

MINI USINAS SOLARES FOTOVOLTAICAS EM SISTEMAS DE TRANSPORTE RÁPIDO POR ÔNIBUS – BRT (BUS RAPID TRANSIT)

UMA ABORDAGEM PROPOSITIVA A PARTIR DO PROJETO DE CORREDORES
BRT EM IMPLANTAÇÃO NA CIDADE DE BELO HORIZONTE

Kaiodê Leonardo Biague
Orientador Profº Rogério Mori de Sena

MINI USINAS SOLARES FOTOVOLTAICAS EM
SISTEMAS DE TRANSPORTE RÁPIDO POR
ÔNIBUS – BRT (BUS RAPID TRANSIT)

Uma abordagem propositiva a partir do projeto de corredores
BRT em implantação na cidade de Belo Horizonte

Apresentação de sistema conceito desenvolvido
para o XXV Prêmio Jovem Cientista – Cidades
Sustentáveis, linha de pesquisa: Paisagem
Urbana e Arquitetura Sustentável.

Orientador: Profº Rogério Mori de Sena

INSTITUTO METODISTA IZABELA HENDRIX (IMIH)

Diretor Geral

Marcio de Moraes

Reitor

Prof. Davi Ferreira Barros

Pró-Reitor Acadêmico

Prof^a Márcia Nogueira Amorim

Núcleo de Arte e Tecnologia

Curso de Arquitetura e Urbanismo

Coordenadora

Prof^a Karine Gonçalves Carneiro (arquitetura@metodistademinas.edu.br)

Autor

Kaiodê Leonardo Biague (kaiode.biague@yahoo.com.br)

Orientador

Prof^o Rogério Mori de Sena (rogerio.sena@metodistademinas.edu.br)

Centro Universitário Metodista Izabela Hendrix

Rua da Bahia, 2020 – Lourdes

Belo Horizonte, Minas Gerais - Brasil

CEP: 30.160-012

Telefone: (31) 3244 7200


Kaiodê Leonardo Biague

Rua Manchester, 31/apt. 102 – Santa Cruz

Contagem, Minas Gerais – Brasil

CEP: 32.340-550

Telefone: (31) 8849 7189



*“A cidade não é um problema,
cidade é solução.”*

[Jaime Lerner, ex-prefeito de Curitiba]

.....

*“O século 19 foi um século de impérios, o
século 20 foi um século de estados-nações.
O século 21 será o século das cidades.”*

[Wellington E. Webb, ex-prefeito de Denver, Colorado]

Os grandes desafios para a promoção de cidades sustentáveis impõem a arquitetura e urbanismo à obrigação em equilibrar urbanização, mobilidade, uso racional e inteligente das fontes energéticas (renováveis). Influentes arquitetos, como o inglês Norman Foster e o curitibano Jaime Lerner, apresentam conceitos que evocam a necessidade de fusão da arquitetura com as infraestruturas urbanas a fim de garantir que necessidades básicas a dinâmica das cidades não comprometam as gerações futuras. Diante deste cenário, o presente trabalho prospecta o desenvolvimento de um sistema conceitual para mini usinas solares fotovoltaicas integradas a rede em sistemas de Transporte Rápido por Ônibus – BRT (*Bus Rapid Transit*) a partir do projeto de corredores BRT em implantação na cidade de Belo Horizonte.

Palavras-chave: Paisagem Urbana. Arquitetura Sustentável. Mobilidade Urbana. Energia Solar. Sistemas BRT. Belo Horizonte.

Resumo	5
Sumário	6
1 Introdução	7
1.1 A escassez de recursos é o melhor insumo para criatividade	7
1.2 Etimologia	7
2 Contextualização	8
2.1 Mobilidade e energia para cidades sustentáveis	8
3 Objetivos	10
3.1 Objetivo Geral	10
3.2 Objetivos Específicos	10
4 Justificativa	11
4.1 Panorama dos BRT em Belo Horizonte	11
4.2 Panorama da energia solar fotovoltaica no Brasil	13
5 Revisão Bibliográfica	14
6 Metodologia	15
6.1 Elementos omitidos	15
6.2 Concepção e escolha tecnológica	15
6.3 Instrumentos de análise	15
6.4 Condições climáticas	16
6.5 Características dos corredores	17
6.6 Cenários propostos	18
7 Resultados da pesquisa e discussão	18
7.1 Cenário Básico - Belo Horizonte 2014	19
7.2 Cenário 1 - Cidade Sustentável	19
7.3 Cenário 2 - PlanMob-BH	21
7.4 Considerações	21
7.5 Recomendações	21
8 Conclusões	23
9 Referências Bibliográfica	25

1.1 A escassez de recursos é o melhor insumo para criatividade. Ainda no século passado, alguns eventos climáticos e econômicos já anunciavam que havia uma grave irracionalidade em associar crescimento com desenvolvimento, a crise do petróleo foi um ensaio para necessidade de revisão da forma como consumimos os recursos energéticos. Por conta da visão desenvolvimentista do regime militar brasileiro, o país pode experimentar, nas décadas de 1970 e 1980, o pró-álcool, os primeiros projetos de metrô, corredores de ônibus e a criação das primeiras regiões metropolitanas, fruto da expansão urbana das décadas anteriores.

Neste contexto surge em Curitiba o primeiro sistema de Transporte Rápido por Ônibus - BRT (*Bus Rapid Transit*) do mundo, denominado “Rede Integrada de Transporte (RIT)” (figura 1), a proposta do arquiteto e ex-prefeito de Curitiba, Jaime Lerner era “metronizar”¹ o ônibus, pois a cidade estava iniciando um rápido processo de expansão e não haveria recursos para a implantação de um sistema de metrô. A cidade também inovou ao planejar o uso e ocupação do solo a partir da estrutura de transporte, o chamado Sistema Trinário de Transporte, responsável por reduzir os deslocamentos ao centro em 49% nos últimos trinta e cinco anos.

A partir de Curitiba, outras cidades como Goiana e Quito, no Equador, também implantaram corredores semelhantes, mas foi Bogotá, na Colômbia, a grande responsável pela “exportação” do sistema BRT, por ter introduzido inovações estruturais e operacionais que otimizaram a capacidade e velocidade do sistema, hoje o “TransMilenio” (figura 2), como é denominado, é o maior sistema em operação, com 1,6 milhões de passageiros transportados por mês.

1.2

Etimologia

BRT - *Bus Rapid Transit* (ITDP, 2004) é um sistema de transporte por ônibus, eficiente, de alta capacidade e alta qualidade, operado de forma semelhante ao metrô. Classificado entre BRT Completo, BRT Leve ou BRS², o sistema possui:

- veículos modernos com maior capacidade de transporte de passageiros;
- estações de transferência ao longo do itinerário de forma a permitir a cobrança

¹ Metronização, termo cunhado pelo próprio Lerner para definir a importância em tornais os sistemas convencionais de ônibus semelhantes ao metrô.

² Bus Rapid Service, trata-se de corredores prioritários com aplicação de algumas características de sistemas BRT. Nos EUA e Europa, sistemas de BRT Leves ou BRS são mais usuais.

externa da tarifa e embarque em nível, agilizando os tempos de embarque/desembarque;

- sistemas de controle informatizados, permitindo o acompanhamento da operação em tempo real;
- sistemas de informação ao usuário em tempo real;
- circulação em vias exclusivas, minimizando as interferências com o tráfego geral.

