de VCI's. Isto pode causar o fenômeno conhecido como ansiedade do alcance, consistente no medo do condutor a possibilidade de não chegar ao ponto de recarga antes de acabar a energia. Isto, associado ao facto de que o carro leva de 30 minutos, no modo de carga rápida, a várias horas, no modo de carga lenta para atingir uma carga total. Enquanto para os VCI's é possível encher o tanque em poucos minutos (FARIA et al., 2012).

Isto pode ser explicado em maior medida por resistências culturais às novidades do que por uma necessidade real. A título de exemplo, embora os VEB disponíveis no mercado¹⁰ sejam criticados por sua autonomia menor a 200 km, ela é compatível com as necessidades diárias da maioria dos usuários dos VCI's. Taxistas que usam Gás natural Veicular (GNV) se conformam com autonomies da mesma ordem de grandeza dos VEB (ABVE, 2013).

Os principais obstáculos para a penetração do VEB no mercado automotivo podem ser explicados pelo avanço tecnológico das baterias. Grande parte do custo do veículo deve-se a bateria, outra limitação histórica é a baixa densidade da energia armazenada e o efeito de memória¹¹ quando em regime de carga e descarga incompleto, reduzindo a autonomia. Nos últimos anos, com o desenvolvimento das atuais baterias de Íons de Lítio (BIL) a situação melhorou muito. Elas não apresentam efeito memória, possuem densidade energética muito superior às tecnologias anteriores e, atualmente, contam com contínuo desenvolvimento por parte de grandes corporações e instituições estatais no mundo todo, o que torna realista esperar uma redução do seu custo no futuro (KREYENBERG, 2013; RITCHIE, 2006).

¹⁰ Excepcionando os VEB de gama alta que igualam o superam em autonomia aso VCI

¹¹ O efeito de memória presenta-se quando, devido ao não uso das baterias propensas ao efeito, elas parecem adquirir uma capacidade de carga cada vez menor. Ocorre geralmente nas tecnologias de baterias mais antigas como as de níquel cádmio

4.3. BATERIAS PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS

De maneira geral a bateria é um dispositivo de armazenamento de energia por meio de um processo eletroquímico, disponibilizando essa energia na forma de energia elétrica no momento de ser precisada. As baterias podem ser classificadas em duas categorias levando em consideração sua capacidade. Uma destas categorias denomina-se bateria primária, e se caracteriza por ser um tipo de bateria que produz sua energia por meio de uma reação eletroquímica, geralmente irreversível, o que as inutiliza após o uso. A outra categoria, a bateria secundária inclui aquelas que possuem a capacidade de ser recarregadas por meio de uma fonte de alimentação externa. Este processo de carga e recarga pode ser efetuado numeras vezes no caso das baterias secundárias (BORBA, 2012).

A seguir, o presente estudo irá se concentrar nas baterias secundárias, por serem elas um componente necessário na configuração dos veículos elétricos atuais. Para dar uma ideia da importância da bateria no veículo elétrico basta fazer a comparação com os VCI's. Neles, o tanque de combustível é o encarregado de armazenar a energia, e disponibiliza-la quando necessária para alimentar o motor, com a possibilidade de ser recarregado no posto de gasolina. No VE esta tarefa é realizada pela bateria secundária.

No entanto, vimos anteriormente que existem diferentes tipos de veículos elétricos, portanto, diferentes requerimentos são exigidos para as baterias dependendo do tipo de VE. Por esta razão torna-se importante descrever as principais características de uma bateria: sua energia específica, a potência específica mássica e o tempo de vida útil. A energia específica consiste na quantidade de energia armazenada pela bateria por unidade de massa, a potência específica mássica consiste na potência fornecida por unidade de massa, o tempo de vida útil corresponde ao número de ciclos de carga/descarga a que pode ser sujeita.

Em geral as baterias dos VEH's não precisam de descargas profundas tanto quanto os VEB's, portanto a energia especifica pode ser menor em comparação. No entanto, uma elevada capacidade de potência se faz necessária.

Nos VEB's as baterias constituem a única fonte de energia a bordo, portanto estas sofrem descargas mais profundas, exigindo-se baterias mais robustas, com tempo de vida longo. As

características necessárias para cumprir estes requerimentos são uma elevada densidade de energia, e aceitação de um número elevado de ciclos de carga/descarga (BORBA, 2012).

Atualmente, são quatro os tipos de baterias de tração de maior utilização nos VE's: a bateria de chumbo-ácido, níquel hidreto-metálico, sal fundido (ZEBRA) e as baterias de íon-lítio.

4.3.1. Baterias de chumbo-ácido

A bateria de chumbo ácido, inventada pelo francês Gastón Planté, em 1859, além de possuir a tecnologia mais madura, pois é produzida desde a segunda metade do século XIX, é também a mais produzida do mundo e foi a primeira bateria secundária de uso comercial (NOCE, 2012: citando HUSAIN, 2003).

O extensivo uso deste tipo de bateria em diferentes aplicações a ser sistemas de telefonia, ferramentas elétricas, aplicações automotivas, dispositivos de comunicação, sistemas de iluminação de emergência, e como fonte de alimentação para a mineração e em diversos equipamentos. Seu baixo custo e sua facilidade de fabricação explicam a ampla utilização desta tecnologia. (BATTERY UNIVERSITY, 2015).

As desvantagens das baterias de chumbo-ácido são o peso da bateria, e sua durabilidade quando utilizada para ciclos de descarga profunda. Uma pequena parte da capacidade da bateria se perde com cada descarga completa pela tensão provocada em cada ciclo de carga/descarga. Essa perda é pequena enquanto a bateria se mantém em boas condições de funcionamento, com o envelhecimento essa perda tende a aumentar. Dependendo da profundidade da descarga, as baterias em aplicações de ciclo profundo fornecem de 200 a 300 ciclos de carga/descarga (MACHADO, 2015).

As baterias de chumbo-ácido não servem para o carregamento rápido como os outros tipos, uma carga completa leva de 14 a 16 horas. Precisam ser armazenadas em carga completa. O seu tempo de vida é moderado e não está sujeita ao efeito de memória. Outro aspecto a ressaltar sobre as baterias de chumbo-ácido é que figura no topo da lista dos produtos recicláveis,

quando comparando os percentagens de reutilização, 98 % para as baterias de chumbo-ácido. (BATTERY COUNCIL INTERNATIONAL, 2015; BATTERY UNIVERSITY, 2015).

4.3.2. Baterias de Níquel – Hidreto – Metálico (NiMH)

As primeiras pesquisas com Níquel Hidreto-Metálico (NiMH) começaram em 1967, no entanto, instabilidades como o Hidreto – Metálico pararam as pesquisas. As baterias de NiMH tornaram-se nos últimos anos um importante sistema de bateria recarregável em aplicações de consumo e na propulsão de veículos, especialmente VEH's. Seu uso comercial, nos computadores portáteis, teve seus inícios em 1989, atualmente é usado nos veículos elétricos híbridos e em substituição das pilhas alcalinas. (BATTERY UNIVERSITY, 2014; MACHADO, 2015: citando BRILL, 2011).

Durante a década de 1980, nova ligas de hidretos foram descobertas oferecendo uma melhor estabilidade no desenvolvimento de NiMH. Desde então, os avanços tecnológicos nesse tipo de bateria foram importantes. Desde 1991, a energia específica dobrou e o tempo de vida útil foi estendido. Este avanço das NiMH's foi ofuscado parcialmente pelo surgimento das baterias de íon-lítio, mas muitos fabricantes de veículos elétricos híbridos ainda preferem a tecnologia NiMH pois as necessidades dos VEH's são acordes as características e vantagens das NiMH's. Sendo as principais o menor preço¹² e maior segurança em comparação as baterias de íon-lítio. Do ponto de vista ambiental existe outra vantagem dos NiMH's, seus componentes não incluem metais tóxicos. (BATTERY UNIVERSITY, 2014; MACHADO, 2015).

As desvantagens das NiMH's para seu uso nos VE's são uma energia específica menor que as de íon-lítio, sendo por volta de um terço menor. Também a elevada auto descarga, que perde cerca de 20% de sua capacidade nas primeiras 24 horas, e 10% por mês depois. (MACHADO, 2015: citando BRILL, 2011).

¹² Segundo os fabricantes de veículos híbridos, as baterias de NiMH custam um terço de uma equivalente de íon – lítio

4.3.3. Baterias de Sódio (ZEBRA)

A bateria ZEBRA é baseada no transporte de íons de sódio entre o cátodo e o ânodo; este tipo de bateria tem um ânodo que consiste em sódio fundido e um cátodo de transição de halogeneto metálico de níquel o ferro. O uso de cloreto de níquel (bateria Sódio-Níquel-Cloreto) é a opção mais comum. Para alcançar uma boa condutividade iônica do eletrólito de cerâmica, a temperatura interna de funcionamento das baterias situa-se entre 300 e 350 °C. Devido a esta temperatura, a aplicação de baterias ZEBRA é atualmente apenas considerada uma opção quando são usadas com frequência, como por exemplo, nos veículos de transporte comercial e público. A energia específica (115 Wh/kg) aproxima-se à de baterias de íon-lítio, mas a potência específica é consideravelmente menor (180 W/kg). O custo atual é de aproximadamente de 600 US\$/kWh, atingindo uma vida útil de mais de 1.500 ciclos ou 5 anos. As Baterias ZEBRA só existem em grandes tamanhos de 10 kWh ou superior. As suas aplicações são em empilhadeiras, ferrovias, navios, submarinos e carros elétricos de uso contínuo, como táxis e vans de entrega (GERSSEN-GONDELBACH & FAAIJ, 2012; ELLIS & NAZAR, 2012).

A principal desvantagem das baterias ZEBRA é a necessidade de um aquecimento prévio. Mesmo com isolamento especial, o aquecimento consome 14% da energia da bateria por dia, além da perda de 18% por dia em auto descarga. Ainda, ela apresenta uma demora para resfriar-se de 48 a 72 horas, e para o reaquecimento requer cerca de 48 horas. Os curtos-circuitos devido à corrosão e o crescimento de dendritos nos eletrodos representam as falhas mais comuns, resultando em um aumento no processo de auto descarga.

Vale assinalar que a Itaipu-Binacional escolheu este tipo de baterias para seu palio weekend elétrico, um VEB com as seguintes características: Bateria ZEBRA; Motor de 15 kW (~20 cv); Autonomia de 110 km; Velocidade máxima de 100 km/h. A bateria utilizada possui as seguintes características: capacidade 19,2 kWh; Tempo de Recarga de 8 horas; Tensão 253 V (em circuito aberto); Corrente máxima de 266 A.; e peso de 165 kg (ITAIPU, 2015).

4.3.4. Baterias de Íon-Lítio

O estudo das Baterias de íon-lítio (BIL) iniciou-se em 1980 e, desde 1992, elas são comercializadas na forma de tecnologia denominada "rocking-chair". O desempenho da bateria aumentou drasticamente nos últimos anos, enquanto se espera que muitas novas tecnologias aumentem ainda mais esse desempenho (YOSHINO, 2014; YOSHIO, 2014).

As BIL's utilizam um cátodo (eletrodo positivo), um ânodo (eletrodo negativo) e uma substância eletrolítica para seu funcionamento, o qual é similar ao das baterias de chumbo ácido. O cátodo é constituído por um óxido metálico e o ânodo é composto por carbono. Na descarga, os íons fluem do ânodo para o cátodo, enquanto na recarga os íons invertem o sentido do catodo para o ânodo (DAHN; EHRLICH, 2011).

As vantagens das BIL's são: elevada energia específica, baixo custo de manutenção, não sofrem com efeito memória, a auto descarga é menor que a metade dos sistemas à base de níquel, não possuem materiais tóxicos. Suas principais desvantagens são a necessidade de circuitos de proteção, bem como seu preço elevado (MACHADO, 2015).

O custo de fabricação de uma célula cilíndrica de íon-lítio, com uma capacidade de 1.100 mAh, no ano 1994 era maior de US\$ 10. Para o ano 2001, o preço tinha descido consideravelmente para os US\$ 2 e a capacidade aumentado para 1.900 mAh. Na atualidade, a capacidade das células atinge os 3.000 mAh, e o custo desceu ainda mais. Como resultado das mencionadas vantagens e reduções de custo, para 2009, cerca de 38% de todas as baterias fabricadas no mundo foram de íon-lítio. (BATTERY UNIVERSITY, 2014).

