Tendências para o Uso de Nióbio no Setor de Microeletrônica

BREJÃO, A. S.[a*], MORAES, M. O.[b], VENDRAMETTO, O.[c]

a. Universidade Paulista - UNIP, São Paulo, Brasil

b. Universidade Paulista - UNIP, São Paulo, Brasil

c. Universidade Paulista - UNIP, São Paulo, Brasil

**Corresponding author, prof.sergiobrejao@uol.com.br*

Resumo

A gestão econômica e de produção, no setor de semicondutores, pode dar às empresas do setor microeletrônico oportunidades de serem mais competitivas. Para ser competitiva, a gestão empresarial necessita planejamento, pesquisas, desenvolvimento em processos de manufaturas, principalmente em tecnologia de ponta. Novos modelos de produção e o incremento de tecnologias vêm tornando as indústrias dos setores de microeletrônica mais especializadas aumentando o valor agregado ao produto e/ou processo. O incremento destes processos e projetos produtivos melhorados e estrategicamente bem definidos pode proporcionar maior vantagem técnica.
Pesquisas recentes apontam para o desenvolvimento de materiais alternativos para a produção de semicondutores, como o nióbio, na substituição do silício, que devido a sua propriedade de elevada tolerância a temperaturas extremas poderá aumentar significativamente a velocidade de processamento, convergindo para uma revolução na tecnologia eletrônica e computacional.

Palavras Chave: *Semicondutor; Supercondutividade; Silício; Nióbio*

1. Introdução

Inicialmente faz-se necessário conceituar o que são os semicondutores para assim projetar este estudo. Os semicondutores são compostos por materiais específicos e similares aos da cerâmica; apresentam condutividade entre a dos metais e a dos isolantes; sua condutividade pode ser moldada pela adição localizada de quantidade infinita de impurezas, o que permitiu a fabricação dos dispositivos e circuitos integrados eletrônicos (SWART, 2008).

A indústria microeletrônica tem por matéria-prima elementos químicos semicondutores, dentre os quais o mais empregado é o silício (Si). A razão para tal fato é a abundância deste elemento químico na natureza, encontrado na forma do composto sílica.

Este por sua vez é transformado em pastilha de silício com área na ordem de 100mm². Por exemplo, um circuito desses pode ser um computador digital completo, que neste caso é chamado genericamente de microprocessador (SEDRA et al., 2000).

O nióbio (Nb) é um metal de transição pela classificação periódica dos elementos químicos apresentando, em particular, aplicabilidades em extremas temperaturas. Pode ser empregado na constituição de superfícies destinadas a altas temperaturas, como motores de propulsão, além de, a baixas temperaturas, apresentar excelente supercondutividade.

Com a necessidade de velocidade de processamento cada vez maior, gerações de processadores mais rápidos são lançadas anualmente. Neste sentido, a proposta desta pesquisa é direcionada para um material alternativo à produção de semicondutores. Processos tecnológicos aprimorados através de pesquisa e desenvolvimento vêm de encontro ao que se propõe com o estado da arte pela qual permite opções para desenvolver insumos substitutos para atender os requisitos tecnológicos, bem como a demanda por materiais economicamente viáveis.

A conversão dos princípios físicos em equipamentos tecnológicos com propriedades em que não se utilizam os transistores, se conseguida, produzirá forte impacto no setor de semicondutores. Razão pela qual os participantes da cadeia de semicondutores devem estar atentos à evolução da pesquisa para novos insumos (BREJÃO et al., 2014). Com a demanda crescente para o setor de eletrônicos houve aumento de escala na produção de semicondutores o que reflete diretamente na extração do silício, que é atualmente o principal insumo para sua produção. Num mercado competitivo entende-se que há necessidade de prospecção de fontes alternativas de insumo substituto e como proposta destaca-se o nióbio.

Para reforçar estas tendências, Burgelman et al.,(2004) afirmam que o mercado de semicondutores é altamente competitivo e sujeito a erosão de preços, padrões de compras cíclicas, com ciclos de vida curtos e mudanças tecnológicas rápidas.