Mobilidade Urbana Sustentável é o conjunto de políticas públicas e deslocamentos de pessoas e bens, com base nos desejos e necessidades de acesso amplo e democrático ao espaço urbano, por meio da utilização dos diversos modos de transporte (com prioridade ao transporte coletivo e não motorizado), sem comprometimento do meio ambiente, sem degradação das áreas e atividades urbanas e sem prejuízo do próprio transporte.

Energia Descentralizada ou Geração Distribuída é a produção autônoma (isolada) ou conectada a rede de distribuição local, suprindo unidades redes de baixa e média tensão, ao invés de acionar um sistema de transmissão de alta tensão que tendem a desperdiçar 2/3 da energia gerada devido as longas distâncias entre os locais de produção e distribuição. “A descentralização permite que quase toda energia produzida seja utilizada no próprio centro de consumo” (GREENPEACE, 2010) e evita os custos de transporte e distribuição dessa energia, cada vez mais elevados.

2

contextualização

2.1

Mobilidade e energia para cidades sustentáveis

Quando se pensa em mobilidade sustentável é impossível desassociá-la da questão energética, seja em forma de combustível ou energia elétrica, atualmente, “70% do total de energia mundial consumida (44% em edificações e 26% em transporte de pessoas) é influenciada pelo modo como nossas cidades e infraestruturas estão desenhadas” (FOSTER, 2007). Com o advento da Copa do Mundo de Futebol em 2014 e dos Jogos Olímpicos em 2016 têm-se impulsionado a implantação e ampliação de sistemas BRT em dez das dozes cidades-sede³, além de outras cidades de grande porte⁴, como resposta aos graves níveis de imobilidade de nossas cidades. Até 2014 estão previstos cerca de 375 Km de corredores BRT implantados no Brasil nos últimos 40 anos e até 2030 estima-se uma potencial de até 3.300 Km implantados.

3 Dos 47 projetos aprovados pelo PAC (Programa de Aceleração do Crescimento) da Mobilidade, 20 são de sistemas BRT. 6 em Belo Horizonte (porém 1 foi cancelado agora em agosto) foi; 3 em Fortaleza e Rio de Janeiro; 2 em Cuiabá e Porto Alegre; e 1 em Salvador, Curitiba e Manaus.

4 Cidades como Vitória, Belém, Florianópolis, Uberlândia e Campinas também estudado a implantação e ampliação de sistemas BRT.

Essas projeções incitam reflexões sobre os impactos que estes sistemas causarão no espaço urbano e quais alternativas para torná-los ainda mais sustentáveis, pois, atualmente, as únicas justificativas apresentadas se limitam ao uso do biodiesel e ao fato que os sistemas contribuem para redução dos gases do efeito estufa (GEE), devido a diminuição de veículos particulares nas ruas. Na última década cerca de 100 projetos foram instalados, mais de 160 sistemas estão em funcionamento ou em implantação em 23 países, nos cinco continentes. “O BRT nasceu no Brasil, depois foi implementado em diversas cidades do mundo e agora está voltando para cá” (LINDAU, 2011), sem dúvidas, este é um momento oportuno para iniciarmos um novo ciclo na mobilidade e qualidade de vida, com projetos que valorizem a reapropriação do espaço público pela cidade.

A partir desse cenário a presente pesquisa foi buscar na arquitetura e mobilidade sustentáveis elementos para propor um sistema conceitual de mini usinas solares fotovoltaicas para sistemas BRT a fim de tornar um dos ambientes mais hostis das cidades, as vias públicas, em espaços mais amigáveis, um “resgate das ruas” (KLEIN, 2002). O ponto de partida deste trabalho foi a formulação de problematizações e qual seria a solução proposta, conforme é apresentado no quadro 1.

Problematização	Solução proposta
<p>Como contribuir para redução da “pegada ecológica” gerada por sistemas BRT?</p> <p>Como assegurar a interrupção dos serviços e garantir os níveis de segurança mesmo em períodos com queda no fornecimento de energia pela rede de distribuição?</p> <p>Como garantir que áreas remanescentes de desapropriações e não passíveis de parcelamento possam ser melhor aproveitadas pela cidade?</p>	<p>A partir de princípios que envolvem ambientes sustentáveis pretende-se converter as edificações estruturais de sistemas BRT (estações de transferência, terminais de integração e garagens) em mini usinas solares para geração descentralizada de energia, o que permitirá novas concepções para projetos de requalificação urbana.</p>

Tabela 1 - Levantamento inicial de problematizações envolvendo a implantação de corredores BRT.

Prospectar um sistema conceitual para o desenvolvimento de mini usinas solares fotovoltaicas híbridas, conectadas a rede, em sistemas de Transporte Rápido por Ônibus – BRT, capazes de suprir a demanda energética das edificações pertencentes ao sistema, bem como parte da demanda energética para equipamentos e mobiliários urbanos próximos a estas estruturas, tendo como objeto de estudo os corredores BRT em implantação na cidade de Belo Horizonte.

- Estimular o uso da energia solar conectada à rede em aplicações urbana diversas, ainda pouco difundida no Brasil;
- Fomentar a instalação de projetos luminotécnicos que valorizem os corredores BRT e espaços públicos adjacentes, contribuindo para segurança pública, tráfego viário, apropriação do espaço urbano pela cidade, valorização e atratividade dessas áreas;
- Possibilitar que os sistemas BRT se tornem ainda mais sustentáveis, de forma a contribuir para a mitigação do impacto causado pelas emissões de GEE por parte dos ônibus;
- Potencializar que esses sistemas BRT possam solicitar a organismos competentes certificações de gestão ambiental ISO 14000 e de construções sustentáveis LEED⁵ e AQUA⁶;
- Amplificar o potencial dos sistemas BRT com a possibilidade de implantação de postos de recarga para táxis elétricos e reservatórios para reutilização da água pluvial;
- Colaborar para melhora da qualidade de vida nas cidades brasileiras e desenvolvimento do *Triple Bottom Line*⁷, por meio da racionalização de recursos energéticos e dependência do transporte individualizado.

5 Leadership in Energy and Environmental Design é uma certificação para edifícios sustentáveis, concedida pela ONG U.S. Green Building Council – USGBC, de acordo com os critérios de racionalização de recursos energéticos atendidos por um edifício.

6 Alta Qualidade Ambiental é o primeiro selo de certificação de construções sustentáveis adaptado à realidade brasileira pela Fundação Vanzolini, foi inspirado no selo francês HQE (Haute Qualité Environnementale) controlado pela Association pour la Haute Qualité Environnementale.

7 Termo cunhado em 1990 por John Elkington, cofundador da ONG internacional SustainAbility para representar o modelo de desenvolvimento sustentável baseado no tripé: ecologicamente correto; economicamente viável e socialmente justo.

“Beleza e conforto é algo raramente associado com transporte público” (ITDP, 2004), principalmente, quando se refere a sistemas operados por ônibus. Quando bem projetados, os BRTs se apresentam como uma boa alternativa ao problema de mobilidade, hoje, porém, um dos maiores problemas quanto a implantação de corredores BRT diz respeito aos processos de desapropriação, pois devido a falta de planejamento de nossas cidades, tais intervenções tendem a gerar consideráveis áreas remanescentes não passíveis de reparcelamento⁸, fora os impactos ambientais e econômicos. Normalmente, essas áreas recebem como único tratamento urbanístico o plantio de grama, que em muitos casos, não está associada a nenhum programa de conversação do espaço público, e que poderiam ser convertidas em parques lineares, áreas para agricultura urbana ou implantação de equipamentos públicos, de forma a contribuir para qualidade de vida nos centros urbanos. Mas para isso, novamente a questão energética assume fundamental importância, seja para irrigação, segurança ou bem estar. Em muitos projetos de requalificação viária, intervenções ações mais ousadas e comprometidas com a qualidade de vida, são totalmente possíveis, Curitiba e Bogotá possuem bons exemplos de utilização desses espaços para implantação de parques lineares, em Nova Iorque, EUA, temos o mundialmente conhecido *High Line Park*, construído em 2009 sobre uma antiga linha férrea.