Existem diferentes tipos de baterias de íon-lítio, eles se diferenciam principalmente nos materiais do cátodo. Os materiais mais comuns no cátodo são o Óxido de Cobalto de Lítio, Óxido de Manganês de Lítio, Fosfato de Ferro de Lítio, Lítio Níquel Manganês Cobalto e o Óxido de Alumínio Lítio Níquel Cobalto (DAHN; EHRLICH, 2011).

A fabricação das BIL's é um processo maduro, cujos componentes e equipamentos necessários para a produção em larga escala, estão disponíveis comercialmente, não constituindo nenhum segredo tecnológico intangível (POULLIKKAS, 2015; ORECCHINI; SANTIANGELI; DELL'ERA, 2014).

A capacidade das BIL's vem crescendo, desde o início de sua comercialização, a taxas de 11% ao ano, para tecnologia íon-lítio baseada em anodos de grafite. Acredita-se que o desenvolvimento de baterias baseadas em ligas metálicas, especialmente ligas baseadas em silício, em conjunto com a tecnologia dos grafenos, eleve a taxa de evolução das BIL's para 18% ao ano (CHOU, 2010; ZHAO, 2013).

A indústria de bateria ganhou experiência principalmente em aplicações portáteis, e sua adequação para o sistema de propulsão elétrica no longo prazo ainda é desconhecido. O ciclo de vida, a duração do seu desempenho e custo de operação são fatores para os quais ademonstra grande potencial, porém só serão definidos após ter passado por algumas gerações de veículos movidos a bateria e solidificado a aceitação do usuário (BATTERY UNIVERSITY, 2014).

No que se refere à eficiência do sistema do motor elétrico, enquanto que a eficiência dos veículos de combustão interna varia na gama de 8% - 30%, os motores veiculares elétricos que utilizam a bateria íon-lítio apresenta valores bastante superiores na transformação de energia, como é apresentado na tabela 18 que se segue:

Tabela 18: Eficiência do Sistema do motor elétrico, com baterias de íons-lítio.

	Eficiência	
	Min.	Max.
Bateria	93	99
Inversor	90	98
Motor elétrico	85	96
Drivetrain	87	93
Global	61,9	86,6

Fonte: Baseado em (FARIA et al., 2012)

Uma bateria de 30 kWh pesa 90 kg, dos quais 6,8 Kg correspondem ao lítio. Além disso, apresentam como característica notável, 2200-2500 possíveis cargas profundas, o equivalente a dez anos de uso, quase toda a vida útil do carro. Além disso, com a possibilidade de reciclagem de lítio, as baterias de lítio podem ser considerados os sistemas de armazenamento de energia eletroquímica mais promissores para aplicações móveis (FOWLER, 2014; WEIL; ZIERMANN, 2014; ROSCHER; LEIDHOLDT; TREPTE, 2012). A bateria de um VEB padrão requer uma capacidade de 24 kWh por uma autonomia de 160 km, o suficiente para deslocamento diário

médio urbano. Dependendo da arquitetura do veículo, os requisitos da bateria podem variar. A Figura 6 mostra esquematicamente uma bateria típica completa para VEB.

Figura 6: Ilustração esquemática de uma BIL típica para veículos elétricos.

Fonte: Adaptada de (VAYRYNEN; SALMINEN, 2011).

A redução dos custos de produção de baterias baseadas em lítio, ao longo do tempo, é uma função de dois fatores sinérgicos: o acesso a matérias-primas abundantes e "know how" adquirido por meio de atividades de pesquisa e desenvolvimento (HENDERSON, 1984; LAITKO; GREIF; PARTHEY, 1998).

5. ESTUDO DA INSERÇÃO DE VE's NO PARAGUAI E BOLÍVIA

5.1. Caracterização da infraestruturas rodoviária e do parque automobilístico no Paraguai

O Paraguai é um país sem litoral, portanto possui significativa dependência da infraestrutura de transporte e de seus países vizinhos na hora de aceder aos mercados regionais e portos marítimos internacionais. Em geral, pode-se mencionar que o país tem um déficit de infraestrutura de qualidade antes de cobertura.

Do total das estradas pavimentadas do país, 15% estão seriamente danificadas e apenas 30% das estradas rurais estão sob um programa de conservação ou melhoria. Esta situação coloca um problema mais social do que econômico, pois há pelo menos $\frac{1}{4}$ da população que vive em assentamentos cuja capacidade de acessar os serviços dependem da qualidade das estradas rurais (DIMITRI, 2007).

Segundo dados oficiais, o país tem 32.207 quilômetros de estradas e trilhas. Desse total, 5.474 km são estradas pavimentadas de asfalto, 9,72 quilômetros são calçadas portuguesas, 1.501 km são estradas pavimentadas de pedras, 1.012 quilômetros são estradas de cascalho e 24.209 km são estradas de terra (PARAGUAY, 2014).

A entidade responsável pela administração das rodovias no Paraguai chama-se *Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones* (MOPC). O MOPC é a entidade líder para desenvolver, propor e implementar as políticas e disposições relativas à iniciativa do Executivo para a Integração da Infraestrutura Regional Sul-americana, IIRSA. O principal objetivo do Ministério é facilitar a infraestrutura pública da sua competência e estabelecer normas pertinentes, que são úteis na produção, comercialização e consumo do país. As demais estradas do país são administradas pelos Municípios.

Segundo o departamento de estatísticas da entidade responsável do registro de automotores, *Dirección del Registro Automotor*, dependência da *Corte Suprema de Justicia*, em 2013, o país registrou 1.227.469 veículos, dos quais 374.438 são veículos Leves. Na última

década a frota cresceu a uma taxa média de 10%. Este crescimento pode ser observado no gráfico 10 (DNRA, 2013).

Gráfico 10: Paraguai: Frota automotiva, 2003 – 2013

Fonte: Baseado em dados de (DNRA, 2013).

No Paraguai, os veículos leves são os de maior participação dentro da frota veicular, atingindo em 2013 o número de 374.438, o que representa 30,5 % do total, como pode ser visto na tabela 19.

Tabela 19: Frota de veículos do Paraguai, 2013.

Tipo	Número	Gasolina	%	Diesel	%
Veículos leves	374.438	149.775	40	224.663	60
Camionete	178.992	8.950	5	170.042	95
Caminhão	59.894	0	0	59.894	100
Ônibus	7.405	0	0	7.405	100
Vão	8.958	0	0	8.958	100
Acoplado	2.292	0	0	2.292	100
Trator	12.270	0	0	12.270	100
Motocicleta	342.779	342.779	100	0	0
Outros	240.441	-	-	-	-
Total	1.227.469				

Fonte: Baseado em dados de (DNRA, 2013).

Como se observa no gráfico 11, no Paraguai existe um elevado grau de concentração da frota automotiva, sendo que a Capital do país (Asunção) e os três departamentos de maior importância possuem 78% dos registros de automotores. No período de 2013, o departamento Central teve o maior número de veículos 321.622, o equivalente a 26% do total; seguido por Assunção com 286.135 veículos, o equivalente a 23%, em seguida, foi Alto Paraná com 230.633 veículos, o equivalente a 19%. A este grupo seguiu Itapua, Caaguacu, Coordillera e Boquerón com 10%, 4%, 2%, e 2% respectivamente. Os demais 11 departamentos se encontram na faixa de 500 a 23.500 veículos, atingindo só 14% do total quando somados.

Gráfico 11: Paraguai. Frota automotiva pôr departamento, 2013

Fonte: Baseado em dados de (DNRA, 2013).

Como se observa na tabela 12, o combustível mais usado é o diesel, fornecendo 95% dos carros de grande porte e 60% dos veículos Leves. Os carros são na sua maioria importados do Japão, em segunda mão. A frota é uma das menores e mais antigas (60% dos veículos tem mais de 10 anos) na América Latina, de acordo com o Centro Mario Molina (CMMCH, 2011). Esta é uma consequência da Lei 2.018 de 2002 (PARAGUAI, 2002) que autoriza a importação de veículos usados de qualquer tipo ou origem, com idade abaixo de 10 anos, na ausência de uma cadeia automotiva nacional.

Devido a melhorias na última década, principalmente em eficiência do motor diesel, em 2010 a média de CO₂ / km de emissões para veículos novos foram 140,3 gCO₂ / km (FARIA et al., 2012), no caso do Paraguai segundo dados do SIEN hoje o total das emissões de CO₂ para gasolina e diesel é de 945,51 e 3250,92 Gg/ano respectivamente (SIEN, 2013).

5.2. Caracterização da infraestrutura rodoviária e do parque automobilístico na Bolívia

Dadas as suas condições de falta de litoral, topografia diversificada, e alta dispersão geográfica da sua população, a Bolívia é muito dependente do transporte rodoviário. No entanto, apenas 7,34% da *Red Vial Fundamental* (RVF)¹³ da Bolívia é pavimentada, a mesma articula e estrutura o território boliviano e o conecta com os países vizinhos (com uma área de 16.054 km, dos quais apenas 34% é pavimentada), sob a jurisdição do Governo Nacional; (ii) a rede de estradas departamental (19,285 km), administrada pelos governos departamentais; e (iii) a rede de estradas municipal (39,492 km), administrada pelos municípios. A baixa qualidade da superfície das estradas resulta em maiores custos no transporte de carga e de passageiros e cria obstáculos à integração e à atividade econômica, em particular com os países vizinhos.

A entidade responsável pela administração da RVF chama-se *Administradora Boliviana de Carreteras* (ABC). A política setorial da ABC é orientada para o desenvolvimento e consolidação da RVF, cuja função é ligar o território boliviano e integrar sua população, permitindo ligações internacionais com as principais rotas de países vizinhos, promovendo assim o desenvolvimento econômico, social e produtivo em todas as regiões do país. Além disso, a entidade pública *Vías Bolívia*, tem a responsabilidade da gestão dos sistemas de cobrança de pedágio, pesagem e dimensionamento veicular na RVF. A RVF possui cinco corredores, eles são o Norte-Sul, Leste-Oeste, Oeste-Sul, Centro-Sul e Oeste-Norte (BID, 2015).

Segundo dados do *Registro Único para la Administración Tributaria Municipal* (RUAT) e do *Instituto Nacional de Estadística* (INE), em 2013, a frota boliviana consistia em 1.326.833

¹³ O percentual médio de estradas pavimentadas para a América Latina e no Caribe é de 39% e para os países andinos é de 27% - a Argentina tem um 34%, Chile 24%, Paraguai 16%, e Peru 13%.

veículos, e na última década cresceu a uma taxa média de 11%. Este crescimento pode ser observado no gráfico 12.

Gráfico 12: Bolívia: Frota automotiva, 2003 – 2013

Fonte: Baseado em dados de (INE, 2015).

Apesar do Wagon ser o veículo de maior número na Bolívia, os veículos leves correspondem ao segundo tipo de veículo de maior percentagem de participação na frota total boliviana com 18,74 % do total (Tabela 20).

Tabela 20: Frota automotiva por tipo de veículo e percentagem do total, 2013.

Tipo de Veículo	Nº De Veículos	Participação (%)
Veículos Leves	248.645	18,74
Camião	107305	8,09
Camionete	133381	10,05
Furgão	7217	0,54
Jeep	54431	4,1
Vão	19078	1,44
Mini Ônibus	74175	5,59
Moto	221217	16,67
Ônibus	8502	0,64
Quadra Track	2216	0,17
Torpedo	91	0,01
Trator-caminhão	17109	1,29
Tri trator-caminhão	15	0
Wagon	433451	32,67
Total	1.326.833	100

Fonte: Baseado em dados de (INE, 2015).

Como se observa no gráfico 13, na Bolívia existe um elevado grau de concentração da frota automotiva, sendo que os três departamentos de maior importância possuem 78,92% dos registros de automotores. No período de 2013, o departamento de Santa Cruz teve o maior número de veículos 419.470, o equivalente a 31,61% do total; seguido por La Paz com 331.089 veículos, o equivalente a 24,95%, em seguida, foi Cochabamba com 296.538 veículos, o equivalente a 22,35%. A este grupo seguiu Oruro, cuja participação foi de 5,76%; Tarija 5,41%, Chuquisaca 3,96%; Potosí 3,84%; e Beni 1,99%.

Gráfico 13: Bolívia. Frota automotiva pôr departamento, 2013

Fonte: Baseado em dados de (INE, 2015).