Economicamente, alguns fatores de produção, de processos e de gestão devem ser avaliados, pois se tratam de materiais com propriedades diferentes. A economia de escala é um conceito conhecido que afirma que o custo unitário médio de um serviço ou mercadoria pode ser reduzido aumentando-se sua taxa de produção. Uma empresa com preço relativo baixo como exemplo do setor de semicondutores, em geral, tem uma posição de custo baixa e uma qualidade do produto boa, mas não superior. Para alcançar esses baixos custos, essa empresa provavelmente tem um alto grau de integração vertical (KRAJEWSKI et al., 2009) e (PORTER, 2004).

Neste sentido, o desenvolvimento de uma nova tecnologia digital supercondutora ou lógica quântica, demonstra uma eficiência computacional dos circuitos medidos com o uso de dispositivos menores, dando eficiência incomparável em termos de operações dos supercondutores (HERR et al., 2011). Entende-se, com isso, que os fluxos nos processos de produção que podem ser medidos da prospecção de insumos até a distribuição do produto, necessitam inicialmente de um estudo do macro setorial. Esta afirmação reforça a tendência para prospecção de insumos alternativos sem alterar a especificidade e a qualidade já conquistada.

1.1Características do silício

É um elemento químico acinzentado, obtido pelo aquecimento da sílica e carbono em forno elétrico com eletrodos de grafite. Outros meios existem para a produção do silício de alta pureza para uso em semicondutores. O silício não é encontrado livre na natureza, ele ocorre, principalmente, na forma de óxidos e silicatos (combinação da sílica, dióxido de silício SiO_2, com um ou mais óxidos metálicos e água). Silício puro com adição de traços de outros elementos como boro, gálio, etc. tem propriedades semicondutoras e é amplamente aplicado em componentes eletrônicos (UNESP, 2014).
Devido à sua estrutura eletrônica muito peculiar, o silício é extremamente importante na indústria eletrônica, como semicondutor (MORI et al., 2007). Por ser tetravalente, o silício apresenta notável afinidade com diferentes elementos químicos, sobretudo com os das famílias 3A (ou 15) e 5A (ou 17) da tabela periódica dos elementos químicos.

1.2 Silício metálico

O silício metálico também é empregado na produção de silício de altíssima pureza, por via química ou por via metalúrgica, para componentes eletrônicos usados em campos de tecnologia avançada como a computação, a comunicação espacial, os sistemas de defesa, em painéis fotovoltaicos (MINASLIGA, 2014).

Na Tabela 1, é possível verificar a especificação química do silício metálico com um alto grau de pureza.

Tab. 1. Especificação química do Silício Metálico

Elementos	Standard	Grau Químico	Grau Eletrônico	Alta Pureza
% Si (mín)	98,50	98,50	98,50	99,00
% Fe (máx)	0,50	0,40	0,50	0,20
% Al (máx)	0,50	0,25	0,30	0,02
% Ca (máx)	0,30	0,03	0,03	0,03

Fonte: Adaptado de Minasliga (2014)

É a partir do silício grau metalúrgico que se obtém o silício grau eletrônico, material de extrema pureza, que em sua forma monocristalina se constitui na base da microeletrônica, para a fabricação de dispositivos semicondutores, utilizados em circuitos integrados, transistores, diodos, entre outros (MORI et al., 2007).

1.3 Produção de silício

Na Tabela 2, é possível visualizar uma crescente demanda pelo insumo com uma variação no triênio 2009/2011 de 52% na produção, de 44% nas vendas e de 58% nos valores.