Infelizmente, o usual no Brasil são obras viárias não receberem os tratamentos paisagísticos previstos nos próprios editais licitatórios e muitas decisões políticas ainda continuam atreladas a visões ultrapassadas de cidade e administração pública, o tão proclamado “Legado da Copa” já ficou para trás na maioria das cidades-sedes, contudo, a transição para cidades sustentáveis deve ser entendida como planejamento estratégico de políticas públicas, sem dependência linhas políticas ou destes tipos de eventos.

4.1

Panorama dos BRT em Belo Horizonte

Devido a combinação de diversos fatores (políticos, topográficos e culturais) Belo Horizonte possui “um dos piores índices de mobilidade urbana do mundo” (MEDEIROS, 2009), a atual distribuição modal é de 54% para o transporte público contra 46% para transporte privado, há em média de 1 automóvel para cada 2 habitantes e, se nada for feito, a tendência é

⁸ Conforme define Hely Lopes Meirelles, loteamento urbano “é a divisão voluntária do solo em unidades (lotes) com abertura de vias e logradouros públicos, na forma da legislação pertinente”. Distingue-se do desmembramento, que é a simples divisão da área urbana ou urbanizável” (MEIRELLES, 1961).

que em 2020 o transporte privado corresponda a 52%, contra 48%. Entre 2008 a 2010 a BHTRANS⁹ elaborou o Plano de Mobilidade Urbana de Belo Horizonte (PlanMob-BH), que apresenta um planejamento estratégico até 2020, com três possíveis cenários, o primeiro até 2014, o segundo até 2020 com restrição de investimentos e o terceiro até 2020 com investimentos plenos.

Dentro do cenário proposto pelo PlanMob-BH até 2014, estavam previstos 10 corredores BRT, totalizando 74,0Km de vias, entretanto, para o PAC da Mobilidade foram elencados 6 corredores prioritários (Antônio Carlos/Pedro I, Cristiano Machado, Pedro II/Carlos Luz e Hipercentro), 41,0Km ao total, porém, recentemente, em 04 de agosto deste ano, a prefeitura comunicou o cancelamento do corredor Pedro II/Carlos Luz devido aos altos custos de desapropriação que inviabilizaram a implantação do corredor, ou seja, para 2014 teremos somente 25,0Km implantados, 40 estações de transferências, adequação de 3 terminais e a construção de 2 novos, totalizando 8 terminais de integração. Vale ressaltar que em Belo Horizonte os corredores BRTs entraram como uma alternativa a falta de investimentos para expansão do Metrô BH.

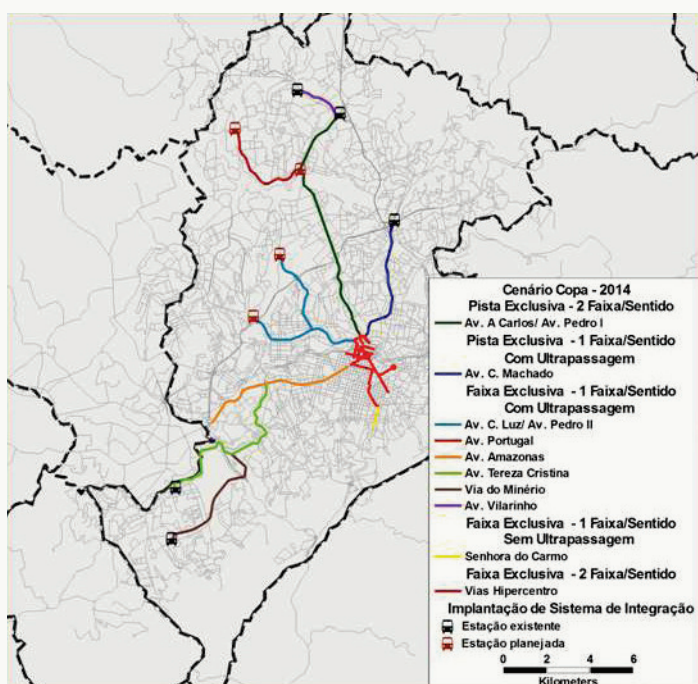


Figura 1 - PlanMob-BH: Cenário Copa 2014, corredores BRT previstos. [fonte: BHTRANS]

9 Empresa de Transporte e Trânsito de Belo Horizonte S/A, responsável pelo planejamento e gerenciamento do transporte e trânsito.



Figura 2 - Perspectiva do modelo de estação BRT a ser adotada em Belo Horizonte. [fonte: BHTRANS]

4.2

Panorama da energia solar fotovoltaica no Brasil

Diante dessa realidade, pensar em sistemas fotovoltaicos em sistemas de transporte público pode parecer distante, pois se trata de uma tecnologia (inicialmente) mais cara, porém, os novos paradigmas energéticos têm viabilizado a introdução de tecnologias renováveis e o Brasil possui excelente potencial, “por ter altos níveis de radiação e grandes reservas de Silício de alta qualidade (principal componente para fabricação de módulos fotovoltaicos [...]). A tendência natural é a queda dos preços” (MME, 2008), atualmente o mercado nacional está em rápida expansão, há importantes programas de pesquisa e desenvolvimento, além de estudos para futuros programas governamentais de incentivos a difusão da geração de energia descentralizada, a exemplo do bem-sucedido programa alemão. “Num horizonte próximo, o preço da energia gerada por um sistema solar fotovoltaico, instalado em edificações urbanas e conectada à rede de distribuição secundária será equivalente ao preço da energia convencional oferecida no ponto de consumo” (MME, 2008).

Por tudo isso, o projeto possui relevância ao gestualizar uma nova forma apropriação do espaço urbano por meio de sistemas de transporte público, embora não seja original a implantação de energia solar em pontos de ônibus (vide revisão bibliográfica), o conceito de mini usinas solares em sistemas BRT inova ao propor outras funcionalidades, tais como, postos de recarga para taxis elétricos e reservatórios de água para irrigação pública e combate a incêndio. Um futuro aprofundamento desta pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias otimizadas para tal fim, certamente, possibilitará as cidades que resolverem adotá-la enormes ganhos ecológicos, sociais e econômicos, além de permitir ao Brasil galgar novos patamares entre os países mais comprometidos com a preservação do planeta.

O panorama das mudanças climáticas e a necessidade da engenharia, arquitetura e design em desenvolverem novos padrões para estratégias e metodologias projetuais têm contribuído para que nesta última década uma produção literária considerável esteja disponível, principalmente na Europa, por está mais a frente do processo. No Brasil, boa parte das publicações técnicas e acadêmicas estão focadas em edificações sustentáveis, marcos regulatórios e padrões técnicos nacionais. Bibliografia específica sobre o objeto de estudo ainda parece inédito, o que há de referência mais próxima são projetos e iniciativas para implantação de pontos de ônibus e mobiliários urbanos alimentados por energia solar fotovoltaica na Europa (LONDRES, 2008), EUA (MIT, 2009), (CAIT, 2006) e China.