Em 2013, a gasolina foi o combustível de maior uso na frota boliviana com 80,03% do total; seguido do diesel cuja participação foi de 15,68%. Note-se que na Bolívia, apesar dos esforços do governo¹⁴ para incentivar o uso de gás natural como combustível para veículos, o seu uso ainda é incipiente já que apenas 4,29% de toda a frota utiliza este combustível (Tabela 21). Para os veículos leves a predominância da gasolina no mercado de combustíveis é ainda maior. Apenas 4% dos veículos leves usam o gás natural comprimido (GNC), 95% de gasolina e 1% de diesel (INE, 2011).

¹⁴ Desde 2009, com o objetivo de reduzir a importação de combustíveis, o governo boliviano conseguiu estimular o uso do GNC nos veículos através da gratuidade da conversão dos VCI de combustíveis líquidos para GNC.

Tabela 21: Frota automotiva boliviana por uso de combustível, 2013.

Combustível utilizado	N° de Veículos	Participação %
Álcool	49	0
Diesel	208037	15,68
Gás Natural	56900	4,29
Gasolina	1061806	80,03
Elétrico	18	0
Não especificado	23	0
Total	1326833	100

Fonte: Baseado em dados de (INE, 2015b).

As percentagens foram arredondadas para duas decimais, de modo que algumas informações mostram zero por cento.

Ainda segundo dados do INE, para o ano 2013, mais de 60% da frota automotiva boliviana tinha sido fabricada 15 anos atrás, sendo que mais de 25% do mesmo total superaram os 25 anos desde sua data de fabricação. Para o mesmo ano, os veículos com menos de três anos desde a data de sua fabricação tinham uma participação de 14,7% do total. A antiguidade do parque automotor que acaba por contribuir para a ineficiência e os aumentos nas emissões de gases de efeito estufa (COSUDE, 2014).

5.3. Perspectivas para o Veículo Elétrico de Fabricação Local (VEL)

O excedente de geração de energia hidrelétrica, o alto custo da importação de petróleo, e a construção recente da linha de transmissão de 500 kV ligando Itaipu (ITAIPU, 2013) para os principais centros de consumo melhora a oportunidade de avaliar ao Paraguai como um candidato potencial para a implementação de uma cadeia de abastecimento de veículos elétricos. É claro, que serão necessários projetos de rede adicionais de transmissão e distribuição para garantir o acesso da nova frota a sua fonte de alimentação, e também acompanhar com políticas públicas e incentivos especialmente em relação à estrutura da tarifa de energia elétrica e o gerenciamento da infraestrutura.

Atualmente a Bolívia se esforça para construir um futuro melhor na base de seu potencial em gás natural, lítio, energia hidrelétrica e outras energias alternativas. Dentro deste cenário, os

recursos de lítio do Salar de Uyuni emergem, na Bolívia, como uma nova alternativa. A exploração destes recursos naturais podem apoiar o desenvolvimento da indústria de baterias, além de veículos elétricos, na Região, tanto, na Bolívia ou em associação com os países vizinhos, como o Paraguai, que podem fornecer recursos complementares, propícias a ganhos de escala e escopo para a criação de um novo cluster de produção.

Por seu turno a eficiência energética é também um fator importante para a avaliação do potencial da Bolívia para a mobilidade elétrica, o uso do gás natural através do sistema de propulsão elétrico fornece uma eficiência superior, emissões reduzidas, ganhos de escala para os investimentos no sistema de energia elétrica que melhorem o acesso universal aos serviços e oportunidade de aumentar as fontes de energia renováveis à rede. Além disso, na queima centralizada, gases de combustão podem ser capturados, processados e/ou tratadas (VACCARELLI; CARAPPELLUCCI, 2014; SIPOCZ, 2012; AMADEO et al., 2005; NIE; KORRE; DURUCAN, 2014).

Como a geração de energia elétrica com usinas de gás natural de ciclo combinado permite uma eficiência de cerca de 50%, com perdas adicionais de 5-10% em transmissão e distribuição, e um intervalo entre 61,9% e 86,6% de eficiência (LUTSEY, 2012). Para o VEB, a eficiência global da cadeia de conversão de energia pode ser estimada entre 27% e 41%. Estes números devem ser comparados com a eficiência global dos VCI's, que na média é de 12% a 14%, este pequeno percentagem representa a energia que realmente fornece para a propulsão, os restantes 88% para 84% perdem-se no ciclo termodinâmico, o resfriamento do cilindro, sistema de transmissão e eixo e frenagem, uma significativa desperdício no uso de energia (RODRIGUEZ; COMTOIS, 2009).

Neste estudo, é considerado o uso e a produção dos VEB' e suas baterias secundárias associadas em Paraguai e na Bolívia. Para o propósito do análise, e assumida a mesma configuração do BEV de maior êxito no mercado, o Nissan Leaf, com uma diminuição no preço do veículo como resultado de menores custos atingidos por meio da produção em escala das BIL's com os recursos de lítio boliviano. Para o presente estudo, o veículo que seria fabricado no Paraguai utilizando as BIL's fabricadas na Bolívia, será chamado de Veículo Elétrico Local (VEL).

Foi escolhida a tecnologia íon-lítio por demonstrar melhores prestações para suprir as necessidades do VEB, além da potencial redução de seus principais desvantagens (custo e disponibilidade) no curto e mediano prazo, especialmente si levado em conta sua fabricação em escala na região. De acordo com a literatura (FARIA et al., 2012; KUMAR; JAIN, 20014) o VEB têm sido defendido por décadas, devido à zero as fontes de energia de escape e maior eficiência de transformação de energia.

A eletrificação do sistema de tração de um VEB é de elevado custo devido ao alto custo das baterias, cerca de US\$ 500-700 por cada kWh de capacidade de armazenamento de energia. Uma bateria completa está orçado atualmente em US\$ 600 por KWh, portanto precisam-se 24 kWh de armazenamento para 160 km de autonomia (ORECCHINI; SANTIANGELI; DELL'ERA, 2014), (GERSSEN-GONDELACH; FAAIJ, 2012) para um veículo típico popular, custaria US\$ 16.800. No entanto, é esperada uma redução do custo de armazenamento ao longo dos próximos anos. Gerssen-Gondelach e Faaij (2012) estimaram os ganhos potenciais de escala como mostra a tabela 22. A redução de custo projetada em US \$ 210 por kWh, aumentaria fortemente a competitividade do VEB.

Tabela 22: Projeções de custo da bateria em função do volume de produção.

Bateria/ano	Custo (2011 \$/KWh)
1000	631
10000	352
20000	289
100000	210

Fonte: Baseado em (GERSSEN-GONDELACH; FAAIJ, 2012).

Deve-se notar, no entanto, que as reduções de custo chegam até 210 \$/kWh a qual pode ser possível, mas dependem de elevados níveis de produção. Na tabela 10 observa-se que ao aumentar a produção em escala das BIL's o preço diminui consideravelmente, no entanto, segundo alguns autores à incerteza em torno da quantidade de recursos de lítio disponíveis para fins industriais, vem sendo um fator limitante para sua produção em escala (TAHIL, 2013) (VIKSTROM, 2013).

5.3.1. Carbonato de lítio como um recurso

As reservas economicamente viáveis de lítio são restritas na natureza, de difícil acesso, e limitadas apenas a alguns países. Atualmente para atender à demanda internacional de lítio a produção mundial anual é de 21.300 toneladas de carbonato de lítio, considerando uma participação dos pacotes de baterias para veículos elétricos de 25% no mercado de baterias, isto é apenas suficiente para um número limitado de 2 milhões de baterias, o que seria suficiente para o suprimento de 3% dos registros anuais de veículos novos (GROSJEAN et al., 2012). Isso não é suficiente para o mercado futuro de VE's. Disponibilidades atuais de lítio no Salar de Uyuni mostram o grande potencial desse recurso inexplorado até o momento na Bolívia, sendo uma alternativa para o desenvolvimento dos Veículo elétrico Local (VEL).

O carbonato de lítio é hoje principalmente fabricado pela mineração do espodumênio, ou a partir da extração por secagem de salar. A exploração da rocha de espodumênio ($\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$), contendo altos teores de lítio (1-4%), historicamente é feita desde 1970, com o intuito de se extrair lítio, em escala industrial chegando a rendimentos de até 70% do teor químico. Porém, o elevado consumo de energia, danos ambientais causados pelo poço de escavação e altas taxas de poluição, envolvidos na cadeia de processamento, inviabiliza este processo que hoje é apenas realizado em poucos lugares do mundo, com um custo de produção de (6-8 \$/kg).

O processamento de salmouras é realizado a um menor custo, (US\$ 2 - 3 por kg). Argentina, Bolívia e Chile têm 89% das reservas do mundo de salmouras de lítio, com a Bolívia representando 52% do total. No entanto, as teores de lítio nelas são de 0,017-0,15% que são consideravelmente baixas e, ainda, variam de salina para salina. Nestes casos, a exploração, análise química e estimativa do recurso demanda 2 a 3 anos após a planta piloto estar pronta e sua extração é simples envolvendo reduzido impacto ambiental. O montante total de recursos de lítio do mundo é um valor controverso. É estimado na literatura por alguns pesquisadores, organizações e empresas que declaram valores dispares, avaliados com base na ocorrência natural do elemento e das dimensões das reservas exploráveis (USGS, 2013; YAKSIC; TILTON, 2009; GRUBER et al., 2011; TAHIL, 2013).

Segundo Grosjean et al. (2012) ao compilar os dados disponíveis na literatura, um valor entre 37,1 e 43,6 milhões de milhões de toneladas de recursos de lítio pode ser deduzido. Deste total, 62% encontra-se em salmouras e 38% em minerais rochosos (espodumênios), o que possibilitaria a construção de aproximadamente de 12,3 a 14,5 bilhões de veículos elétricos, aproximadamente dez vezes o número atual de automóveis no mundo. Vale lembrar, ainda, que a *Corporación Minera de Bolivia* (COMIBOL) estima que existem 100 milhões de toneladas de lítio nas salmouras subterrâneas até 300 metros de profundidade, o que aumentaria dez vezes o potencial atual. Na tabela 23 observa-se que o lítio vem principalmente a partir de salmouras disponíveis na América do Sul. No contexto atual, a forma mais fácil e barata para a extração de lítio é por secagens de salmouras na forma de lagos que representam a maior parte de carbonato de lítio produzido para a indústria.

Tabela 23: Depósitos do recurso de lítio em Salmouras no Mundo.

País	Depósito	Min (Kt)
Bolívia	Salar de Uyuni	10.200
Chile	Salar de Atacama	6.300
China	Qaidam Basin	2.020
China	Zhabuye Lake	1.530
Argentina	Salar del Rincón	1.118
USA	Brawley	1.000
Argentina	Salar del Hombre Muerto	800
USA	Smackover	750
Canada	Beaverhill Lake	515
Chile	Salton Sea	316
	Clayton Valley / Silver	
USA	Peak	300
Chile	Salar de Maricunga	220
China	DXC / Da	170
Argentina	Salar d'Olaroz	156
Total de recursos		25.395

Fonte: Baseado em (GROSJEAN et al., 2012)

Existe um total de recursos na forma de Salmouras variando entre 25.395 a 26.910 Kt, suficiente para a produção de 8,42 bilhões de carros elétricos. Considerando que a Bolívia com o Salar de Uyuni retém (40,17%) de todas as salmouras de lítio (10,200 Kt) isto possibilitaria a produção de 3.38 bilhões de carros elétricos. Esse valor representa três vezes o número atual de VCI no mundo. Neste cenário, a produção em escala para a fabricação de baterias implicaria em

reduções de até 70% do preço da matéria prima (Lítio) em comparação com os atuais custos de mercado do lítio.

É importante notar que estes cálculos são estimativos. Isso porque os dados disponíveis são das reservas identificadas. Não se considera a viabilidade econômica da extração do mineral e, ainda, a maioria delas não estão sendo exploradas atualmente. Uma análise mais profunda desta situação é aprofundada por Vikstrom et al., (2013).