Tab. 2 Produção e vendas dos produtos segundo a classe de atividade e descrição do silício

			Produção		Vendas		
Cód. Prodlist	Classe	Unid. Medida	Quantidade	Valor (1000 R$)	Quantidade	Valor (1000 R$)	Ano
2099-2220	Silício Inclusive o metálico	T	152.169	719.694	155.562	733.559	2009
2099-2220	Silício Inclusive o metálico	T	202.070	870.077	197.627	854.282	2010
2099-2220	Silício Inclusive o metálico	T	231.491	1.197.533	224.266	1.159.293	2011

Fonte: Adaptado de IBGE (2011)

1.4 Características do nióbio:

O nióbio é um metal branco, brilhante, de baixa dureza, extraído principalmente do mineral columbita. Está presente, porém, em todos os minerais de tântalo e é obtido também a partir do pirocloro, loparita, euxenita, manganotantalita e samarskita (CPRM, 2014).
Trata-se de um metal dúctil e resistente à corrosão e à temperaturas elevadas com propriedades supercondutoras e, com o zircônio, é usado em magnetos supercondutores. É um metal de transição e pertence ao grupo 5 da tabela periódica (UNESP, 2014).
O nióbio é um metal de alto ponto de fusão (2.468 graus Celsius) do grupo dos metais ditos refratários, que se destaca pelas seguintes características: densidade pouco superior à do ferro,

elevada resistência ao ataque por certos ácidos e metais líquidos, baixa resistência à oxidação e supercondutividade a temperaturas inferiores a 264 graus negativos Celsius (BNDES, 2000). O nióbio, como um material supercondutor apresenta, simultaneamente, duas propriedades: baixíssima (quase nula) resistência à passagem de corrente elétrica e diamagnetismo perfeito. Esta última propriedade é definida como o estado em que acontece a expulsão do interior do material (parcial ou completa) do campo magnético aplicado externamente. É conhecida como efeito Meissner-Hochsenfeld, ou, simplesmente, efeito Meissner. Quando o material supercondutor é esfriado, ele apresenta essas duas propriedades a partir da denominada temperatura crítica (T_C), na qual o material transiciona do estado normal para o estado supercondutor (UFSCAR, 2002).

1.5 Produção de nióbio

O emprego do nióbio no setor de microeletrônica oferece a este diversos benefícios. As aplicações tecnológicas dos materiais supercondutores estão relacionadas basicamente com as quatro vantagens que eles têm sobre os condutores normais (UFSCAR, 2002):

- conduzem eletricidade sem perda de energia, permitindo assim criar mecanismos com rendimentos extraordinários;
- não dissipam calor, implicando na redução expressiva dos circuitos elétricos (miniaturização);
- têm grande capacidade de gerar campos magnéticos muito intensos; e,
- podem ser usados para fabricar junções Josephson as quais são chaves supercondutoras, semelhantes a transistores, que podem comutar cem vezes mais rápido que os mesmos.

O óxido de nióbio (99% de Nb_2O_5), que representa 13% do mercado mundial de nióbio, é a matéria-prima para a fabricação de produtos especiais como: ferronióbio de alta pureza, níquel-nióbio, óxidos especiais de nióbio (grau ótico e grau cristal) e nióbio métalico e suas ligas, os quais se destinam a uma série de usos mais sofisticados como as superligas aeronáuticas, os cerâmicos para opto-eletrônica e os supercondutores (BNDES, 2000).
O metal existe em diversos países, mas 98% das reservas conhecidas no mundo estão no Brasil que é responsável atualmente por mais de 90% do volume comercializado no planeta, seguido por Canadá e Austrália. Na Figura 1, mostra-se a divisão das reservas brasileiras do nióbio que somam 842,46 milhões de toneladas e encontram-se distribuídas em quatro estados da seguinte forma:

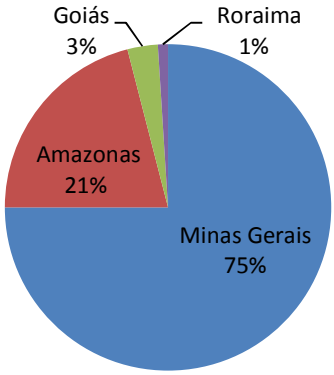

Fig. 1 Reservas de Nióbio no Brasil
Fonte: Adaptado de CPRM (2013)

Na Figura 2, é possível visualizar a representatividade do Brasil no cenário mundial da produção de nióbio.