Duas importantes iniciativas de planejamento estratégico, em caráter de políticas públicas, têm sido implantadas em Londres, Inglaterra e em São Francisco, EUA. Na primeira, após dois anos de testes a *Transport for London*¹⁰ irá substituir mais 7.000 pontos de ônibus e auxiliará no financiamento de ônibus movidos a hidrogênio. Na segunda, a prefeitura irá implantar mais de 1.100 pontos de ônibus com *Wi-Fi* a partir de 2013 e em Nova Iorque, EUA, a MTA¹¹ possui um sólido e amplo trabalho de sustentabilidade, com certificações ISO 14000 e LEED (MTA, 2009).

Após ampla pesquisa, foi possível constatar três pontos-chaves para o desenvolvimento deste trabalho: atualmente não há sistemas BRT que apresentem soluções energéticas baseadas na tecnologia fotovoltaica, o Terminal de *Coney Island*, em Nova Iorque, foi o primeiro terminal de metrô a adotar a tecnologia (MTA, 2009); no Brasil o uso desta tecnologia ainda está muito condicionada a locais isolados da rede de distribuição, mas caminha-se rapidamente para regulamentação da geração fotovoltaica conectada à rede; todas as cidades que possuem pontos de ônibus alimentados por energia solar, ainda que de forma experimental, estão bem acima do Trópico de Câncer (23° 26'N), ou seja, a intensidade da radiação solar é pelo menos 2,5 vezes menor que a média das cidades brasileiras.

10 autarquia responsável pelo transporte em Londres

11 autarquia responsável pelo transporte na grande NY

Uma vez que o objetivo foi prospectar um sistema conceitual, compatível aos diversos climas brasileiros, buscou-se trabalhar com os piores cenários, em situações favoráveis; melhores cenários em situações desfavoráveis; médias ponderadas; fatores de correção; planilhas eletrônicas e computação gráfica, tudo para tentar aproximar a um modelo experimental.

6.1

Elementos omitidos

Como a pesquisa está baseada sobre o prisma da arquitetura e urbanismo, questões pontuais ligadas a engenharia elétrica (tais como FECC¹², fatores de potência, índices de eficiência e sinergia dos equipamentos), carga tributária e mecanismos regulatórios não foram alvos de análise, espera-se que num estágio futuro, a continuidade desta pesquisa possa aprofundar em questões técnicas, a fim de responder com mais propriedade indagações não respondidas. Ressalta-se também que outros trabalhos já publicados se dedicam com maior empenho a tais questões (MME, 2009 e RÜTHER, 2004).

6.2

Concepção e escolha tecnológica

Buscou-se pensar em um sistema solar fotovoltaico desenhado a partir de equipamentos disponíveis no mercado, com prioridade para componentes de origem nacional. Após estudos comparativos entre diversos modelos optou-se em utilizar as especificações técnicas dos seguintes equipamentos: módulos PV SuryaVolt SV230 – 230W, Tecnometal Energia Solar; controladores de carga CNCD-50 – 50A, FC Solar; inversores de voltagem PI5000 – 5000W, FC Solar; conversores de voltagem AC 110/220 – 7500VA, Upsai; baterias estacionárias Freedom DF4001 – 240Ah, Jonhson Controls; medidores eletrônico bidirecional de energia ELO.2180, Elo; suportes de fixação em liga de alumínio inoxidável; bomba d'água submersível XKS 401PW -1/2CV, Ferrari; e filtros Vortex WWF-150, Wisy.

6.3

Instrumentos de Análise

Os principais instrumentos de análise adotados foram:

- Anotações extraídas da revisão bibliográfica;
- Observação *in loco* das características viárias, arborização e verticalização das edificações;
- Interpretação dos projetos disponibilizados pela BHTRANS e SUDECAP¹³;
- Simulações de cenários (planilhas eletrônicas e computação gráfica);
- Comparação entre o cenário local e experiências internacionais.

12 Fator Efetivo de Capacidade de Carga (RÜTHER, 2004).

13 Superintendência de Desenvolvimento da Capital autarquia responsável pela execução das obras públicas municipais.

Um dos grandes desafios a produção fotovoltaica são as condições climáticas do local, quanto mais próximo da zona tropical, maior altitude e “dias limpos” melhor. O índice de radiação solar e tempo de insolação (atmosfera) são dois importantes componentes de interferência na capacidade de produção, em áreas urbanas deve-se considerar também elementos bloqueadores como árvores e prédios, por serem altamente prejudiciais a produção fotovoltaica. No Brasil as médias anuais são: radiação solar de 5.400W/m² (figura 3), tempo médio de insolação diária de 5 horas (figura 4) e índice pluviométrico de 1.700mm. Belo Horizonte possui clima tropical de altitude, temperatura média de 21°C, radiação solar de 5.700W/m² e insolação diária de 6 horas e precipitação pluvial de 1.447mm.

Para a pesquisa foi considerada condições standard de operação (RÜTHER, 2004): irradiação de 1.000 W/m²; amplitude modular de 1,5; temperatura de operação 25°C; tempo de operação de 4 horas diárias e para o pré-dimensionamento do reservatório de água precipitação pluvial de 2.000mm.

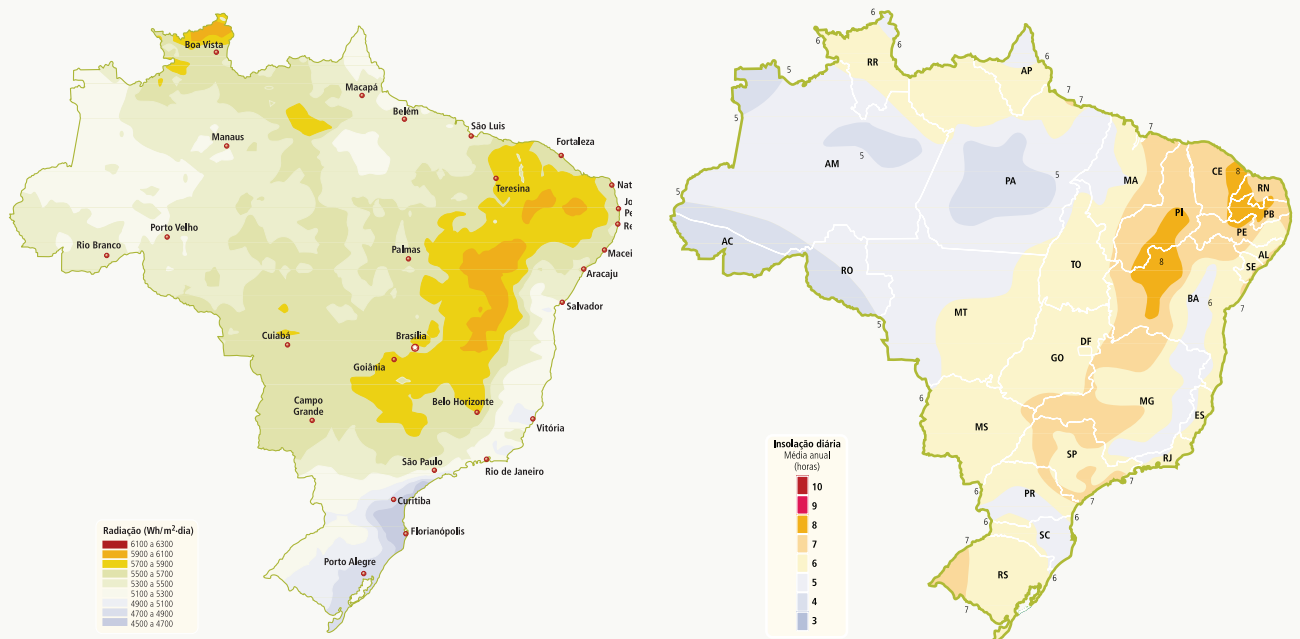


Figura 3 - Radiação solar global diária - média anual típica (Wh/m².dia). Figura 4 - Média anual de insolação diária no Brasil (horas). [fonte: Atlas Solarimétrico do Brasil] (adaptado)