5.3.2. Produção de BIL's e estimativas de investimento para uma fábrica paraguaio-boliviana

A produção de BIL's é uma atividade de precisão. Apesar das elevadas taxas de automação, a necessidade de ambientes altamente controlados e a exigência de mão de obra altamente treinada. A implementação das instalações produtivas e a formação de mão de obra dependem apenas da disponibilidade de capital para os investimentos. Projetos de baterias variam muito, dependendo dos requisitos de concepção do veículo ou da aplicação específica. No entanto, normalmente, as baterias são compostas exclusivamente por células Li-íon ligadas em série e em paralelo. A configuração de montagem depende da tensão de operação e a capacidade exigida pelo sistema de tração.

A produção atual das célula cilíndricas padrão, tipo 18650, totaliza cerca de 10 mil milhões de células por ano, e este modelo de células tornou-se uma referência para a avaliação de projetos de desenvolvimento de baterias. O investimento necessário para uma unidade de produção de baterias de lítio, pode ser estimado, em geral, a ser quatro vezes o número de células a serem produzidos anualmente. Para uma produção anual de 40 mil baterias de 24 kWh de capacidade cada, equivalente a 106 milhões de células tipo 18650, o investimento inicial pode ser estimado em US\$ 424 milhões. Esta estimativa inclui terrenos, edifícios, máquinas, materiais e mão de obra qualificada, custo de financiamento, seguro, transporte e adaptações. O gráfico 14 resume a contribuição de cada componente necessário para construir uma fábrica de baterias (BRODD; HELOU, 2013). Na avaliação exploratória, para fornecer 80 mil veículos por ano, seriam necessárias duas dessas instalações.

Gráfico 14: Contribuição de cada componente dividido por setores de atividade industrial, no custo de uma fábrica de células de baterias Li-íon, modelo 18650.

Fonte: Adaptado de (BRODD; HELOU, 2013)

A compra de materiais e componentes de produção representa cerca de 86% dos custos totais, incluindo os custos do catodo de cerâmica que representa 23% desse percentagem, e o ajuste de investimentos para o plano de início da produção de 33% do mesmo. O sal de lítio utilizado como eletrólito consome aproximadamente 12% da quantidade. As Tabelas 24 e 25 mostram em detalhe a quantidade estimada de carbonato de lítio e lítio metálico necessário para a produção de 80.000 baterias.

Tabela 24: Distribuição de custos de construção para uma fábrica de baterias (células 18650) com capacidade de produção de 106 milhões de células por ano.

Componente	Participação no custo	Custo (mil US\$)
Materiais	82,6	350.224
Trabalho	2,8	11.872
Energia	0,7	2.968
Terra e construções	2,3	9.752
Equipamento	2,9	12.296
Financiamento	8,7	36.888
Total	100	424.000

Fonte: Baseado em (BRODD; HELOU, 2013)

Tabela 25: Quantidade estimada de lítio necessária para a produção de 80.000 baterias (avaliados para substituição de frota).

Componentes	Conteúdo de lítio		
	Célula unitária 11 Wh (g)	Bateria - 24 KWh (kg)	Demanda anual 1,92 GWh (t)
Catodo	1.09	2.37	
Eletrólito	0.16	0.37	
Metal de Lítio (total)	1.25	2.73	218.4
Carbonato de Lítio (total)	7.5	16.4	1310.4

Fonte: Baseado em (BRODD; HELOU, 2013)

Os componentes metálicos do cátodo (manganês, cobalto, níquel) são os materiais de maior custo, orçando cerca de US\$ 27,000 por tonelada, eles têm uma ocorrência com maior dispersão geográfica, o que sugere um acesso mais fácil e menor probabilidade de falhas no abastecimento.

No entanto, a tecnologia Li-ar, uma alternativa para projetos futuros de baterias, mostra a tendência de usar catodos compostos de metais livres de carbono poroso, aproveitando a simplicidade do *redox couple* Li / Li₂O₂ para a operação, isto pode elevar a autonomia do carro para cima de 800 km. com uma única carga, como foi mostrado pela IBM (VAN NOORDEN, 2014). Além disso, esta tecnologia evita a utilização dos custosos materiais cerâmicos para o cátodo, diminuindo assim o custo de produção.

Brodd e Helou (2013) comparam o custo de implantação de uma fábrica de células de lítio na China e nos EUA Estes parâmetros foram adaptados usando análise de regressão e dados bolivianos para estimar o custo de produção de 240 milhões de células por ano na Bolívia. Os resultados são apresentados na tabela 26.

Componentes celulares: é responsável pela maior parte dos custos do processo de produção. O preço da BIL produzido localmente é provável que seja inferior ao preço internacional, permitindo uma decisão sobre o destino do excedente: a busca de renda ou a redução do custo da bateria de lítio associada. Assim, permitindo uma redução do preço da bateria. No entanto, nesta simulação, os custos de componentes de células bolivianos são consideradas iguais aos da China.

Tabela 26: Distribuição de custos unitários de produção de células para uma fábrica com capacidade de produção de 240 milhões de células por ano na China, EUA e Bolívia.

Parâmetros	CHINA	EUA	BOLÍVIA
Componentes da célula (%)	81,90%	77,10%	86,92%
Componentes da célula (US\$)	1.376	1.411	1.376
Total trabalho (%)	7,22%	13%	6,97%
Total trabalho (US\$)	0.12	0.24	0,11
Serviços Públicos (%)	3,49%	1,58%	1,23%
Serviços Públicos (US\$)	0.059	0.029	0.020
Terra e construção (depreciação de 39 anos) (%)	0,15%	0,24%	0,001%
Terra e construção (depreciação de 39 anos) (US\$)	0.002	0.004	0.001
Equipamento de capital (depreciação de 15 anos) (%)	1,25%	2,15%	2,49%
Equipamento de capital (depreciação de 15 anos) (US\$)	0.021	0.039	0.039
Financeiro (%)	1,95%	2,93%	2,07%
Financeiro (US\$)	0.033	0.054	0.033
Seguro (%)	0,30%	2,75%	0,32%
Seguro (US\$)	0.005	0.050	0.005
Aduanas e frete (%)	3,8%	3,1%	0%
Aduanas e frete (US\$)	0.063	0.057	0.001
Custo Total (US\$)	1.6804	1.8284	1.5840

Fonte: (BRODD; HELOU, 2013) para USA e China; estimações para Bolívia.

Custo da mão de obra: Os salários substancialmente menores que prevalecem na China têm sido citados como um dos principais incentivos para investir na China. No entanto, os salários médios por hora do trabalho direto no qualificado na China estão em torno de US\$ 2,42, enquanto na Bolívia os mesmos estão em torno de US \$ 2 (INSUCONS, 2014). Assumindo um mesmo custo de mão de obra qualificada para os três países (EUA, Bolívia e China), a redução do custo total da fabricação de células na Bolívia foi estimado em 9% em comparação com o da China.

Serviços públicos: a tarifa elétrica média da indústria boliviana é de US\$ 0,05 / kWh, enquanto a tarifa média dos EUA é de quase US\$ 0,065 / kWh e na China de uns US\$ 0,15 / kwh. Isso representa uma redução de cerca de 65% nos custos dos serviços públicos em relação à China.

Custos da terra e de construção: Mesmo quando os custos de terrenos e de construção não são representativos dos custos totais, é importante notar que os preços da terra na Bolívia estão

em torno de US\$ 1-2 por metro quadrado (CADETIERRAS, 2014), e os custos relativos à construção deveriam ser semelhantes aos da China. Os custos de aquisição de terras na Bolívia foram estimados em aproximadamente metade do que para a China.

Os custos de equipamentos de capital, componentes financeiros e de seguros são assumidos iguais para a Bolívia e a China devido à falta de referências. Naturalmente, é necessário avaliar totalmente esses parâmetros em futuros estudos, a fim de evitar a subestimação dos custos reais. Os custos aduaneiros e de frete seriam um pouco menores para os EUA do que para a China, devido, principalmente, às distâncias mais curtas a serem superados nos EUA. Para a Bolívia e Paraguai, estes custos seriam praticamente zero, pois ambos os países são membros do MERCOSUL, e seriam parceiros na iniciativa.

Finalmente, esses fatores mencionados acima (reservas de lítio, menor custo do trabalho direto não qualificado, menor tarifa de eletricidade e preços da terra, menor frete e custos aduaneiros) colocam a Bolívia como uma alternativa importante a considerar na discussão atual sobre o domínio da China na indústria de produção da bateria e dos EUA como candidatos disputando a liderança mundial neste mercado.

5.3.3. Análise Econômico-financeira da viabilidade de substituição da frota.

5.3.3.1. Metodologia

Foram realizadas avaliações econômica e financeira com abordagens individuais para o caso paraguaio e o boliviano. Para Paraguai a avaliação foi efetuada em dois passos. Passo um: com o uso de ferramentas de tomada de decisão para a inversão¹⁵ e parâmetros econômicos e energéticos, as atuais condições do mercado paraguaio para substituir VCID e VCIG com VEB e com VEL sob a perspectiva do consumidor foram avaliadas. Passo dois: para uma penetração de

¹⁵ Custo do Ciclo de Vida (CCV), Taxa Interna de Retorno (TIR), Taxa de retorno simples, Valor Presente Líquido (VPL), análise de sensibilidade em função do km percorridos por ano, e o impacto da economia de combustível e custo de propriedade em um contrato de compra com financiamento.

mercado de 40 mil VEL's por ano, foram desenvolvidos estudos de impacto na base de 10 anos para a sociedade. O caso boliviano foi realizado em três cenários para a perspectiva do consumidor e um cenário para os impactos sociais. *Primeiro cenário para a perspectiva dos consumidores*: com o uso de ferramentas de toma de decisão para a inversão e parâmetros econômicos e energéticos, as atuais condições do mercado boliviano para substituir VCID e VCIG com VEB e com VEL foram avaliadas. *Segundo Cenário para a perspectiva dos consumidores*: as condições do mercado boliviano para substituir VCID e VCIG com VEB e com VEL suspendendo os subsídios aos combustíveis. *Terceiro cenário para a perspectiva dos consumidores*: aumento do preço dos combustíveis bolivianos, a fim de reduzir os subsídios aos combustíveis em comparação com os preços internacionais. *Perspectiva social*: para uma penetração de mercado de 40 mil VEL's por ano, foram desenvolvidos estudos de impacto na base de 10 anos para a sociedade.

5.3.3.2. Informações e pressupostos para análise

Os parâmetros específicos de cada país são apresentados na Tabela 27 e os parâmetros gerais são apresentados na Tabela 28.

Tabela 27: Parâmetros específicos para cada país

Parâmetros	Paraguai	Bolívia
Taxa anual de desconto oficial	11.34%	12%
Custos anual de propriedade para VCID e VCIG (US\$)	92.3	115
Custos anual de propriedade para VEB e VEL (US\$)	46.2	57.5
Taxa de câmbio oficial (Gs/US\$; Bb/US\$)	4274	6.86
Preço de varejo da gasolina (US\$/L)	1.65	0.63 - 1.29 (sem subsidio)
Preço de varejo do diesel (US\$/L)	1.21	0.54 - 1.34 (sem subsidio)
Tarifa residencial média (US\$/kWh)	0.08	0.05

Fonte: Elaboração própria¹⁶

¹⁶ Os cálculos foram realizados com a colaboração de Carlos Germán Meza González

Tabela 28: Parâmetros gerais

Parâmetros	
Taxa de juros para consumidores por ano (%)	10%, 12%, 15%
Preço Internacional da Gasolina (US\$/L)	1.04
Preço Internacional do Diesel (US\$/L)	0.91
Média anual do quilometragem percorrido dos veículos	15000
Taxa anual de depreciação	10%
Preço pago por dióxido de carbono (US\$ per ton)	15
VCID. Preço do veículo (US\$)	20900
VCID. Consumo anual de combustível de (L)	1050
VCID. Emissões de kg de CO ₂ por litro	2.6
VCIG. Preço do veículo (US\$)	18900
VCIG. Desempenho (L/km)	0.1
VCIG. Consumo anual de combustível de (L)	1807
VCIG. Emissões de kg de CO ₂ por litro	2.4
VEB. Preço do veículo (US\$)	32000
VEB. Desempenho (kWh/km)	0.15
VEB. Consumo anual (kWh)	2250
VEL. Preço (US\$)	24225
VEL. Desempenho (kWh/km)	0.15
VEL. Consumo anual (kWh)	2250

Fonte: Elaboração própria

5.3.3.3. Análise para o Paraguai

a) Perspectiva dos consumidores

O Gráfico 15 mostra os Custos de Ciclos de Vida (CCV) das quatro opções de veículos. Nas condições atuais de mercado tendo em conta todo o ciclo de vida dos veículos, VEB é a opção de maior custo (perto de US\$ 50.000). No entanto, a potencial introdução dos VEL's com uma redução significativa no preço da bateria resulta na opção de menor custo (cerca de US\$ 40.000).