Discriminação	Reservas (1) (t)	Produção (2) (t)			
Países	2012 (p)	2010 (r)	2011 (r)	2012 (p)	(%)
Brasil	**10.565.750**	**63.329**	**64.657**	**82.214**	**93,52**
Canadá	200.000	4.400	4.630	5.000	5,69
Outros países	nd	520	732	700	0,79
TOTAL	**10.765.750**	**68.249**	**70.019**	**87.914**	**100,00**

Fontes: DNPM / DIPLAM, *USGS Mineral Commodity Summaries-2013*
(1) Reserva Lavrável em pirocloro contido no minério, (2) Dados referentes à Nb_2O_5 contido no concentrado. (p) preliminar, (r) revisado, (nd): não disponível

Fig. 2 Reserva e produção mundial de nióbio – Fonte: DNPM/DIPLAM/USGS (2013)

Observa-se na Tabela 3, que no triênio 2009/2011 a produção de nióbio no Brasil variou em torno de 18.9%, as vendas em -9% e os valores em 127% e observa-se ainda que mesmo com o declínio das vendas houve um aumento substancial nos valores.

Tab. 3 Produção e vendas dos produtos segundo a classe de atividade e descrição do nióbio

			Produção		Vendas		
Cód. Prodlist	**Classe**	**Unid. Medida**	**Quantidade**	**Valor (1000 R$)**	**Quantidade**	**Valor (1000 R$)**	**Ano**
0729-2070	Minérios de Nióbio	T	19.564	247.459	18.645	154.674	2009
0729-2070	Minérios de Nióbio	T	28.027	432.843	24.905	243.865	2010
0729-2070	Minérios de Nióbio	T	23.267	645.194	17.100	351.192	2011

Fonte: Adaptado de IBGE (2011)

A Figura 3 reflete que no período entre 2010/2012, o óxido de nióbio teve uma variação positiva de produção, uma oscilação significativa nas exportações e no preço médio aplicado e estimado.

Discriminação		Unidade	2010(r)	2011 (r)	2012 (p)
Produção	Concentrado(1)	(t)	63.329	64.657	82.214
	Liga Fe-Nb(2) (NCM 72029300)	(t)	52.588	53.691	50.562
	Óxido de Nióbio	(t)	4.298	4.388	6.157
Importação	Liga Fe-Nb(2) (NCM 72029300)	(t)	0	0	0
		(10^3 US$-FOB)	0	0	0
	Óxido de nióbio	(t)	0	0	0
		(10^3 US$-FOB)	0	0	0
Exportação	Liga Fe-Nb(2) (NCM 72029300)	(t)	45.196	46.205	46.982
		(10^3 US$-FOB)	1.555.775,50	1.840.942,00	1.823.353,46
	Óxido de nióbio (NCM 28259090)	(t)	1.477	1.808	1.576
		(10^3 US$-FOB)	44.044,14	60.630,64	52.408,30
Consumo Aparente	Liga Fe-Nb(2) (NCM 72029300)	(t)	7.392	7.486	3.580
	Óxido de Nióbio (NCM 28259090)	(t)	2.821	2.580	4.581
Preço Médio*	Liga Fe-Nb(2) (NCM 72029300)	(US$/t-FOB)	34.422,86	39.842,41	38.809,61
	Óxido de nióbio	(US$/t-FOB)	29.820,00	33.534,64	33.254,00

Fontes: DNPM/DIPLAM-; MDIC/SECEX e empresas
(1) Dados em Nb_2O5 contido no concentrado; (2) Dados em Nb contido na liga; (r) revisado, (p) preliminar. * Preço médio base exportação.

Fig. 3 Cenário do Nióbio – Sumário Mineral Fonte: Adaptado de DNPM (2013)

A Figura 4 representa a distribuição do nióbio entre áreas produtivas na qual é possível avaliar a forte demanda por óxido de nióbio para o setor microeletrônico bem como uma estatística da produção de nióbio no Brasil.