Índices pluviométricos de algumas capitais (média de 1997 a 2000)			

[fonte: INMET]

Corredor	Trecho/ Extensão	Características
Antônio Carlos	Lagoinha Anel (6,0Km)	Duplicada recentemente, possui busway 02 faixas por sentido, pouquíssima arborização (mudas), extensas áreas remanescentes revestidas por grama ou concreto, alguns equipamentos urbanos (faculdades, igrejas, hospital, centro comunitário), linda bairros de baixa e média renda, poucos estabelecimentos comerciais (pequenos, e remanescentes), verticalidade virtualmente nula (edificações baixas), topografia razoavelmente acidentada, demanda, 9 estações.
Antônio Carlos	Anel Pampulha (5,0Km)	Busway 02 faixas por sentido, boa arborização (palmeiras e árvores do cerrado), diversos equipamentos urbanos (UFMG, UEMG, Bombeiros, agências bancárias, “sub-prefeitura”, áreas militares, aeroporto), linda bairros de média e média alta renda, estabelecimentos comerciais de médio e grande porte (automotivo e varejista), baixíssima verticalidade (virtualmente nula), topografia pouco acidentada, 7 estações, conexão com 1 terminal.
Pedro I	Pampulha Vilarinho (6,0Km)	Ainda será duplicada (nos moldes da Antônio Carlos), arborização atual razoável (árvores do cerrado), alguns equipamentos urbanos (escola, parque, clubes, agências bancárias), linda bairros de média renda, diversificados estabelecimentos comerciais de pequeno, médio e grande porte (varejista), baixíssima verticalidade (virtualmente nula), topografia razoavelmente acidentada, 5 estações, conexão com 3 terminais.
Cristiano Machado	Túnel Terminal São Gabriel (6,0Km)	Busway 01 faixa por sentido, arborização moderada (concentrada), diversos equipamentos urbanos (escola, agências bancárias, mercado, posto policial) linda bairros de média e média alta renda, baixa verticalidade (prédios residenciais e comerciais médios e altos), diversificados estabelecimentos comerciais (pequeno, médio e grande porte) topografia pouco acidentada, 10 estações, conexão com 1 terminal.
Rotúla Central	Avenidas Paraná Santos Domount (1,0Km)	Passará por requalificação (trânsito prioritário para ônibus, pedestres e bicicletas), arborização razoável (arbustos), vários equipamentos urbano (praças, rodoviária, central de serviços, centro cultural), região de comercio popular (varejo, hotéis/motéis), média verticalidade (prédios médios e galpões), topografia suave, 7 estações de transferência.
Rotúla Central	Avenida Amazonas (1,0Km)	Projeto indefinido, boa arborização (árvores e arbustos), vários equipamentos urbanos (centrais de serviços, mercado, agências bancárias, praças), região comercial (serviços), alta verticalidade (prédios altos), topografia levemente acidentada, 2 estações de transferência.

A partir do panorama real até 2014 foi apurado qual potencial energético, em função da área de cobertura, para as estações, terminais e garagens. Devido a burocracia não foi possível obter informações técnicas que permitiriam conhecer, aproximadamente, quais serão as demandas de carga, por isso, neste cenário toda produção potencial é injetada na rede de distribuição.

Variante do cenário básico, no qual boa parte do excedente da produção é aproveitado para implantação de programas de requalificação urbana ao longo dos corredores. Neste cenário, prevê-se também a implantação de postos de recarga para taxis e reservatórios de água para irrigação pública e combate a incêndio.

Variante do cenário básico prolongado até 2020, dentro do panorama “PlanMob-BH 2020 com investimentos plenos”. Neste cenário estimou-se o potencial energético e hídrico em função das áreas médias de cobertura das estações (considerando distância média de 700m entre elas) e terminais previstos no do plano.

7 resultados da pesquisa e discussão

Dentro da metodologia proposta estima-se que o sistema BRT belo-horizontino possua até 2014 potencial para aproximadamente 9,31MWp (figura 5) de módulos fotovoltaicos instalados, em condições ideais seria possível produzir até 37,23MWh/dia, ou 1,12GWh/mês (figura 6). O BRT Central apresentou os menores índices por possuir a maior concentração de estações com interferência de árvores e prédios altos. Já o BRT Antônio Carlos/Pedro I apresentou os maiores índices, alavancados principalmente pelo Terminal/Shopping Vilarinho (figura 5).

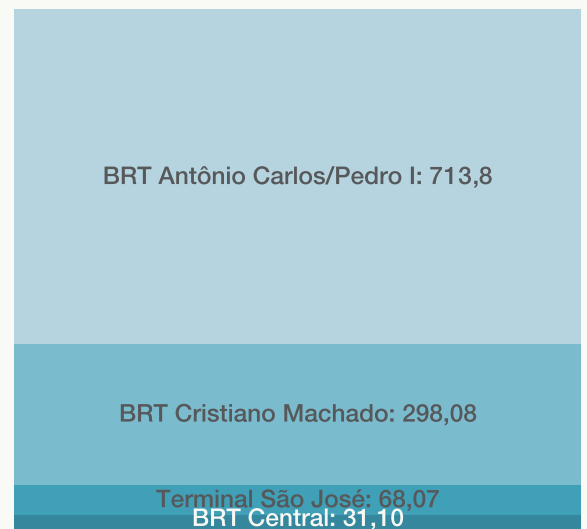
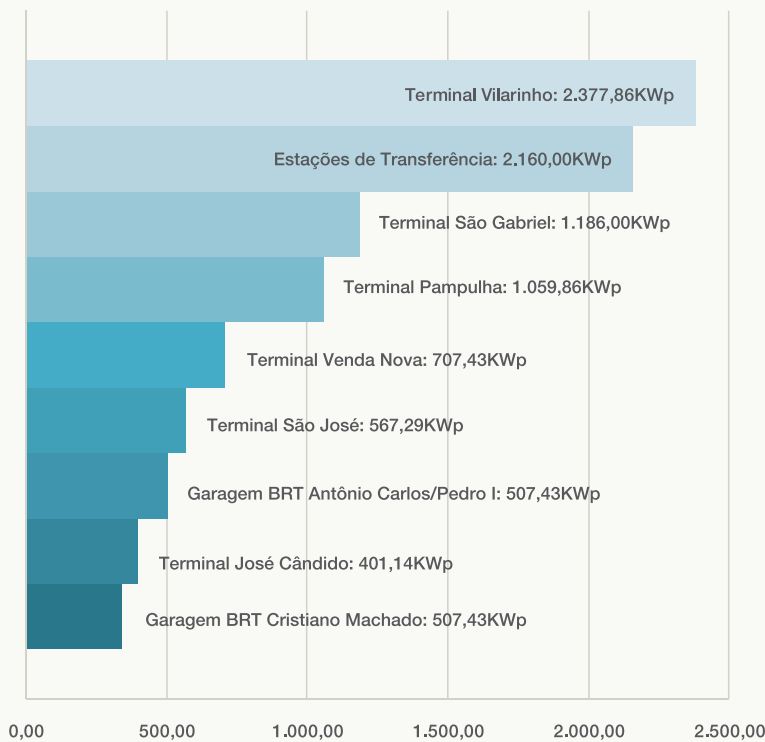


Figura 5 - Potência Máxima Estimada e função da área de cobertura (KWp). Figura 6 - Estimativa de Produção Mensal por corredores, incluindo o Terminal São José (ex-BRT Pedro II/Carlos Luz).