Gráfico 15: CCV dos veículos paraguaios utilizando taxas de desconto de 10%, 12% e 15%.

Fonte: Elaboração própria

A Tabela 29 apresenta a Taxa Interna de Retorno (TIR) e Período de Payback Simples (PPS) para todas as propostas de substituição. Para VCIG substituído por VEL e VCID substituído por VEL, as TIR's estão bem acima dos valores das três taxas de desconto consideradas (10%, 12% e 15%). Os PPS's estão em torno de 2-4 anos. Também foi calculado o Valor Presente Líquido (VPL) para todas as propostas de substituição, os valores estão entre US\$ 5000 e US\$ 8000 para o VCIG substituído por VEL e US\$ 1800 e US \$ 2200 para o VCID substituído por VEL. (Gráfico 16).

Tabela 29. Taxa Interna de Retorno e Período de Payback simples

Substituições	TIR (%)	Período de Payback Simples (anos)
VCIG com VEL	43	2.3
VCID com VEL	31	3
VCIG com VEB	12	5.6
VCID com VEB	-0.2	10.1

Fonte: Elaboração própria

Gráfico 16: VPL das propostas de substituição de veículos utilizando taxas de desconto de 10%, 12% e 15%.

Fonte: Elaboração própria

Assumindo uma taxa de desconto de 12% e quatro tipos de consumidores diferenciados pelas distancias que percorrem anualmente em quilômetros (10 mil, 15 mil, 20 mil e 25 mil) foi desenvolvido uma análise de sensibilidade dos CCV's dos veículos. O gráfico 17 mostra que ao aumentar a quilometragem anual percorrido também aumentam os benefícios financeiros do VEL. Portanto, desde a perspectiva dos consumidores paraguaios, a substituição dos atuais veículos movimentados por diesel e gasolina e substituí-los por VEL's seria um investimento rentável.

Gráfico 17: Análise de sensibilidade do Custo do Ciclo de Vida de veículos em função dos Km percorridos por ano.

Fonte: Elaboração própria

No entanto, nos mercados de veículos existe uma predominância dos contratos de compra com financiamento. Assumindo um empréstimo do valor total do VEL e uma taxa de juro de 8,5%¹⁷, foi desenvolvida uma análise financeira de 10 anos. A tabela 30 mostra que as poupanças financeiras nos custos de combustível e de propriedade resultadas da compra do VEL representariam 65% do valor calculado para os pagos mensais dum atual usuário do VCIG, equivalente a US\$ 300,4. Para um atual usuário do VCID a poupança seria de 31% do mesmo total.

Tabela 30: Contratos de compra com financiamento (financiamento total, taxa de juros anual de 8,5% no prazo de 10 anos para o VEL) e o impacto da economia de energia.

Parâmetros	Com VCIG	Com VCID
VEL. Preço (US\$)	24,225	24,225
VEL. Financiamento (%)	100	100
Taxa de juros anual (%)	8.5	8.5
VEL. Cláusulas contratuais (anos)	10	10
Pago mensal (US\$)	300.4	300.4
Poupança mensal em combustível e custos de propriedade (US\$)	195.1	91.8
% do pagamento mensal coberto pela poupança mensal.	65%	31%

Fonte: Elaboração própria.

b) Perspectiva Social

Foram estimados os impactos econômicos e sociais considerando uma penetração de 40 mil VEL por ano (25.000 para substituir os VCID's e 15.000 para os VCIG's). O gráfico 18 mostra que o balanço líquido dos impactos econômicos resulta favorável em uns US\$ 34 milhões em valor presente no primeiro ano, para cerca de US\$ 127 milhões em valores presentes no último ano. A maior parte dos benefícios é resultado da diminuição nas importações de combustíveis, tanto diesel como gasolina, como se pode observar no gráfico 19. A redução dos impostos de consumo e dos margens de distribuição e varejo representa cerca de 25% das vendas totais de diesel e 37% das vendas totais de gasolina.

¹⁷ Taxa de juro utilizada pela *Agencia Financiera de Desarrollo* (AFD) para financiar a renovação da frota de táxis.

Gráfico 18: Balanço líquido da penetração dos VEL's substituindo os VCID's e VECIG's no Paraguai ao longo de 10 anos.

Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 19: Impactos econômicos acumulados da penetração dos VEL's substituindo os VCIG's e VCID's no Paraguai

Fonte: Elaboração própria.

A eletrificação da frota (400 mil VEL's), criaria uma demanda de energia adicional de quase 5 milhões de MWh de energia adicional e 565 MW de utilização média adicional de potência, diminuindo assim as exportações de energia. Não existiram problemas de oferta de energia, pela elevada capacidade instalada do país, o aumento na demanda poderia ser coberto por Itaipu. No entanto, se deve considerar na análise a redução das compensações que paga o

Brasil pela energia recebida do Paraguai em caráter de sessão de energia. Para o período de análise, esta redução foi calculada em US\$ 50 milhões em valor presente, número que não resulta significativo levando em consideração a enorme diferença com a redução de importações (US\$ 1759 milhões).

Os impactos econômicos acumulados também foram estimados (Tabela 31). Os benefícios líquidos da redução das importações de combustíveis e as emissões de CO₂, uma vez subtraídas as reduções de impostos sobre o consumo e nos margens de varejo e as reduções nas exportações de energia, são cerca de US\$ 1.004,3 milhões em valor presente. Uma redução das importações de combustível representaria uma melhora significativa no balanço de pagamentos paraguaio, aumentando, assim, as reservas internacionais. Na base da relação entre os preços do petróleo e a inflação interna, também pode ser esperada uma melhoria na estabilidade das taxas de inflação.

Tabela 31: Balanço econômico da transformação da frota de veículos leves no Paraguai, na base de dez anos.

Indicadores	VCID por VEL	VCIG por VEL	Total
Frota de VEL's	250,000	150,000	400,000
Redução do consumo de combustível (milhões de L)	1858.1	1491	3349.1
Redução nas vendas de combustível (valor presente em milhões de US\$)	1220.2	1335.1	2555.3
Emissões totais de CO ₂ evitadas (Gg)	4849.7	3548.5	8398.2
Aumento na demanda de energia (MWh)	3,093,750	1,856,250	4,950,000
Aumento de potência média (MW)	353	212	565
Impactos (milhões de US\$ em valor presente)			
(+) Redução das importações de combustível	917.7	841.5	1759.2
(-) Redução de impostos sobre o consumo e nos margens de distribuição e varejo	302.5	493.6	796.1
(+) Redução de CO ₂	39.5	28.9	68.4
(-) Redução nas exportações de energia	31,2	18,7	50
Saldo líquido em valor presente (milhões de US\$)	637,7	366,7	1004,3

Fonte: Elaboração própria.

Finalmente, a melhoria na saúde da população devido à redução do escape dos veículos poderia reduzir os gastos governamentais e privados em serviços de saúde. As projeções de

emissões de CO₂ evitadas devido à redução no consumo de gasolina e diesel são apresentadas no gráfico 20, considerando-se que a eletricidade para os VEL's será gerada por usinas hidrelétricas existentes, sem emissões incrementais substanciais.

Gráfico 20: Redução das emissões de CO₂ por mudanças na tecnologia da frota de veículos Leves no Paraguai.

Fonte: Elaboração própria.

5.3.3.4. Análise para a Bolívia

a) Perspectiva dos consumidores

O caso boliviano foi analisado em três cenários: a) condições atuais dos preços no mercado interno de combustíveis, subsidiados; b) condições do mercado interno de combustíveis com uma eventual suspensão dos subsídios do governo; c) finalmente, no final desta seção as condições do mercado interno de combustíveis com um eventual incremento de 33% nos preços do diesel e de 25% nos preços da gasolina, a fim de reduzir os subsídios, em comparação com os preços internacionais de paridade.

O gráfico 21 mostra que no primeiro cenário (subsídio ao preço do combustível) o VEB e o VEL são as opções de veículos de maior custo (≈US\$ 50 mil e ≈US\$ 40 mil, respectivamente).

No entanto, se o segundo cenário, sem os subsídios aos combustíveis, é considerado, o VEL torna-se a opção de veículo de menor custo (≈US\$ 40 mil). (Gráfico 22).

Gráfico 21. Custo de Ciclo de vida (CCV) para os veículos bolivianos nas condições atuais de mercado, com taxas de desconto 10%, 12% e 15%.

Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 22: Custo de Ciclo de vida (CCV) para os veículos bolivianos com suspensão de subsídios nos combustíveis, com taxas de desconto 10%, 12% e 15%.

Fonte: Elaboração própria.

Assim, a substituição da frota convencional boliviana de veículos com os VEL's de mobilidade elétrica nas condições atuais do mercado não é uma opção do ponto de vista dos

consumidores. Para compensar os subsídios atuais seriam necessários subsídios nos preços dos veículos ou na taxa de energia elétrica, ou uma mistura de ambos. Para o investimento na mobilidade elétrica utilizando o VEL, a eventual eliminação dos subsídios resultaria em TIR's, acima de 30% (Tabela 32).

Tabela 32: Taxas internas de retorno e Períodos de Payback Simples em condições atuais e sem subsídio do governo

Substituições	TIR (%)	Período de Payback Simples (anos)
GVCi com LEV (com subsidio no combustível)	10.5	6
GVCi com LEV (sem subsidio no combustível)	33.4	2.8
DVCi com LEV (com subsidio no combustível)	8.2	6.7
DVCi com LEV (sem subsidio no combustível)	38	2.5
GVCi com VEB (com subsidio no combustível)	-6.5	14.8
GVCi com VEB (sem subsidio no combustível)	7.2	7
DVCi com VEB (com subsidio no combustível)	-12.4	22.2
DVCi com VEB (sem subsidio no combustível)	3.2	8.4

Fonte: Elaboração própria.

Os resultados mostrados nos gráficos 23 e 24 servem de apoio para as considerações de acima. Apenas no segundo cenário os VPL's para a substituição do VCIG e VCID com o VEL resultam em valores positivos (US \$ 3.000 US \$ 5.000 e US \$ 2.500 US \$ 4.000, respectivamente).

Gráfico 23: Os Valores Presentes Líquidos da proposta de substituição de veículos nas condições atuais de mercado, utilizando taxas de desconto de 10%, 12% e 15%.

Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 24: Os Valores Presentes Líquidos da proposta de substituição de veículos com suspensão de subsídios, utilizando taxas de desconto de 10%, 12% e 15%.

Fonte: Elaboração própria.

Assumindo uma taxa de desconto de 12% e quatro tipos de consumidores diferenciados pelas distancias que percorrem anualmente em quilômetros (10 mil, 15 mil, 20 mil e 25 mil) foi desenvolvido uma análise de sensibilidade dos CCV's dos veículos. O gráfico 25 mostra que nas condições atuais do mercado, para os consumidores que percorrem uma distância maior a 25 mil quilômetros por ano, o VEL resulta a opção de menor custo. Além disso, uma suspensão dos subsídios aos combustíveis define o VEL como a opção de menor custo para todos os tipos de consumidores (Gráfico 26).

Gráfico 25. Análise de sensibilidade do Custo do Ciclo de Vida de veículos em função dos quilômetros percorridos por ano, em condições de mercado atuais.

Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 26. Análise de sensibilidade do Custo do Ciclo de Vida de veículos em função dos quilômetros percorridos por ano, com suspensão de subsídios.

Fonte: Elaboração própria.

Assumindo um empréstimo do valor total do VEL e uma taxa de juro de 8,5%, foi desenvolvida uma análise financeira de 10 anos para os dois primeiros cenários. A Tabela 33 mostra que as poupanças financeiras nos custos de combustível e de propriedade resultadas da compra do VEL representariam 25% do valor calculado para os pagamentos mensais de um atual usuário do VCIG (US\$ 300,4), sem subsidio, as poupanças financeiras nos custos de combustível e de propriedade cobrem 52,2% do pago mensal. Para um atual usuário do VCID a poupança seria de 13,8% do mesmo total nas condições atuais do mercado e de 36,5% sem subsidio.