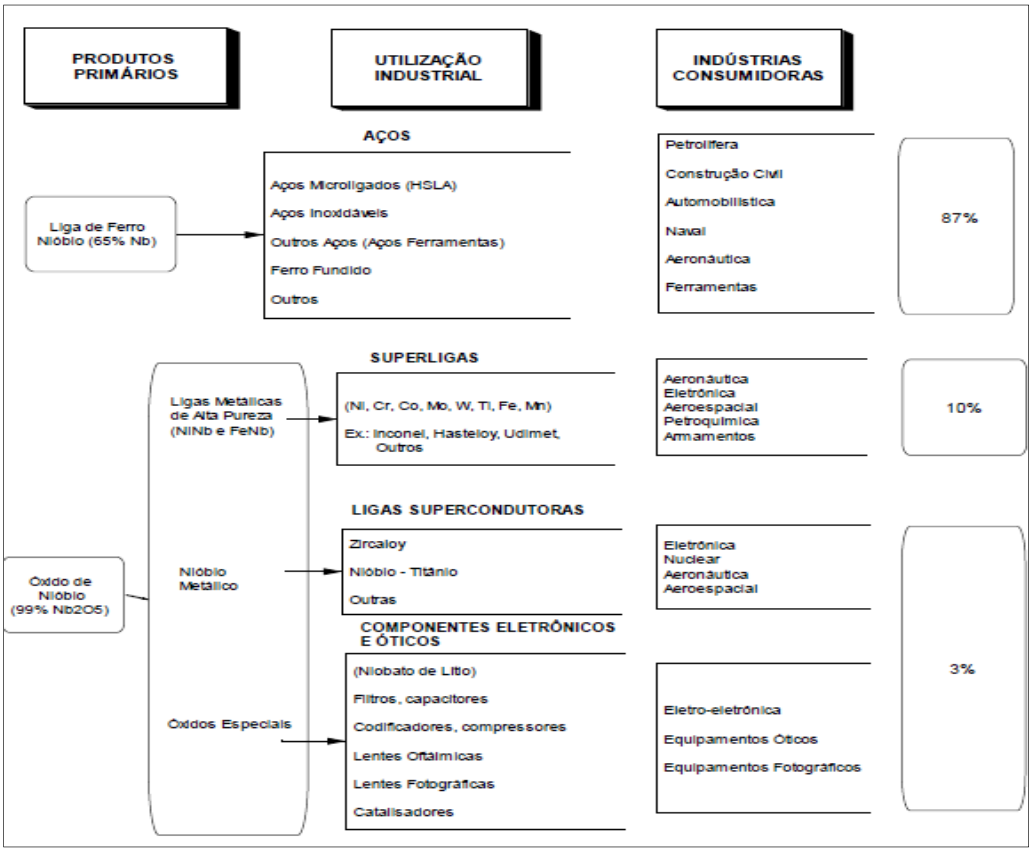

Fig. 4 Estatísticas de produção e distribuição setorial da demanda do nióbio. (Lima, 2010)

Na Figura 5, é possível identificar a importância do nióbio para os novos setores da economia nacional e global e quanto este metal pode ser estratégico para o país devido sua liderança mundial em sua extração.

Fig.5 Setores estratégicos da política industrial no Brasil - Adaptado de Programa Setorial (2012)

Verifica-se na Figura 6, o que se poderia denominar de um modelo da estrutura do mercado de nióbio no qual se observa que o produto tem um impacto direto no Produto Interno Bruto – PIB do Brasil.