7.2

Cenário 1 – Cidade Sustentável

Com a implantação dos corredores BRT, a prefeitura inicia um novo programa iluminação pública, baseado em lâmpadas LED, e a instalação de “eletropostos” para taxis, nas estações, próximas a pontos de alta atratividade, cada estação teria até 4 carregadores (2.500Wp cada), seria uma forma de potencializar ainda mais o uso do transporte público. Embora a área central seja, hoje, o destino da maioria dos deslocamentos, esses “eletropostos” seriam instalados prioritariamente fora da região do Hipercentro, devido a baixa produção local, mas poderia se pensar em “transferir virtualmente” (uma espécie de restituição) a energia consumida por “eletropostos” em regiões com baixa produção local.

Um programa de irrigação pública e até mesmo de agricultura urbana poderiam ser iniciados, o sistema de abastecimento contaria com 1 reservatório de água pluvial e 1 reservatório auxiliar para períodos de longa estiagem. Implantados sob a *busway*, próximos as subestações, também poderiam ser utilizados como postos de apoio ao Corpo de Bombeiros, pois em cidades cada vez maiores possibilitar o encurtamento de deslocamentos em situações de emergência ser vital. Neste cenário haveria também a implantação de no mínimo 4 bicicletários cobertos com área para reparos e vendas, todos os corredores contariam com cicloviás e passeios acessíveis, com iluminação adequada.

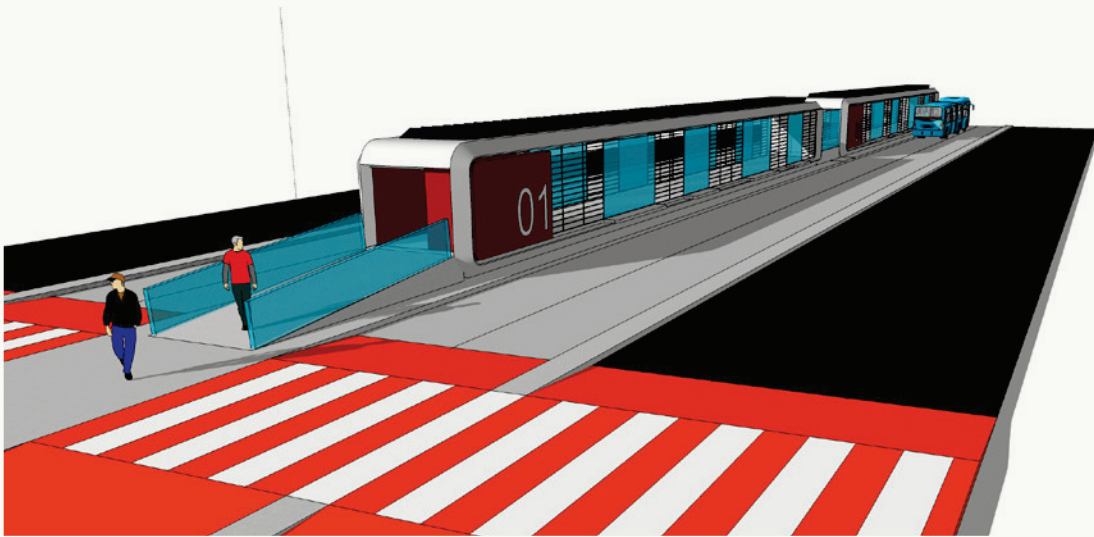


Figura 7 - Estudo simulado da trajetória solar sobre estação tipo - BRT Antônio Carlos/Pedro I. Solstício de inverno.

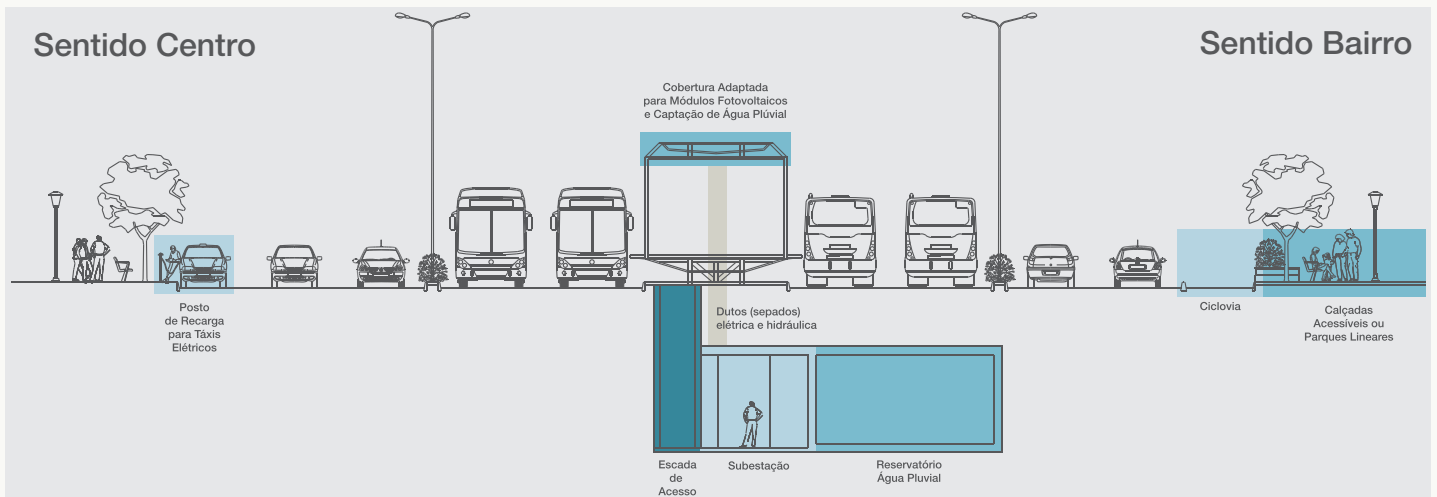


Figura 8 - Seção Transversal Tipo - BRT Antônio Carlos/Pedro I, adaptada ao cenário "Cidade Sustentável". As subestações poderiam ser subterrâneas ou no canteiro central. Os eletrodutos e dutos d'água desciriam pelas paredes longitudinais.

