



SEMICONDUTORES NA ERA DIGITAL: EVOLUÇÃO, DESAFIOS E IMPLICAÇÕES GEOPOLÍTICAS

REVISÃO BIBLIOMÉTRICA

FERREIRA JUNIOR, Cidrak Nunes¹, REDKVA, Paulo Eduardo², SANDRINO, Bianca³

FERREIRA JUNIOR, Cidrak Nunes. REDKVA, Paulo Eduardo. SANDRINO, Bianca. **Semicondutores na era digital: evolução, desafios e implicações geopolíticas.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 08, Ed. 12, Vol. 02, pp. 133-150. Dezembro de 2023. ISSN: 2448-0959, Link de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/tecnologia/semitondutores>, DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/tecnologia/semitondutores

RESUMO

A indústria de semicondutores, base da revolução tecnológica contemporânea, tem evoluído continuamente desde os primeiros transistores até os avançados microchips de hoje. Historicamente dominada por potências como os Estados Unidos, a última década testemunhou a ascensão da Ásia, especialmente da China, como um centro vital de produção e pesquisa, reconfigurando o equilíbrio geopolítico do setor. Impulsionada pela crescente demanda por dispositivos eletrônicos e pela digitalização, a indústria enfrenta desafios como a recente escassez de chips, agravada pela pandemia da COVID-19. No entanto, tecnologias emergentes, como transistores de porta de túnel, grafeno e memória resistiva, prometem revolucionar ainda mais o campo. Esta revisão narrativa oferece uma análise abrangente da evolução dos semicondutores, destacando inovações tecnológicas, desafios atuais e implicações geopolíticas, com foco especial na interseção entre economia e tecnologia.

Palavras-chave: Semicondutores, Evolução tecnológica, Implicações geopolíticas, Inovações emergentes.



1. INTRODUÇÃO

A indústria de semicondutores tem desempenhado um papel fundamental na revolução tecnológica das últimas décadas, desde os primeiros transistores até os microchips avançados de hoje (Deng, 2022; Hossain *et al.*, 2023). Esta evolução não apenas reflete os avanços tecnológicos, mas também as dinâmicas geopolíticas e econômicas que moldam o cenário global (Da Silva, 2022).

Historicamente, a indústria de semicondutores tem sido dominada por poucos players globais, com os Estados Unidos à frente em termos de inovação e produção (Danowitz *et al.*, 2012; Deng; Deng, 2022; Hossain *et al.*, 2023; Da Silva, 2022). No entanto, nas últimas décadas, a Ásia, particularmente a China, emergiu como um centro vital para a produção e pesquisa de semicondutores, desafiando a hegemonia tradicional e reconfigurando o equilíbrio de poder na indústria. A China experimentou um crescimento significativo em sua indústria de semicondutores, com foco no desenvolvimento de uma cadeia de suprimentos e na melhoria das capacidades tecnológicas (Ernst, 2016; Li, 2021; Wu *et al.*, 2006)

A crescente demanda por dispositivos eletrônicos, impulsionada pela digitalização e pela Internet das Coisas (IoT), tem colocado os semicondutores no centro das atenções (Roche, 2018). Nos últimos anos, houve grandes mudanças no paradigma de hardware da indústria de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), com a relação usuário-dispositivo se invertendo e os usuários sendo superados em número pelos dispositivos que acessam (Hischier *et al.*, 2015; Zou, 2023). Os avanços na tecnologia de semicondutores foram impulsionados pela demanda por dispositivos mais rápidos, melhores e mais eficientes em termos de energia (Fowler, 1993). O progresso nas ciências físicas, químicas e de materiais, juntamente com o desenvolvimento de novas ferramentas tecnológicas, permitiu a integração de centenas de milhares de dispositivos em um único chip (Jevtics *et al.*, 2021). Os semicondutores têm desempenhado um papel importante na era da microeletrônica,



com desempenhos aprimorados constantemente alcançados por meio de uma melhor compreensão dos processos físicos e dos avanços tecnológicos.

No entanto, a indústria de semicondutores não está isenta de desafios. A recente escassez de chips, exacerbada pela pandemia da COVID-19, destacou a fragilidade das cadeias de suprimentos globais e a necessidade de diversificação (Frederico *et al.*, 2023; Mzougui *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2023). Neste contexto, torna-se importante compreender a trajetória da indústria de semicondutores, seus desafios atuais e futuros, bem como as implicações geopolíticas e as políticas industriais adotadas por diferentes nações. O objetivo desta revisão é analisar de forma abrangente o setor, abordando sua evolução histórica, inovações tecnológicas, desafios atuais, implicações geopolíticas e políticas industriais, com ênfase na economia e tecnologia.