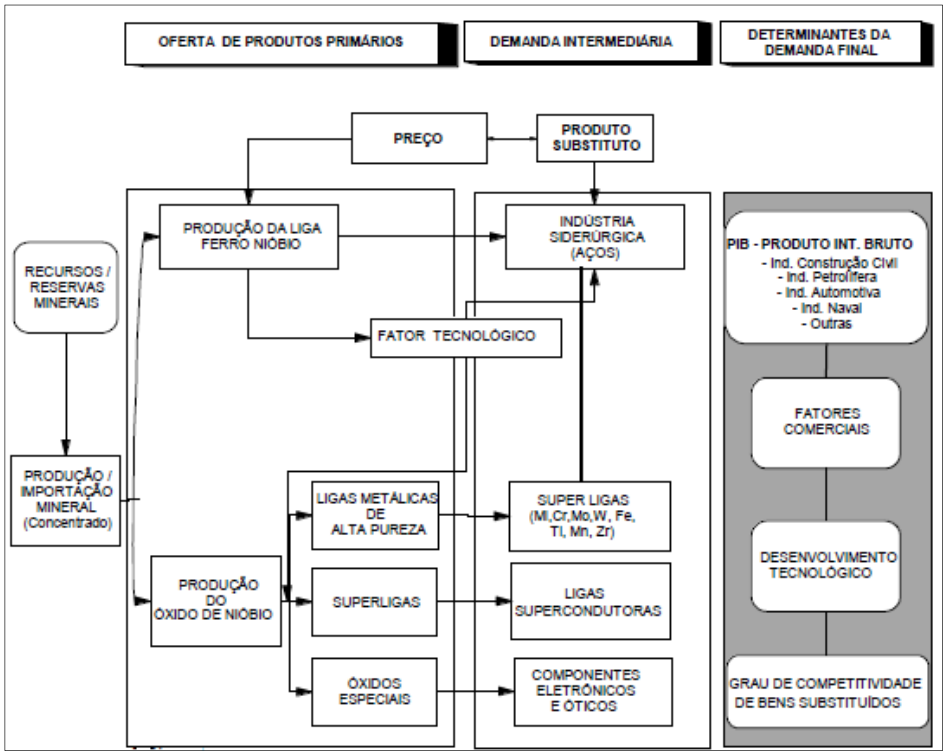

Fig. 6 Estrutura do Mercado do Nióbio (Silva, 1994).

2. Métodos

Neste estudo, buscou-se evidenciar as vantagens da substituição do silício pelo nióbio ou da utilização simultânea destes dois materiais na indústria microeletrônica uma vez conhecidas as notáveis vantagens do emprego da supercondutividade.

A metodologia aplicada fundamentou-se na revisão bibliográfica de produções científico-econômicas associadas às aplicações comparadas do silício e do nióbio, destacando-se o último quanto às suas propriedades supercondutoras, as quais permitem avanços consideráveis no setor de microeletrônicos.

A pesquisa-ação proporciona ao pesquisador um aprendizado capaz de nortear a tomada de decisão que consiste em identificar os problemas e desenvolver um programa de ação a ser acompanhado e avaliado (THIOLLENT, 2011).

Existem limitações à análise feita neste estudo, uma vez que, apesar de a supercondutividade ser um fenômeno conhecido desde o início do século XX, a formalização e total compreensão teórica do fenômeno em um modelo físico geral ainda não foram obtidas.

Nota-se que há ainda muito para ser descoberto e aperfeiçoado, principalmente em relação à obtenção de novos materiais com melhores parâmetros críticos. Valores maiores da temperatura de transição ou do campo magnético crítico permitirão desenvolver novas aplicações, tanto em grandes máquinas como em motores e componentes eletrônicos (UFSCAR, 2002).

3. Resultados

Identificou-se uma perspectiva promissora para a aplicação do nióbio na produção de semicondutores devido as suas propriedades físico-químicas levando-o à contribuir para uma nova geração de semicondutores. Segundo pesquisas, há um delineamento estruturado e mensurado no decorrer dos anos para este processo, permitindo assim uma repetitividade assegurada, favorecendo o setor e tem-

se na conjuntura setorial, que o desenvolvimento de semicondutores está em franca expansão com uma forte tendência na adequação de materiais alternativos.

Com o crescimento do consumo de equipamentos eletrônicos, processos produtivos são fomentados na intenção de atender a demanda do consumidor por equipamentos tecnicamente superiores com maior velocidade de processamento.
Observou-se que a tecnologia em semicondutores integra os setores especiais da economia, o que converge esforços para maior investimento em desenvolvimento e pesquisa.