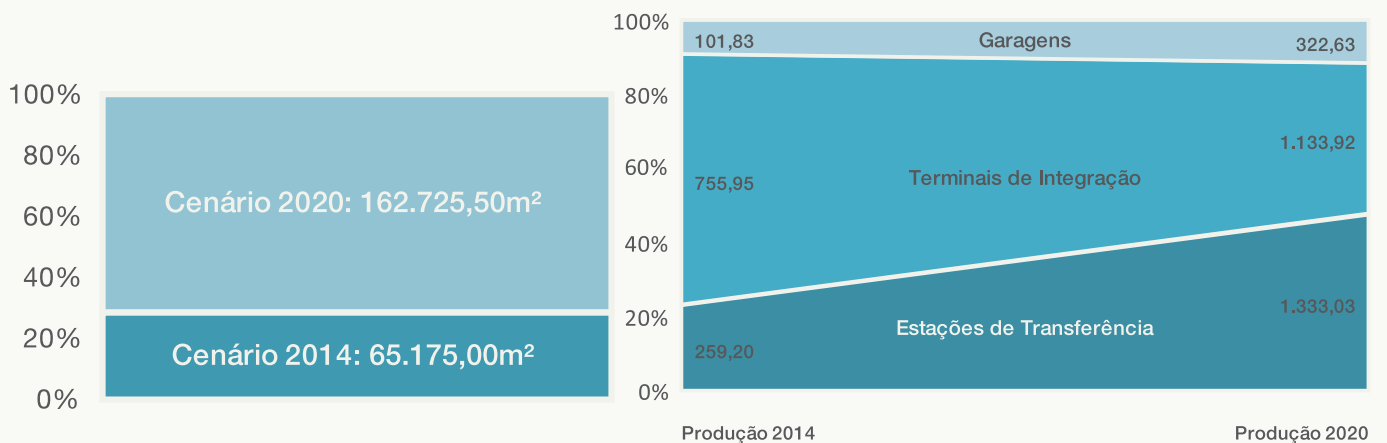


Figura 9 - Estimativa de área de cobertura disponível para implantação de mini usinas solares. Comparativo entre os cenários "Belo Horizonte 2014" x "PlanMob 2020". Figura 10 - Simulação da evolução da produção potencial.

Caso esse cenário realmente ocorra, Belo Horizonte possuiria cerca de 288 estações de transferência com capacidade instalada de 23,25 MWp em módulos fotovoltaicos, produção potencial de 2,79 GWh/mês (figura 10) e capacidade para reservar até 217.728m³ de água pluvial. A implantação do PlanMob-BH em conjunto com um projeto consistente de mini usinas solares permitirá enormes ganhos na qualidade de vida da cidade, com corredores de tráfego convidativos para a utilização dos BRTs, bicicletas, taxis elétricos, caminhadas ou simplesmente para fazer atividades físicas ou descansar após um dia de trabalho.

Há uma evidente lacuna entre este modelo teórico e possíveis modelos experimentais, muitas funções calculadas comportaram de forma linear, ao passo, que em modelos experimentais, certamente, se comportarão de forma não linear. Contudo, isso não enfraquece a proposta de transformação de sistemas BRT em mini parques solares, somente evidencia a necessidade de futuras pesquisas de aprofundamento, por hora os resultados apresentados atendem os objetivos propostos.

A revisão bibliográfica indicou que o ângulo ideal para fixação dos painéis deve ser o alinhamento máximo favorável no inverno, obtido pela latitude local acrescida de 1/3 dessa latitude e os painéis devem apontar para o norte verdadeiro. Em Belo Horizonte a latitude local é de 19°49", logo o a inclinação ideal seria de 26°49". Para os cálculos, todas as edificações foram consideradas uma unidade fixa, posteriormente foram aplicados alguns fatores de correção estipulados em função da presença de árvores, viadutos e edifícios altos (o sombreamento parcial é tal prejudicial quanto o sombreamento total), também considerou-se a localização em função do Norte verdadeiro.

Na perspectiva que futuras pesquisas experimentais sejam favoráveis ao desenvolvimento de programas de requalificação urbana por meio de mini usinas solares, recomenda-se que tais programas considerem a possibilidade de corte de árvores nas áreas próximas as estações, a preferência pelo plantio de arbustos, flores, grama e processos de compensação ambiental. Ao longo dos corredores, a implantação de sistemas para irrigação dos canteiros, parques lineares e até mesmo áreas para prática de agricultura urbana, com árvores frutíferas, devem ser elaborados com criterioso dimensionamento do volume do

reservatório e demanda atendida, em função das características ambientais e geológicas locais (GARCIA et al., 2010) com reservatórios conectados a rede de abastecimento para compensações em períodos de longa estiagem. Esses sistemas visariam, exclusivamente, corrigir a umidade do solo.

Em comparação aos diversos sistemas BRT em operação, observa-se que aqueles que possuem edificações com coberturas curvas tendem a possuir menor eficiência energética ou terem o corpo arquitetônico prejudicados, para isso, em um futuro projeto de desenvolvimento deve-se considerar a elaboração de módulos fotovoltaicos mais esbeltos. Para evitar que intempéries ou ações vandalismo possam danificar os módulos (que é a parte mais cara do sistema, cerca de 60% do total), estes deverão possuir maior espessura do vidro e película protetora. As subestações poderão ser implantadas no canteiro central ou em galerias subterrâneas. Quanto ao sobre peso da cobertura, os módulos poderiam ser empregado em substituição as telhas metálicas.

A inconfiabilidade, atual, de implantação completa do PlanMob-BH foi encarada como mais um estímulo ao desenvolvimento de soluções que possam contribuir para transformação de cidades sustentáveis, a obtenção de informações pontuais sobre os sistemas BRT local foi um grande desafio, principalmente, devido a burocracia pública e o prazo em que a pesquisa foi desenvolvida (foram exatos 32 dias, entre o conhecimento do edital e o término da pesquisa), mas ainda assim foi possível levantar as informações para melhor conceituar a possibilidade de implantação dessas mini usinas solares.

Os dados extraídos indicam o grande potencial que os BRTs possuem para serem muito mais que somente uma alternativa para questão de mobilidade. Tecnicamente, é possível o desenvolvimento de equipamentos otimizados para tal finalidade, o que poderia viabilizar ainda mais a proposta apresentada, por sua vez, análises de viabilidade econômica devem incluir a lógica que em termos de sustentabilidade a humanidade sempre estará na tentativa de amortizar a nossa dívida com a natureza. A rápida expansão tecnológica e mercadológica imposta pelos novos paradigmas possibilitará que futuras pesquisas se beneficiem com processos mais eficientes e econômicos de geração fotovoltaicos.

A escolha de Belo Horizonte, dentro das opções selecionadas, demonstrou grande adaptabilidade a realidade de outras cidades, espera-se, sinceramente, que essa pesquisa possa ser aprofundada para melhor conhecimento do real potencial energético de sistemas BRT e mesmo que resultados futuros inviabilizem a implantação de mini usinas solares, nos moldes apresentados, pode-se trabalhar para permitir que tais estruturas funcionem como “aliviadores de tensão” visando a redução do pico de demanda diurno das redes de distribuição.

O país ocupa posição privilegiada na utilização de energias renováveis, o grande desafio para as próximas décadas será amplificar ações e projetos que contribuam para qualidade de vida nas cidades, pois “na medida em que a sustentabilidade se torna cada vez mais importante tanto para as cidades quanto para o planeta, a pergunta que se faz não é se as cidades vão fazer isso, mas quais serão as primeiras a fazer? E quais farão melhor?” (IBM, 2008) Para os objetivos propostos a pesquisa apresentou resultados satisfatórios,

resta conhecer quais serão os resultados em uma futura pesquisa experimental. A exemplo de Curitiba, possuímos a possibilidade de novamente inovar em sistemas de transporte público e apesar dos percalços enfrentados para realização das grandes obras necessárias ao desenvolvimento das cidades, observadores externos estão atentos no que o podemos oferecer, “o Brasil está se tornando um líder mundial no trabalho de estabelecer um novo e alto padrão de desenvolvimento urbano e industrial sustentável” (WEISS, 2009)¹⁴ e este trabalho descortinou novas perspectivas para consolidação de cidades sustentáveis.