2. METODOLOGIA

Trata-se de uma revisão narrativa que envolveu a pesquisa de artigos e textos acadêmicos relevantes em bases de dados acadêmicas reconhecidas. Empregamos uma ampla gama de termos de busca específicos relacionados à indústria de semicondutores, abrangendo contexto histórico, inovações tecnológicas, desafios atuais, implicações geopolíticas e políticas industriais.

Inicialmente, identificamos muitos artigos que correspondiam aos termos de busca. Após essa etapa inicial, procedemos com uma triagem inicial com base em critérios de inclusão e exclusão. Os critérios de inclusão exigiram que os artigos ou textos estivessem disponíveis em inglês ou português e que abordassem especificamente a indústria de semicondutores em seus diversos aspectos. Artigos que não estavam diretamente relacionados ao tema ou que não forneciam informações relevantes para a revisão foram excluídos.



Durante essa análise, consideramos a relevância de cada artigo para os objetivos desta revisão. Além disso, avaliamos a metodologia adotada pelos autores, examinamos os principais achados e conclusões apresentados em cada estudo. Essa análise crítica permitiu identificar tendências, desafios e oportunidades na indústria de semicondutores, bem como compreender as implicações geopolíticas e as políticas industriais adotadas por diferentes nações. Estruturamos esta revisão em seções temáticas que refletem os principais tópicos identificados durante a análise dos artigos. Cada seção foi desenvolvida com base nas evidências encontradas nos trabalhos selecionados.

É importante reconhecer as limitações desta revisão narrativa. A seleção de artigos e textos acadêmicos foi baseada em critérios estabelecidos pelos autores, o que pode ter excluído algumas pesquisas com outros contextos importantes. Além disso, a revisão se concentra principalmente em artigos publicados em inglês e português, o que pode limitar a abrangência geográfica da análise. Essas limitações devem ser levadas em consideração ao interpretar os resultados desta revisão.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1. TECNOLOGIAS EMERGENTES EM SEMICONDUTORES: PERSPECTIVAS E AVANÇOS

Uma das tecnologias emergentes mais promissoras é a dos transistores de porta de túnel (TFETs), que têm o potencial de superar os limites dos transistores MOSFET convencionais em termos de consumo de energia (Deng; Deng, 2022). Paralelamente, materiais bidimensionais, como o grafeno, estão sendo intensamente explorados devido às suas propriedades excepcionais, abrindo novas fronteiras para a indústria de semicondutores (Kai; Fujishima, 2011).

A memória resistiva (ReRAM) é outra inovação significativa que promete superar as limitações das tecnologias de memória tradicionais. Com maior densidade e menor



consumo de energia, a ReRAM tem o potencial de revolucionar o armazenamento de dados (Yu; Chen, 2016). Em contrapartida, a fotônica em silício, que utiliza luz em vez de elétrons para transmitir informações, está emergindo como uma solução promissora para superar os desafios de largura de banda e consumo de energia dos sistemas eletrônicos convencionais (Hirayama *et al.*, 2007).

A computação quântica, ainda em seus estágios iniciais, representa um avanço potencialmente revolucionário. Ao explorar as propriedades quânticas dos materiais, os computadores quânticos têm o potencial de resolver problemas que são intratáveis para os computadores clássicos (Sengupta; Ankit; Roy, 2017). As tecnologias emergentes de semicondutores estão expandindo suas aplicações em diversos campos. Estas tecnologias permitem o desenvolvimento de dispositivos semicondutores de baixo custo com funções avançadas, desde medicina até Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) (Kai; Fujishima, 2011).

Heteroestruturas semicondutoras têm sido alvo de extensas pesquisas, com o intuito de impulsionar avanços significativos na detecção em nanescala e no estudo das propriedades de transporte quântico, como mencionado por Hirayama *et al.* (2007). Essas estruturas semicondutoras, compostas por camadas de diferentes materiais semicondutores, oferecem um campo promissor para explorar fenômenos em escalas extremamente pequenas. Além disso, novas fronteiras tecnológicas estão se desenhando, como é o caso dos semicondutores de amplo intervalo de energia, cujo potencial revolucionário para sistemas eletrônicos de potência foi destacado por Shenai em (1990). Esses semicondutores, com suas propriedades únicas, têm o poder de transformar fundamentalmente a forma como concebemos e implementamos sistemas de eletrônica de alta potência, abrindo caminho para inovações que podem moldar o futuro da tecnologia elétrica. A espectroscopia portátil é um campo em rápido crescimento. Isso permitiu a incorporação de sensores multiespectrais em dispositivos vestíveis, fornecendo informações valiosas aos usuários (Pescitelli *et al.*, 2023). A confiabilidade dos conversores eletrônicos de potência é fundamental para dispositivos eletrônicos



miniaturizados. Soluções inovadoras estão sendo propostas para enfrentar os desafios dos componentes e circuitos eletrônicos de potência (Crocombe, 2023).