No que se refere à pesquisa e desenvolvimento na produção de semicondutores, em algumas economias globais se investe em alternativas de produção e desenvolvimentos de materiais a fim de se produzir equipamentos tecnologicamente melhores e economicamente vantajosos para empresas e consumidores.

Como exemplo, as aplicações mais relevantes dos supercondutores podem ser agrupadas em dois grupos.
No primeiro grupo, o de emprego em pequena escala, estão as aplicações em biomedicina, metrologia, geofísica, processamento digital e dispositivos (sensores e detectores).
No segundo grupo, o de aplicações em grande escala, encontramos magnetos multifilamentares para diversas aplicações em física de altas energias, imagens por ressonância magnética (MRI), reatores de fusão nuclear, geradores de magnetohidrodinâmica (MHD), usinas de armazenamento de energia e magnetos para separação magnética (UFSCAR, 2002).

Em estudos realizados pela Florida State University (2007), um material recentemente desenvolvido pode ser para os computadores do futuro o que o silício é para os computadores de hoje. O material é um composto a partir dos elementos potássio, nióbio e oxigênio, juntamente com íons de cromo que poderia proporcionar um avanço tecnológico e que leva ao desenvolvimento da nova tecnologia da computação quântica.

Para o World Semiconductor Council (2012) a indústria global de semicondutores é compatível com os objetivos da gestão dos produtos químicos em todo o ciclo de vida, promovendo a inovação contínua na concepção e fabricação de semicondutores. O processo utilizado para a fabricação de semicondutores é altamente complexo e requer equipamentos avançados, ambientes altamente controlados, e a utilização de produtos químicos especializados.

4. Conclusão

Com uma demanda crescente por equipamentos eletrônicos menores e dada a exigência de processamento de informações cada vez mais rápido, novos insumos para tais aplicações são pesquisados bem como novos processos produtivos associados a estes insumos. Embora a base da microeletrônica seja o silício, evidencia-se que muitos ganhos serão obtidos no setor eletrônico mediante o uso do nióbio em semicondutores, devido suas propriedades, em particular, a supercondutividade, a qual atende diretamente ao requisito de aumento da eficiência em termos de processamento. O Brasil, como maior detentor mundial de jazidas de nióbio e seu maior extrator e exportador pode beneficiar-se consideravelmente deste produto. Contudo, o Brasil não deve incorrer no erro de ser apenas um exportador do nióbio como insumo, dado seu pouco valor agregado, importando a valores bem maiores produtos eletrônicos que contêm o referido metal. É estratégico para o país o domínio da tecnologia de novos semicondutores, em especial, os que apresentam propriedades supercondutoras.

5. Referências

Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES (2000) - Nióbio: O Brasil no topo – Mineração e Metalurgia nº 32 **http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/setorial/is_g3_32.pdf** acessado em 15 de Agosto/2014.

BREJÃO, A. S.; MORAIS, M. O.; VENDRAMETTO, O., 2014. Um estudo macro setorial da produção de semicondutores – International Conference - Advances in Production Managemente Systems – APMS Ajaccio – França.

BURGELMAN, Robert A., 2004. Strategic management of technology and innovation. 4th ed. New York: McGraw-Hill Irwin.

Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração – CBMM – Produtora de Nióbio **http://www.cbmm.com.br/br/p/18/sobre-a-cbmm.aspx** acessado em 06 de Julho/2014.

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM (2013) - O Nióbio Brasileiro - **http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=2616&sid=129** acessado em 04 de Julho/2014.

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM (2014) – O que é o nióbio – **http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=2616&sid=129** acessado em 15 de Agosto/2014.

Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM - Sumário Mineral (2013) – Nióbio - **https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=8996** acessado em 04 de Julho/2014.

Florida State University. Quantum Computing Possibilites Enhanced With New Material – Science Daily (2007) **http://www.sciencedaily.com/releases/2007/10/071008103647.htm** acessado em 08 de Julho/2014.