14 Marc Weiss, presidente da Global Urban Development.

ALTAMIRANO, Gilmar, José Roberto Andrade AMARAL, e Paulo Sérgio SILVA. **Calçadas Verdes e Acessíveis melhoram a mobilidade, a permeabilidade e embelezam a paisagem urbana**. 1ed. São Paulo: A9 Editora, 2008.

BELO HORIZONTE. **Lei Nº 10.134, de 18 de março de 2011 - Política Municipal de Mobilidade Urbana de Belo Horizonte**. Lei Regulamentar, Belo Horizonte: Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <<http://bit.ly/n8PeMc>>.

BELO HORIZONTE. **Planejamento Estratégico de Belo Horizonte 2030**. Plano Estratégico, Belo Horizonte: Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, ago. 2009. Disponível em: <<http://bit.ly/qNmVKZ>>.

BHTRANS - Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte S.A. **Balanco da Mobilidade Urbana de Belo Horizonte 2010**. Relatório, Observatório da Mobilidade de Belo Horizonte, Belo Horizonte: BHTrans, jul. 2010. Disponível em: <<http://bit.ly/n8KvFI>>.

BHTRANS – Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte S.A. **Informações Técnicas - Estação Pampulha e Estação São José**. Relatório, Belo Horizonte: BHTRANS, dez. 2010.

BHTRANS - Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte S.A. **Manual de Medidas Moderadoras de Tráfego**. Belo Horizonte: BHTrans, 2008.

BHTRANS. **Experiencia y Desafio en la Implantación del BRT en Belo Horizonte, Brasil**. Relatório, Guayaquil: Congreso SIBRT, mar. 2011. Disponível em: <<http://slideshare/mRnMbK>>.

BHTRANS; Logit Engenharia Consultiva. **Plano de Mobilidade de Belo Horizonte - Apresentação Resultados Finais**. Belo Horizonte: BHTrans, jun. 2010. Disponível em: <<http://bit.ly/pmoxDM>>.

CIAT - Center for Advanced Infrastructure and Transportation. **A Solar Powered Bus Stop System**. Pesquisa, Department of Civil and Environmental Engineering/SoE, Rutgers: Rutgers State University, 2006. Disponível em: <<http://bit.ly/ntUa3g>>.

CNPQ - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. **Prêmio Jovem**

Cientista - Cidades Sustentáveis: Caderno do Professor. Brasília: CNPq, 2011.
Disponível em: <<http://bit.ly/l8UWBc>>.

Conferência Digital Life Design 2007. **Agenda verde de Norman Foster.** Vídeo, Munique: TED Partner Series, jan. 2007, 32:01”. Disponível em: <<http://bit.ly/dUwACr>>.

COSTA, Marcela da Silva. **Mobilidade urbana sustentável: um estudo comparativo e as bases de um sistema de gestão para Brasil e Portugal.** Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos/USP, São Carlos, 2003. Disponível em: <<http://bit.ly/pTwpCz>>.

FALCÓN, Antoni. *Espacios Verdes Para Una Ciudad Sostenible.* 1ed. Barcelona: Gustavo Gili, 2008.

FRANCO, Pedro Rocha. **BH está entre as piores cidades do mundo em mobilidade.** Estado de Minas: Gerais, 28 de dez. de 2009. Disponível em: <<http://bit.ly/8Yblas>>.

GARCIA, Ana Paula, Audenice SILVA, Asher KIPERSTOK, e Eduardo COHIM. **Dimensionamento de Reservatório para Captação de Água de Chuva para Irrigação.** Apresentação In: 6º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva - “Água de Chuva: Pesquisas, Políticas e Desenvolvimento Sustentável. Belo Horizonte, jul. 2007. Disponível em: <<http://bit.ly/pF9NX3>>.

GÓMEZ, José Félix. **Relatório da Visita Técnica ao Projeto BRT da Cidade de Belo Horizonte.** Relatório, ITDP - Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento , Bogotá: ITDP, mai. 2010. Disponível em: <<http://bit.ly/pCME9>>.

GREENPEACE Internacional; EREC - Conselho Europeu de Energia Renovável. **[R] evolução Energética - Perspectivas para uma energia global sustentável.** São Paulo: Greenpeace, abr. 2007. Disponível em: <<http://bit.ly/6AzjP>>.

IEMA - Instituto de Energia e Meio Ambiente. **A bicicleta e as cidades: como inserir a bicicleta na política de mobilidade urbana.** São Paulo: IEMA, 2010. Disponível em: <<http://bit.ly/pBixB5>>.

ITDP - Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento. **Manual de BRT (Bus Rapid Transit) - Guia de Planejamento.** Brasília: Ministério das Cidades, 2008. Disponível em:

<<http://bit.ly/psNEdz>>.

JACOBS, Jane. **Morte e Vida de Grandes Cidades**. 2ed. São Paulo: Wmf Martins Fontes, 2003.

LONDRES. **The London - Plan Spatial Development Strategy for Greater London**. Plano Estratégico, Londres: Greater London Authority, oct. 2009. Disponível em: <<http://bit.ly/6NZt5l>>.

LOPES, Valquiria. **Nem Copa desata os nós da Pedro II**. Estado de Minas: Gerais, 06 de ago. de 2011. Disponível em: <<http://bit.ly/nQmenK>>.

MME - Ministério de Minas e Energia. **Relatório do Grupo de Trabalho em Sistemas Fotovoltaicos**. Brasília: MME, 2009. Disponível em: <<http://bit.ly/mZ7m42>>

MTA - Metropolitan Transportation Authority. **Greening Mass Transit & Metro Regions: The Final Report of the Blue Ribbon Commission on Sustainability and the MTA**. Nova Iorque: MTA, abr. 2009. Disponível em: <<http://bit.ly/rcP3fp>>.

NICOL, Fergus, Sue ROAF, e David CRICHTON. **Adaptação de Edificações e Cidades as Mudanças Climáticas**. 1ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

NTU - Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos. **Anuário NTU 2009 - 2010**. Anuário, Brasília: NTU, jul. 2010. Disponível em: <<http://bit.ly/o7zO9T>>.

PEREIRA, Enio Bueno, Fernando Ramos MARTINS, Samuel Luna de ABREU, e Ricardo RÜTHER. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 1ed. São José dos Campos: INPE, 2006.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. **A Arquitetura Bioclimática do Espaço Público**. 1ed. Brasília: UnB, 2005.

ROTH, Matthew. **Mayor Newsom and MTA Cut Ribbon on New Solar Bus Shelters**. Streets Blog SF , 29 de mai. de 2009. Disponível em: <<http://bit.ly/MnN0>>.

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. 1ed. Florianópolis: LABSOLAR/UFSC, 2004. Disponível em: <<http://bit.ly/nXtBeC>>

TED 2007. **O canto da cidade de Jaime Lerner.** Vídeo, Monterey: TED Conferences, mar. 2007, 15:40". Disponível em: <<http://bit.ly/VLrbM>>.

TRANSMILENIO S.A. **Visio Integrada de Ciudad.** Relatório, Bogotá: TransMilenio, 2010. Disponível em: <<http://bit.ly/rmxkIO>>.

URBS - Urbanização de Curitiba S.A. **Rede Integrada de Transporte (RIT).** Relatório, Curitiba: Prefeitura Municipal de Curitiba, 2010. Disponível em: <<http://bit.ly/2teT34>>.

VARGAS, Heliana Comin, e Ana Luisa Howard de CASTILHO. **Intervenções em Centros Urbanos - Objetivos, Estratégias e Resultados.** 2ed. Barueri: Manole , 2008.