Tabela 33: Contratos de compra com financiamento (financiamento total, taxa de juros anual de 8,5% no prazo de 10 anos para o VEL) e o impacto da economia de energia nos dos primeiros cenários.

Parâmetros	Com VCIG	Com VCIG (sem subsidio)	Com VCID	Com VCID (sem subsidio)
VEL. Preço (US\$)	24,225	24,225	24,225	24,225
VEL. Financiamento (%)	100	100	100	100
Taxa de juros anual (%)	8.5	8.5	8.5	8.5
VEL. Cláusulas contratuais (anos)	10	10	10	10
Pago mensal (US\$)	300.4	300.4	300.4	300.4
Poupança mensal em combustível e custos de propriedade (US\$)	73.8	156.9	41.6	109.6
% do pagamento mensal coberto pela poupança mensal.	25	52.2	13.8	36.5

Fonte: Elaboração própria.

Estes resultados indicam que a fim de viabilizar a introdução massiva de VEL's no mercado boliviano e necessária uma suspensão gradual dos subsídios aos combustíveis, transferindo-os parcialmente para a cadeia produtiva da nova indústria de VEL's, ou diretamente aos consumidores. Embaixo é calculado o aumento necessário nos preços dos combustíveis, a fim de atingir um TIR mínimo de 15%.

Ainda, a tabela 34 mostra que um aumento de 33% nos preços atuais do mercado interno do diesel (de 0,54 US\$/L a 0,72 US\$/L) e um aumento de 25% nos preços atuais do mercado interno da gasolina (de 0,63 US\$/L para 0,78 US\$/L) é o suficiente para alcançar uma TIR de 15,7% no caso da substituição do VCID pelo VEL e uma TIR de 16,5% para o caso da substituição do VCIG pelo VEL. Estes TIR's estão ligeiramente acima da maior taxa de desconto considerada para o análise (15%). Os períodos de payback simples em ambos os casos encontram-se cerca dos cinco anos. A fim de preparar a penetração dos VEL em curto e médio prazo, esses aumentos nos preços de combustíveis poderiam considerar-se o objetivo de preços. Alternativamente, subsídios nos preços de energia elétrica ou dos veículos seriam necessários.

Tabela 34. Taxas internas de retorno e períodos de payback simples com 33% de aumento nos preços atuais de mercado interno do diesel e 25% de aumento nos preços atuais de mercado interno da gasolina.

Substituições	TIR (%)	PPS (anos)
VCIG com VEL	16.5	4.7
VCID com VEL	15.7	4.9
VCIG com BEV	-2.7	11.7
VCID com BEV	-8.0	16.3

Fonte: Elaboração própria.

b) Perspectiva Social

Comparando com o caso paraguaio, os subsídios nos preços do mercado interno boliviano de combustíveis requerem uma abordagem diferente para estimar os benefícios económicos e sociais da penetração dos VEL's. Em primeiro lugar, os preços do mercado interno boliviano de combustíveis são 40% mais baixos do que os preços internacionais. Assim, uma eventual redução do consumo de combustíveis implicaria uma redução no montante da subvenção prevista pelo governo. Em segundo lugar, ao contrário do caso paraguaio, os VCID's têm baixa penetração

relativa na frota elétrica boliviana (cerca de 3000 unidades em 2014), e ao veículos que utilizam gás natural aumentaram, em média, 38% ao ano desde 2005.

Foram estimados os impactos econômicos assumindo uma penetração de 40 mil VEL's por ano (1.000 para substituir VCID's e 39.000 para VCIG's). O valor presente dos impactos econômicos anuais passaria de US\$ 104 milhões no primeiro ano, para entre de US\$ 183 e 367 milhões em valores presentes nos próximos anos (Gráfico 27). A maior parte destes benefícios e resultado da substituição dos VCIG, pois o mercado de VCID na Bolívia é incipiente.

Gráfico 27: Balanço líquido da penetração dos VEL's substituindo aos VCID's e VCIG's na Bolívia.

Fonte: Elaboração própria.

Para o cálculo dos impactos econômicos acumulados foram consideradas as reduções de importação de combustível, a redução dos subsídios do governo, a correspondente redução de CO₂, e o custo estimado de geração para a Bolívia. Este último devido a que a oferta e demanda de potência da Bolívia, a diferencia do Paraguai que detêm um excedente, está balanceada. O resultado em valor presente foi calculado em $\approx$ US\$ 1287 milhões. No gráfico 28 e na tabela 35 se observam os impactos econômicos acumulados para o período de estudo.

Gráfico 28: Impactos econômicos da penetração dos VEL's substituindo aos VCIG's e VCID's na Bolívia.

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 35. Balanço econômico da substituição da frota na Bolívia ao longo de 10 anos.

Indicadores	VCID por VEL	VCIG por VEL	Total
Frota de VEL's	10,000	390,000	400,000
Redução do consumo de combustível (milhões de L)	74.3	3876.5	3950.8
Aumento na demanda de energia (MWh)	123,750	4,826,250	4,950,000
Aumento de potência média (MW)	14	551	565
Emissões totais de CO2 evitadas (Gg)	194	9226.1	9420.1
Impactos econômicos (milhões de US\$ em valor presente)			
(+) Redução das importações de combustíveis ou disponibilidade para exportação	35.6	2119.7	2155.2
(+) Redução nos subsídios do governo (valor presente em milhões de US\$)	14.4	842.1	856.5
(+) Redução de CO2 (valor presente em milhões de US\$)	1.5	72.8	74.3
(+) Custo estimado de geração	2,2	84	86,2
Saldo líquido em valor presente (milhões de US\$)	20,6	1266	1287

Fonte: Elaboração própria.

Levando em consideração um mesmo nível de penetração dos VEL's (40 mil por ano), o saldo dos impactos econômicos acumulados na boliviana resulta melhor do que os mesmos resultados para o Paraguai, isto principalmente por causa do subsídio no mercado boliviano de combustíveis. No entanto, a fim de alcançar estes resultados econômicos, o governo boliviano

precisaria eliminar o subsídio no preço dos combustíveis. Pesquisas relacionadas aos subsídios nos combustíveis fósseis nos países submetidos ao estudo coincidem na conclusão que os mesmos representam um desequilíbrio econômico, que apresenta um obstáculo para a competitividade dos veículos elétricos (LAZCANO, 2012; ITRIAGO, 2012).

Para resolver este problema são necessárias mudanças nas políticas públicas que visem uma utilização racional dos recursos energéticos, reduzindo assim, a forte dependência dos combustíveis importados de ambos países em estudo. No entanto, esta é uma tarefa política de grande dificuldade. Em 2011, o governo boliviano promulgou um decreto para aumentar em 82% os preços da gasolina e do diesel, a fim de diminuir os impactos dos subsídios no orçamento do governo. Devido a fortes protestos sociais o decreto foi revogado depois de apenas cinco dias de vigência.

A proposta de substituição das frotas de VCID's e VCIG' com VEL's pode resultar numa solução pacífica ao problema dos subsídios se for implementado:

- a) com um aumento gradual dos preços dos combustíveis na base de 10 anos;
- b) a manutenção de subsídios aos combustíveis para a indústria de transporte público de mercadorias;
- c) prosseguir as políticas de apoio à penetração dos veículos a gás natural como uma referência para comparação com a mobilidade alternativa elétrica;
- d) a transferência total ou parcial de ganhos econômicos sociais (redução das importações de combustíveis + redução dos subsídios + ganhos econômicos no mercado de carbono) para subsidiar o preço base do veículo elétrico e ou a eletricidade consumida pelos VEL's.

No curto prazo, essas ações irão reduzir ou mesmo anular o impacto negativo imediato nas contas dos consumidores (diretamente por causa do aumento nos preços dos combustíveis e indiretamente pelo potencial aumento esperado nas taxas de inflação). A meio prazo, são esperados retornos financeiros para os consumidores e uma tendência à redução das doenças e os custos de saúde associados com o escape dos veículos. Além disso, são esperadas melhorias no orçamento do governo, o balanço de pagamentos e as reservas internacionais. No longo prazo, os fundos orçamentais disponíveis poderiam ser redirecionados para outras prioridades econômicas e sociais. Finalmente, Bolívia e Paraguai poderiam tornar-se exportadores de produtos e tecnologia relacionada à mobilidade elétrica.

A eletrificação da frota exigiria quase 5 milhões de MWh de energia adicional e 565 MW de capacidade média adicional. Considerando a atual matriz energética boliviana, com um fator de emissão para o Gás Natural de 0,184 kgCO₂eq. por kWh (BATTERY UNIVERSITY, 2015), no período de análise de 10 anos são previstas reduções das emissões de CO₂ de aproximadamente 910.998 tCO₂e. No entanto, essa redução poderia ser mais elevada se a expansão da capacidade de geração fosse baseada em fontes renováveis disponíveis, como hidrelétricas, biomassa, eólica ou geotérmica. (Gráfico 30).

Gráfico 30: Emissões evitadas na Bolívia por tipo de combustível.

Fonte: Elaboração própria.

6. CONCLUSÕES

Com base nos resultados alcançados na presente investigação, favoráveis como uma avaliação exploratória, são necessárias avaliações mais detalhadas no futuro para a tomada de decisão sobre a implementação do projeto, as quais poderiam incluso expandir o escopo para os países do MERCOSUL, e toda a América Latina. Estratégias, modelos de negócio, logística e mecanismos institucionais e jurídicos devem ser avaliados para a substituição da frota de veículos no Paraguai e na Bolívia, para a extração de carbonato de lítio e para a implementação da produção em escala de baterias de íon-lítio, gerando também uma cadeia de produção de veículos elétricos. Ainda maiores benefícios de escala obtidos de uma potencial exportação de BIL's e VEL's também deveria ser avaliada.

Em relação à tecnologia necessária para a industrialização das baterias de lítio, condição necessária para a viabilidade a grande escala do projeto, a Bolívia tem assinado acordos de cooperação tecnológica com vários países, a ser Brasil, Venezuela, Coreia do Sul, Irã, Holanda e a França. Em vista de que o interesse do governo Boliviano é a industrialização de baterias em seu território, também rejeitou várias ofertas de empresas e países que buscavam a exportação de matérias primas ou produtos semiacabados. Alguns destes países tem avançado em intercâmbios de profissionais, criação de laboratórios, plantas piloto. No entanto, a Bolívia ainda não fechou acordos de produção para o longo prazo. Por algum motivo o acordo com o Brasil não tem prosperado até agora, mas o avance nesse processo de cooperação deveria ser considerado pelo governo Brasileiro. O Brasil conta com a tecnologia, experiência e profissionais capacitados para a empreitada, e em vista da expansão regional do projeto seria valioso seu envolvimento.

Além de desenvolver o modelo de negócio, mecanismos institucionais, logísticos, jurídicos, e avaliar as necessidades de infraestrutura, devem ser projetadas e avaliadas medidas de políticas públicas necessárias para viabilizar o projeto: por citar algumas possibilidades, podem ser avaliados subsídios aos preços da eletricidade e ou carro LEV, o aumento de impostos sobre as importações de veículos e restrição da importação de veículos usados, com a finalidade de proteger a nova indústria automotiva e reduzir os níveis de poluição gerados por o setor transporte. Deve ser revista também a experiência de outros países no que diz respeito aos

incentivos para uma cadeia automotiva elétrica e impostos relacionados com as emissões de gases de efeito estufa geradas pelo uso de combustíveis no transporte automotivo.

A substituição da frota convencional de veículos leves por uma frota elétrica no Paraguai aumentaria a segurança energética do país, por sua dependência total dos combustíveis líquidos importados para o transporte automotivo. Além disso parte do excedente de geração de eletricidade, atualmente exportado principalmente ao Brasil, poderia suprir a demanda elétrica da nova frota de VEL's melhorando, assim, a balança comercial do país. Levando em consideração que a redução das importações de derivados de petróleo, em termos monetários, seria bem maior.

No caso da Bolívia a redução das importações de combustíveis seria de aproximadamente 60%, além da oportunidade estratégica para adicionar valor aos recursos naturais do mineral lítio presentes no Salar de Uyuni e melhorar a eficiência energética na hora do uso de seus recursos de gás natural. Uma expansão das usinas termelétricas a gás natural para alimentar os VEL's através da rede de distribuição elétrica seria energética e ambientalmente mais vantajoso. A centralização de queima do gás natural apresenta a possibilidade de capturar e transformar também em energia dos gases resultantes da combustão. Outras fontes de energia como hidrelétricas, biomassa, eólica e geotérmica, também devem ser consideradas. Estas alternativas resultariam tanto na diversificação da matriz energética da Bolívia, como no seu desenvolvimento socioeconômico.