O setor de semicondutores testemunhou vários marcos e avanços históricos. Estes avanços têm sido fundamentais para o crescimento contínuo da indústria, abrindo caminho para a criação de diversos produtos, desde dispositivos embarcados até smartphones e computadores (Chin *et al.*, 2013; Lee, 2016). Este segmento tem desempenhado um papel essencial na atual revolução tecnológica. Impulsionada principalmente pelo avanço na miniaturização de chips, a Lei de Moore, que prevê a duplicação do número de transistores em um microchip aproximadamente a cada dois anos, tem sido a norma na indústria de semicondutores por décadas (Deng; Deng, 2022). Esta contínua miniaturização tem permitido um aumento exponencial no poder de processamento, resultando em dispositivos eletrônicos mais rápidos, menores e mais eficientes em termos de energia (Araújo, 2022).

A consolidação de múltiplas capacidades em um único componente, denominado System on a Chip (SoC), tem sido fundamental para a evolução de dispositivos móveis, wearables e outras tecnologias compactas que se destacam no cenário atual (Mok *et al.*, 2021; Du *et al.*, 2023; Patrick *et al.*, 2022). Esta convergência possibilitou a incorporação acelerada de inovações, como a tecnologia 5G, mantendo simultaneamente a eficiência energética e a acessibilidade econômica (Guertin, 2018). A cada ano, os SoCs são refinados e integrados em sistemas mais sofisticados, refletindo a constante miniaturização da tecnologia (An *et al.*, 2021). A estratégia de design baseada em chiplets, que combina diversos chiplets com funções distintas em uma única estrutura, trouxe uma revolução adicional ao setor, resultando em SoCs mais compactos, eficientes em termos de energia e com tempos de lançamento no mercado mais ágeis. Tais progressos na tecnologia SoC viabilizaram a criação de dispositivos pequenos, porém robustos, que suprem as exigências do consumidor contemporâneo.



Para superar os limites da miniaturização, a indústria tem explorado novos materiais e técnicas de fabricação. No campo da pesquisa do cérebro, chips cerebrais, como chips RFID, têm sido usados para estudar doenças neurodegenerativas, como a doença de Alzheimer. Estudos recentes cultivaram organoides cerebrais em torno de chips RFID funcionais, que podem estimular o crescimento dos neurônios e melhorar a conectividade entre eles, potencialmente melhorando a memória em pacientes com Alzheimer (Jones *et al.*, 2023). Outra inovação notável é o desenvolvimento de dispositivos microfluídicos de cérebro em um chip (BOC). Estes dispositivos permitem experimentos usando tecidos humanos e podem ser usados para rastrear novos medicamentos (Zhao *et al.*, 2023). Além disso, os avanços na miniaturização de chips levaram ao desenvolvimento de brainoides, modelos cerebrais automontados usando células-tronco pluripotentes derivadas de humanos (Akcay; Luttge, 2023).

Com isso, a indústria de semicondutores continua a inovar a um ritmo acelerado, impulsionada pela demanda incessante por maior desempenho e eficiência. As inovações tecnológicas, como chips cerebrais e avanços na miniaturização, estão no cerne desta transformação, moldando o futuro da eletrônica e abrindo novas fronteiras para a computação.

3.2. DESAFIOS E PERSPECTIVAS NA INDÚSTRIA DE SEMICONDUTORES

O segmento de semicondutores enfrenta desafios variados. A atual escassez de semicondutores, que afeta setores desde o automobilístico até o de eletrônicos, é impulsionada por interrupções na cadeia de suprimentos devido à pandemia de COVID-19, aumento da demanda por eletrônicos e restrições de produção (Araújo, 2022; Deng; Deng, 2022). A sustentabilidade é outra preocupação crescente. A produção de semicondutores é intensiva em termos de energia e recursos. A pressão por práticas mais sustentáveis está levando a indústria a buscar materiais e técnicas de produção mais ecológicos e a minimizar o desperdício. Além disso, a



indústria enfrenta desafios como o aumento dos custos, a necessidade de desenvolvimento de processos e despesas de fabricação, e a redução dos ciclos de produtos (Abadir, 2007).