HERR, Quentin P.; HERR, Anna Y.; OBERG, Oliver T.; IOANNIDIS, Alexander G., 2011. Ultra-Low-Power Superconductor Logic – Ithca - New York: Cornell University Library.

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia dos Materiais em Nanotecnologia / Centro Multidisciplinar para o Desenvolvimento de Materiais Cerâmicos. *Universidade Federal de São Carlos* – UFSCAR (2002). O fascinante mundo dos materiais Supercondutores. Autores: (Araujo-Moreira, F M; Lanfredi, A. J. C.; Cardoso, C.; Maluf, W.f. - Grupo de Materiais e Sensores, Departamento de Física, Centro Multidisciplinar de Desenvolvimento de Materiais Cerâmicos – CMDMC Universidade Federal de São Carlos); (Mombru, A. W. - Laboratorio de Cristalografia y Química del Estado Sólido, Cátedra de Física-DEQUIFIM, Faculdad de Química, Universidad de la República, Montevidéu, Uruguai); (Navau, C. - Universidad Autónoma de Barcelona e Escola Universitària Salesiana de Sarrià, Barcelona, Espanha) - Univerciência - **http://www.univerciencia.ufscar.br/n_2_a1/super.pdf** acessado em 31 de Janeiro/2015.

KRAJEWSKI, Lee J.; RITZMAN, Larry; MALHOTRA, Manoj., 2009. Administração de produção e operações. São Paulo: Pearson Prentice Hall.

LIMA, José Maria Gonçalves., 2010. Relatório técnico 20 – Perfil da mineração do nióbio – Minas Gerais.

MINASLIGA – Especificação do Silício Metálico. **http://www.minasligas.com.br/produtos_abre.asp?area=3&secao=3&tp=1&site=1&id=3** acessado em 15 de Agosto/2014.

MORI, Vânia. Metalurgia do silício: processos de obtenção e impactos ambientais / Vânia Mori; Ronaldo Luiz Correa dos Santos; Luiz Gonzaga Santos Sobral. – Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007: it.

42p. (Série Tecnologia Ambiental, 41). **http://www.cetem.gov.br/publicacao/series_sta/sta-41.pdf** acessado em 01 de Fevereiro/2015.

Pesquisa Industrial - Produção e vendas dos produtos segundo a classe de atividade e descrição do produto (2011). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE - **http://www.ibge.gov.br** acessado em 06 de Julho/2014.

PORTER, Michel E., 2004. Estratégia Competitiva: técnicas para análise de indústrias e da concorrência. 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier.

Programa Setorial - Semicondutores (2012 – 2014). Política industrial: modelo de desenvolvimento industrial do Estado do Rio Grande do Sul.

SEDRA, Adel S.; SMITH, Kenneth C., 2000. Microeletrônica – São Paulo: Makron Books.

SILVA, Luiz G. Oliveira E., 1994. Nióbio: mercado nacional e internacional: modelo de previsão do consumo de ferro-nióbio – Dissertação de Mestrado – UNICAMP/IG – Campinas.

SWART, Jacobus W., 2008. Semicondutores: fundamentos, técnicas e aplicações – Campinas, SP. Editora UNICAMP.

THIOLLENT, Michel., 2011. Metodologia da pesquisa-ação. 18. Ed. pág. 96 - São Paulo: Cortez.

Universidade Estadual Paulista – Júlio de Mesquita Filho – Campus/Bauru/SP – Faculdade de Ciência - Silício – **http://www2.fc.unesp.br/lvq/LVQ_tabela/014_silicio.html** acessado em 15 de Agosto/2014.

Universidade Estadual Paulista - Júlio de Mesquita Filho – Campus/Bauru/SP – Faculdade de Ciência - Nióbio – **http://www2.fc.unesp.br/lvq/LVQ_tabela/041_niobio.html** acessado em 15 de Agosto/2014

World Semiconductor Council – WSC., 2012. Essential Considerations for the Regulation of Chemicals Used in Semiconductor Manufacturing and Products – Vancouver - **http://www.semiconductorcouncil.org/wsc/** acessado em 31 de Janeiro/2015.