Para ambos os países resultariam também benefícios sociais decorrentes da geração de emprego, potencialmente aliviando a pobreza, reduzindo a poluição provocada por o consumo de combustíveis nas cidades, bem como as emissões de GEE. A integração dos recursos do Paraguai e da Bolívia pode permitir uma oportunidade única para desenvolver uma importante indústria de veículos elétricos no mundo.

A presente iniciativa de cooperação bilateral proposta, a qual inclui uma integração sinérgica dos recursos, poderia sentar as bases para um novo conceito de geopolítica da energia e dos recursos minerais na região.

BIBLIOGRAFIA

ABVE: Associação brasileira do veículo elétrico. **Roteiro para Difusão de Veículos Elétricos no Brasil-RVE “Road Map”, 2013.** Disponível em: <http://www.abve.org.br/downloads/road%20map%202013%2030%20setembro%20%20final.pdf>. Acesso em: 07/02/2013.

AE: Autoridad de fiscalización y control social de electricidad. Disponível em: <http://www.ae.gob.bo/aewebmobile/main>. Acesso em: 22 dez. 2014.

ALIAGA et al., instituto de Investigaciones Socio-económicas. **El Sector Eléctrico en Bolivia.** Abr., 2012. Disponível em: <http://www.iisec.ucb.edu.bo/papers/2011-2015/iisec-dt-2012-04.pdf>. Acessado em: 11 feb 2015

AMADEO, B., et. al. **Assessment of CO₂ Capture and Storage from Thermal Power Plants in Argentina.** Greenh Gas Con Tech; n.7, p.243–251, 2005.

ANDE: Administración Nacional de Electricidad. **Ande realiza pruebas a equipos a ser instalados en Parque Industrial Hernandarias.** Asunção, 2014. Disponível em: <http://www.ande.gov.py/interna.php?id=2356#.VL5uWUeG9Z8>. Acesso em 20 ene. 2015.

ANDE: Administración Nacional de Electricidad. Website information: <http://www.ande.gov.py/generacion.php>. Acesso em: 23 dic. 2014.

ANDE: Administración Nacional de Electricidad. **Plan maestro de generación y transmisión.** Ene., 2014. Disponível em: http://www.ande.gov.py/documentos/planMastro2014_2023/PM_GyT2014-2023.pdf. Acesso em: 19 dec. 2014.

ANDE: Administración Nacional de Electricidad. **Transmisión**. Disponível em: <http://www.ande.gov.py/transmision.php>. Acesso em: 23 dic. 2014.

ANDE: Administración Nacional de Electricidad. **Memoria y Balance 2013**. Asunción, 2014. Disponível em: http://www.ande.gov.py/documentos_contables/377/memoria_y_balance_2013.pdf. Acesso em: 22 dec. 2014.

ANDE: Administración Nacional de Electricidad. **Resumen Estadístico**. Asunción, 2011. Disponível em: http://www.ande.gov.py/documentos_contables/160/resumen_estadistico_2011.pdf. Acesso em: 22 dec. 2014.

ANDE: Administración Nacional de Electricidad. **Resumen Estadístico 2009-2013**. Dez, 2013. Disponível em: http://www.ande.gov.py/documentos_contables/378/resumen_estadistico_v_26-9-14.pdf. Acesso em: 22 dez. 2014.

ARANGO, L. The environmental paradox in generation: How South America is gradually becoming more dependent on thermal generation. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, n.14: p.2956–65, 2010.

BADDOUR, J.W. The international petroleum industry: Competition, structural change and allocation of oil surplus, **Energy Policy**, v.25, n.2, p.143–57, 1997.

BATTERY COUNCIL INTERNATIONAL. **Battery Recycling**. Disponível em: http://batteryCouncil.org/?page=Battery_Recycling. Acessado em: 12 feb 2015.

BATTERY UNIVERSITY. Disponível em: <http://batteryuniversity.com>. Acesso em: 12 feb. 2015.

BCP: Banco Central del Paraguay. **Anexo Estadístico**. Disponível em: <https://www.bcp.gov.py/anexo-estadistico-del-informe-economico-i365>. Acesso em: 31 ene 2015.

BID: Banco Interamericano de Desarrollo. **Programa de Infraestructura Vial de apoyo al Desarrollo y Gestión de la Red Vial Fundamental**. Disponível em: <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=38769680>. Acessado em: 4 feb 2015

BOLIVIA. MINISTERIO DE HIDROCARBUROS Y ENERGÍA DE BOLIVIA. **Anuario Estadístico 2012. Producción, transporte, refinación, almacenaje y comercialización de hidrocarburos**. La Paz, 2012.

BOLIVIA. MINISTERIO DE HIDROCARBUROS Y ENERGÍA DE BOLIVIA. **Balance Energético Nacional 2000-2011**. La Paz, 2013.

BORBA, Bruno Soares Moreira César. **Metodologia de regionalização do mercado de combustíveis automotivos no Brasil**. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação de Engenharia. UFRJ – COOPE. Rio de Janeiro, 2008.

BORBA, Bruno Soares Moreira César. **Modelagem integrada da introdução de veículos leves conectáveis à rede elétrica no sistema energético brasileiro**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação de Engenharia. UFRJ – COOPE. Rio de Janeiro, 2012.

BRODD, R.J.; HELOU, C. Cost comparison of producing high-performance Li-ion batteries in the U.S. and in China, **Journal of Power Sources**, n.231, p.293-300, 2013.

BUNKER, SG. **Underdeveloping the Amazon: Extraction, Unequal Exchange, and the Failure of the Modern State**. Chicago, University of Chicago Press, 1985.

BURN, an energy journal. **Electric Vehicles 19th Century to Today**. Disponível em: <http://burnanenergyjournal.com/electric-vehicles-19th-century-to-today>. Acesso em 8 feb. 2015.

CADETIERRAS: Compañía Argentina de Tierras. **Valor de la tierra por zonas en Bolivia**. Disponível em: <http://www.cadetierras.com.ar/estadisticas/valor-de-la-tierra-en-la-region/valor-de-la-tierra-en-bolivia>. Acesso em: 23 dez. 2014.

CAF: Corporación Andina de Fomento. **La Infraestructura en el Desarrollo Integral de América Latina. Diagnóstico estratégico y propuesta para una agenda prioritaria. Energía eléctrica. Octubre 2011**. Disponível em: <http://es.slideshare.net/JulioArnulfoVivarGonzalez/la-infraestructura-en-en-el-desarrollo-integral>. Acessado em: 17 feb 2015

CANESE, Ricardo. **La recuperación de la soberanía hidroeléctrica del Paraguay**. 6ta. ed. Asunción: Editorial El ombligo del mundo, 2011. 232p.

CCSI: Columbia College. **Leveraging Paraguay's Hydropower for Sustainable Economic Development. Final Report**. 2013. Disponível em: http://ccsi.columbia.edu/files/2013/11/Leveraging_Paraguays_Hydropower_for_Economic_Development.pdf. Acessado em: 12 feb 2015

CHOU, S.L.; et.al. Enhanced reversible lithium storage in a nanosize silicon/graphene composite. **Electrochemistry Communications** , n.12, p.303–06, 2010.

CMMCH: Centro Mario Molina Chile. **Plan de acción para combustibles y vehículos más limpios en Paraguay**. Abril, 2011. Disponível em: https://www.paho.org/par/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=268&Itemid=253. Acesso em: 8 nov. 2012.

CNDC: Comité Nacional de Despacho de Carga. Disponível em: www.cndc.bo/agentes/transmision.php. Acesso em: 22 dez. 2014.

CNDC: Comité Nacional de Despacho de Carga. **Memorias 2013**. Disponível em: http://www.cndc.bo/media/archivos/boletines/memyres_2013.pdf. Acessado em: 2 feb 2015

COMIBOL: Corporación Minera de Bolivia. Dirección Nacional de Recursos Evaporíticos. **La industrialización del Litio**. Disponível em: <http://www.evaporiticos.gob.bo/wp-content/uploads/boletines/CartillaLitio.pdf>. Acesso em: 02 ago. 2014.

COSUDE: Agencia Suiza para El Desarrollo y la Cooperación. **Semana de Aire Limpio en Bolívia**. La Paz, 2006. Disponível em: <https://www.eda.admin.ch/deza/es/home.html>. Acesso em: 23 dec. 2014.

DAHN, J.; EHRLICH, G. Lithium-ion Batteries. Edited by: REDDY, T. **Linden's Handbook of Batteries**. 4ª Edição. Estados Unidos da América: Mc Graw Hill, 2011.

DGEEC: Dirección General De Estadísticas, Encuestas y Censos. **Compendio Estadístico. 2013**. Nov., 2014. Disponível em: <http://www.dgeec.gov.py/Publicaciones/Biblioteca/compendio%202013/Compendio%20Estadistico%202013.pdf>. Acessado em: 10 feb 2015.

DIMITRI, E.A. Fueling the automobile: an economic exploration of early adoption of gasoline over ethanol. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.5, n.2, p.1-21, 2007.

DNRA: Dirección Nacional del Registro de Automotores. **Informe Estadístico**. Asunción, 2013. Disponível em: <http://www.pj.gov.py/images/contenido/dnra/informe-estadistico-grande.jpg>. Acesso em: 22 nov. 2014.

DUARTE, N. Accesorios para la marca Hyundai se fabricarán en el país. Lunes 19 de marzo de 2012. **ULTIMA HORA**. Disponível em: <http://www.ultimahora.com/accesorios-la-marca-hyundai-se-fabricaran-el-pais-n512394.html>. Acesso em: 05 ago. 2014.

ELLIS,B.; NAZAR,L. Current opinion in solid state and materials science. **Solid State and Materials Science**, n.16, p.168-177, 2012.

ETACHERI, V; et.al. Challenges in the development of advanced Li-ion batteries: a review. **Energy & Environmental Science**, n.04; p.3243-62, 2011.

FARIA, R. et al. A sustainability assessment of electric vehicles as a personal mobility system. **Energy Conversion and Management**, n.61, p.19–30, 2012.

FOWLER, M, et.al. Energy efficiency of Li-ion battery packs re-used in stationary power Applications. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, n.8; p.9–17, 2014.

FREUDENBURG, W R. Addictive Economies: Extractive Industries and Vulnerable Localities in a Changing World Economy. **Rural Sociol.** n.57, v.3, p.305–332, 1992.

GARCIA-VILLALOBOS, J. et al. Plug-in electric vehicles in electric distribution networks: A review of smart charging approaches. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n.38; p.717–31, 2014.

GERSSSEN-GONDELACH, S.J.; FAALJ, A.P.C. Performance of batteries for electric vehicles on short and longer term. **Journal of Power Sources**, n.212, p.111–129, 2012.

GROSJEAN, C. et al. Assessment of world lithium resources and consequences of their geographic distribution on the expected development of the electric vehicle industry. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 3, p. 1735–1744, abr. 2012.

GRUBER, P; et al. Global Lithium Availability and Electric Vehicles. **Journal of Industrial Ecology**. V.15, n.5, p.760-775, 2011.

HENDERSON, B.D. **Die Erfahrungskurve in der Unternehmensstrategie**. 2nd ed. Frankfurt: Campus; 1984.

HIRSCHMAN, A. **The Strategy of Economic Development**; New Haven, Yale University Press, 1958.

HOYER, K.G. The History of alternative fuels in transportation: The case of electric and hybrid cars. **Utilities Policy**, n.16, p.63-71, 2008.

IEA: International Energy Agency. **Global EV Outlook**. Abr., 2013. Disponível em: http://www.iea.org/topics/transport/subtopics/electricvehiclesinitiative/EVI_GEO_2013_FullReport.pdf Acesso em: 11 jul. 2013.

IEA: International Energy Agency. **Key World Energy Statistics**. 2014. Disponível em: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/keyworld2014.pdf>. Acessado em: 12 feb. 2015.

IEA: International Energy Agency. **Statistics**. Disponível em: <https://www.iea.org/stats>. Acesso em: 02 ene. 2015.

INE: Instituto Nacional de Estadística. **Actualidad Estadística**. http://www.ine.gob.bo/pdf/actest/AE_2014_962.pdf. Acessado em: 4 feb 2015.

INE: Instituto Nacional de Estadística. **Geografía de Bolivia**. Disponível em: http://www.ine.gob.bo/html/visualizadorHtml.aspx?ah=Aspectos_Geograficos.htm. Acessado em: 4 ene 2015.

INE: Instituto Nacional de Estadística. Disponível em: www.ine.gob.bo. Acessado em: 2 nov 2014

INE: Instituto Nacional de Estadística de Bolívia. **Parque Automotor** 1998-2012. La Paz, dez., 2011. Disponível em: http://www.ine.gob.bo/pdf/Parque_automotor2013/Parque_Automotor_2013.pdf. Acesso em: 23 dec. 2014.

INSUCONS. **Mano de obra em Bolívia**. Disponível em: <http://www.insucons.com/insumos/mano-de-obra>. Acesso em: 23 dez. 2014.

ITAIPU: Itaipú Binacional. **Inauguración oficial de Línea de 500**. Asunción, 25 de Octubre Del 2013. Disponível em: <http://www.itaipu.gov.py/es/sala-de-prensa/noticia/inauguracion-oficial-de-linea-de-500>. Acesso em: 23 dic. 2014.

ITAIPU. PROJETO VEÍCULO ELÉTRICO. Disponível em: <https://www.itaipu.gov.br/ve/>. Acesso em: 10 Feb. 2015.

ITRIAGO, D. Oxfam Research Reports. **Taxation in Paraguay: marginalization of small-scale farming**. May, 2012. Disponível em: <http://www.oxfam.org/sites/www.oxfam.org/files/rrtaxation-paraguay-smallscale-producers-24052012-en.pdf>. Acesso em: feb. 2014.

JUNIOR, Hélder Alves de Almeida. **Análise Comparativa de Veículos Elétricos e Veículos com Motor de Combustão Interna**. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós- Graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente . CEFET-MG. Belo Horizonte, 2014.

KOHL B. Material Constraints to Popular Imaginaries: the Extractive Economy and Resource Nationalism in Bolivia, **Political Geography**, n. 31, 2012.

KREYENBERG, D; et. al. Market penetration analysis of electric vehicles in the German passenger car market towards 2030. **International Journal of Hydrogen Energy**, n.38, p.5201-8, 2013.

KUMAR, L.; JAIN, S. Electric propulsion system for electric vehicular technology: A review. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, n.29, p.924–40, 2014.

LAITKO, H.; GREIF, S.; PARTHEY, H. **Wissenschaftsforschung**. Marburg: BdWi; 1998.

LAZCANO, M. YPFB reducirá sus 283 millones al costo de subsidio de gasolina. LA RAZON, ECONOMIA. 23 nov. 2012. Disponível em: http://www.la-razon.com/economia/Bolivia-dejara-importar-gasolina-finales_0_1729627073.html. Acesso em: 23 set. 2013

LUTSEY, N. Regulatory and technology lead-time: The case of US automobile greenhouse gas emission standards. **Transport Policy**, n.21, p.179–90, 2012.

MACHADO, Felipe Ferraz. **Análise das Políticas Públicas para a Inclusão do Automóvel Elétrico no Brasil**. Dissertação de Mestrado – Programa de Pos-Graduacao em Energia.USP. São Paulo, 2015.

MASI, F. **Paraguay: cuando la energía no es igual al desarrollo**. 2011. Disponível em: http://www.oered.org/index.php?option=com_content&view=article&id=170&lang=es. Acesso em: 5 nov. 2012.

MASTROPIETRO, B.C; BARROSO, R.P. Electricity auctions in South America: Towards convergence of system adequacy RES-E support. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n.40, p.375–85, 2014.

MEFP: Ministerio de Economía y Finanzas Públicas. Disponível em: <http://www.economiayfinanzas.gob.bo/index.php>. Acesso em: 10 ago. 2013.

MHE: Ministério de Hidrocarburos y Energia. Disponível em: <http://www2.hidrocarburos.gob.bo/index.php/viceministerios/exploracion-y-explotacion->

[dehidrocarburos/reporte-de-precios-gas-natural-y-petr%C3%B3leo/category/44-viceministerio-deexploracion-y-explotacion-de-hidrocarburos.html](#). Acesso em: 22 dez. 2014.

MHE: Ministério de Hidrocarburos y Energia. **Plan óptimo de expansión del Sistema Interconectado Nacional 2012-2022**. La Paz, 2012. Disponível em: http://www.cndc.bo/media/archivos/boletines/pexpa_sin_1222.pdf. Acesso em: 22 dez. 2014

MHE: Ministério de Hidrocarburos y Energia. **Estrategia Boliviana de Hidrocarburos**. La Paz, 2008. Disponível em: <http://www2.hidrocarburos.gob.bo/phocadownload/Estrategia%20Boliviana%20de%20Hidrocarburos%202008.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2014.

MHE: Ministério de Hidrocarburos y Energia. **Plan Eléctrico de Bolivia. La paz 2014**. Disponível em: <http://www2.hidrocarburos.gob.bo/index.php/balance-energetico-nacional/category/47-plan-electrico-del-estado-plurinacional-de-bolivia-2025.html>. Acessado em: 2 ene 2015.

MIT: Massachusetts Institute of Technology. **Electric Vehicle Team. Electric Powertrains**. Abr. 2008. Disponível em: http://web.mit.edu/evt/summary_powertrains.pdf Acesso em: 07 feb. 2013.

MMM: Ministerio de Minería y Metalurgia. **Se desarrolla proyecto estratégico con la industrialización de los recursos evaporíticos**. 2014. Disponível em: http://www.mineria.gob.bo/?post_type=post&p=1990. Acessado em: 2 nov 2014.

MOLINA F. **El pensamiento Boliviano sobre los recursos naturales**. La Paz: Pulso. 2009.

NIE, Z; KORRE, A; DURUCAN, S. Life Cycle Modelling of Alternative Gas-fuelled Power Plants with CO₂ Capture and Storage. **Comput Aided Chemic Eng**, n.33, p. 985–90, 2014.

NOCE, Toshizaemom. **Estudo do funcionamento de veículos elétricos e contribuições ao seu aperfeiçoamento**. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica. PUC-MG. Belo Horizonte, 2009.

ORECCHINI, F; SANTIANGELI, A; DELL'ERA, A. EVs and HEVs Using Lithium-Ion Batteries. Edited by: Gianfranco Pistoia. **Lithium-Ion Batteries: Advances and Application**. Edition Elsevier, p. 205-248, 2014.

PARAGUAI: **Ley 2018/02**. Despachante de Aduanas Paraguay. Disponível em: <http://serviciosaduanerosycomerciales.wordpress.com/sustento-legal-ley-201802-que-autoriza-la-libre-importacion-de-vehiculos-maquinarias-agricolas-y-maquinarias-de-construccion-usadas>. Acesso em: 12 out. 2013.

PARAGUAI. Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. **Plan Maestro de Infraestructura y Servicios de Transporte del PARAGUAY**, p.1-15. Asunción, 2013.

PARAGUAI. Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. **Mapa actualizado de toda la red vial del Paraguay**. 2014. Disponível em: <http://www.mopc.gov.py/mopc-presenta-mapa-actualizado-de-toda-la-red-vial-del-paraguay-n718>. Acessado em: 10 feb 2015.

PARAGUAY.COM. Disponível em: <http://country.paraguay.com/geografia/regiones.php>). Acessado em: 07 feb 2015

PETERSON, S.; MICHALEK, J. Cost-effectiveness of plug-in hybrid electric vehicle battery capacity and charging infrastructure investment for reducing US gasoline consumption. **Energy Policy**, nº 52, p.429 – 438, 2013.

POULLIKKAS, A. Sustainable options for electric vehicle Technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n.41, p.1277–87, 2015.

PRIMO JÚNIOR, Arlindo Ricarte. **Regulação da demanda de energia em um sistema de propulsão para um veículo elétrico híbrido série**. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. UFRN. Natal, 2002.

PUERTO RICO, J.; MERCEDES, S.; SAUER, I. Genesis and consolidation of the Brazilian Bioethanol: A review of policies and incentive mechanisms. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, n.14, p.1874–87, 2010.

RITCHIE, H. Recent developments and likely advances in lithium-ion batteries. **Journal of Power Sources**, v.2, n.162, p. 809–12, 2006.

RODRIGUEZ, J.; COMTOIS, S. **The Geography of transport Systems**. 2nd edition, New York: Routledge, 2009.

ROSCHER, M.A.; LEIDHOLDT, W.; TREPTE, J. High efficiency energy management in BEV applications. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, n.37, p.26–30, 2012.

SAMPIERI, R. **Metodología de la investigación**. 5ta. ed. Mexico: MCGRAW-HILL Interamericana, 2010.

SEVERINO, A. **Metodologia do Trabalho científico**. 23. ed. São Paulo: Cortez, 2007.

SIEN: **Sistema de Información Energética Nacional**. Disponível em: <http://www.ssme.gov.py/vmme/nuevosien/index.html>. Acesso em: 12 out. 2013.

SIPOCZ, T. Natural gas combined cycle power plants with CO₂ capture – Opportunities to reduce cost. **International Journal of Greenhouse Gas Control**. n.7, p.98–106, 2012.

TAHIL, W. **The Trouble with Lithium 2 Under the Microscope**. 29 de mayo 2008. Disponível em: http://www.meridian-int-res.com/Projects/Lithium_Microscope.pdf. Acesso em: 10 jul. 2013.

USGS: United States Geological Survey. **Mineral Commodity Summaries**. January 24, 2013. Disponível em: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2013/mcs2013.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2013.

VACCARELLI, M; CARAPELLUCCI, G. Energy and economic analysis of the CO₂ capture from flue gas of combined cycle power plants. **Energ Proc**, n.45, p.1165–74, 2014.

VAN NOORDEN, R. The rechargeable revolution: A better battery. **Nature**, n.507, p.26-34, 2014.

VAYRYNEN, A.; SALMINEN, J. Modular li-ion battery systems for electric and hybrid powertrains, in: **ICPC 2011, 6th AVL International Commercial Powertrain Conference**. Graz, Austria, p. 25–6, 2011.

VIKSTROM, H.; DAVIDSSON, S.; HOOK, M. Lithium availability and future production outlooks. **Applied Energy**, n.110, p.252–66, 2013.

VMME: Viceministerio de Minas y Energía. **Balance Energético Nacional 2013**. Asunción, agosto de 2014. Disponível em <http://www.ssme.gov.py/vmme/pdf/balance2013/BalanceEnergeticoNacional2013.pdf>. Acesso em: 5 nov. 2014.

VMME: Viceministerio de Minas y Energía. **Balance Nacional de Electricidad 2013**. http://www.ssme.gov.py/vmme/pdf/balance2013/BalanceElectrico%20PreliminarMayo%202013-1_.pdf. Asunción, 2013. Acesso em: 23 dic. 2014.

WEC: World Energy Council. **World Energy Resources. 2013.** Disponível em: <http://www.worldenergy.org/publications/2013/world-energy-resources-2013-survey/>. Acessado em: 15 fev 2015

WEIL, M.; ZIERMANN, S. Recycling of Traction Batteries as a Challenge and Chance for Future Lithium Availability. Edited by: Gianfranco Pistoia. **Lithium-Ion Batteries: Advances and Application.** Edition Elsevier, p. 509-528, 2014.

WORLD BANK. Data. Disponível em: <http://data.worldbank.org>. Acesso em: 22 dec. 2014.

YAKSIC, A.; TILTON, J. Using the cumulative availability curve to assess the threat of mineral depletion: The case of lithium. **Resources Policy**, n.4, p185–94, 2009.

YOSHINO, A. Development of the Lithium-Ion Battery and Recent Technological Trends. Edited by: Gianfranco Pistoia. **Lithium-Ion Batteries: Advances and Application.** Edition Elsevier, p. 1-20, 2014.

YOSHIO, N. Present and Future of Lithium-Ion Batteries: Can New Technologies Open up New Horizons?. Edited by: Gianfranco Pistoia. **Lithium-Ion Batteries: Advances and Application.** Edition Elsevier, p. 21-39, 2014.

ZHAO, G; et.al. Decoration of graphene with silicon nanoparticles by covalent immobilization for use as anodes in high stability lithium ion batteries. **Journal of Power Sources**, n.240; p.212-18, 2013.