Estamos observando surgimento de novos materiais, técnicas e paradigmas de computação, como a computação quântica, para melhorar o desempenho e a eficiência dos materiais envolvidos nos desenvolvimentos de semicondutores (Beckers *et al.*, 2022; Deng; Deng, 2022). A complexidade crescente dos chips exige ferramentas de design mais avançadas e uma abordagem sistemática para verificação e teste. Além disso, a demanda por especialistas em semicondutores está superando a oferta, destacando a necessidade de investimento contínuo em educação e treinamento (Meloni, 2023). Em resposta a esses desafios, a indústria está adaptando modelos de negócios, desenvolvendo novas tecnologias e abordando questões ambientais. A colaboração entre indústria, academia e governos é essencial para superar esses obstáculos e garantir um futuro sustentável e inovador para a indústria de semicondutores (Cremonesi, 2010; Law, 2019; Plepys, 2004).

A área de semicondutores está no epicentro de tensões geopolíticas significativas, enquanto enfrenta desafios técnicos e logísticos. A crescente dependência global de tecnologias avançadas tornou os semicondutores ativos estratégicos, com nações competindo pela supremacia nessa área relevante (Deng; Deng, 2022; Hossain *et al.*, 2023). Os Estados Unidos, tradicionalmente líderes na indústria de semicondutores, enfrentam concorrência internacional e preocupações com a segurança na cadeia de suprimentos devido à offshoring de operações de fabricação. Chamados para revitalizar a fabricação doméstica e investir em pesquisa e desenvolvimento são evidências da necessidade de manter a vantagem tecnológica dos EUA. Além das tensões entre EUA e China, outros países, como Taiwan e Coreia do Sul, desempenham papéis cruciais na cadeia de suprimentos global, tornando-se pontos focais de interesse estratégico e potenciais fontes de tensão geopolítica (Luo; Van Assche, 2023).



MULTIDISCIPLINARY SCIENTIFIC JOURNAL

NÚCLEO DO
CONHECIMENTO

REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR NÚCLEO DO
CONHECIMENTO ISSN: 2448-0959

<https://www.nucleodoconhecimento.com.br>

Em resumo, as implicações geopolíticas da indústria de semicondutores são profundas e multifacetadas. À medida que a tecnologia desempenha um papel central nas economias globais, as tensões e competições em torno dos semicondutores intensificam-se. Essa dinâmica é evidente nas políticas de tecnológico-nacionalismo dos EUA, na resposta da Europa com a Lei Europeia de Chips e na concentração estratégica da produção de semicondutores em grandes empresas e países (Huggins *et al.*, 2023). Para empresas multinacionais, adaptar-se a essas mudanças requer estratégias geográficas, reconfiguração de operações, resiliência e diplomacia corporativa para navegar em um cenário incerto.

3.3. POLÍTICAS INDUSTRIALIS E COMPETITIVIDADE NA INDÚSTRIA DE SEMICONDUTORES: ABORDAGENS GLOBAIS E DESAFIOS FUTUROS

Além dos EUA e da China, outros países também reconheceram a importância estratégica dos semicondutores e implementaram suas próprias políticas industriais. Por exemplo, a União Europeia lançou iniciativas para aumentar a produção de semicondutores na região e reduzir sua dependência de fornecedores asiáticos (Johnston; Huggins, 2023). Da mesma forma, países como Coreia do Sul e Taiwan, já estabelecidos como players-chave na indústria, continuam a investir em inovação e expansão de capacidade para manter sua posição competitiva. No entanto, enquanto estas políticas industriais têm o potencial de impulsionar o desenvolvimento da indústria de semicondutores, elas também podem levar a tensões comerciais. As restrições à exportação, os subsídios e outras medidas protecionistas podem distorcer o mercado global e levar a disputas comerciais entre nações (Deng; Deng, 2022). Portanto, é essencial que as políticas sejam implementadas de forma a promover a cooperação e a integração global, em vez de isolacionismo e competição desenfreada (Araújo, 2022).



As políticas industriais de semicondutores em diferentes países variam. Os Estados Unidos, Taiwan, Japão e Alemanha têm saídas excessivas de engenheiros, enquanto a China e a Coréia do Sul têm fluxos excessivos (Fujiwara, 2023). A União Europeia está fornecendo investimentos significativos à indústria de semicondutores para resolver questões de autossuficiência e soberania digital (Johnston; Huggins, 2023). A China adotou diferentes modelos de estado de desenvolvimento para sua indústria de semicondutores, incluindo um modelo de estado empreendedor nas décadas de 1980 e 1990 e um modelo geral de estado de desenvolvimento com incentivos indiretos nos anos 2000 (Marukawa, 2023). A política industrial recente da China se concentra na revitalização de sua indústria de TIC por meio de investimentos diretos em campeões nacionais e diversificação entre mais de 300 empresas (Verwey, 2019). No entanto, os atuais planos industriais de semicondutores da China enfrentam desafios devido à falta de capital humano e à intensa competição internacional (Verwey, 2019).

Na China, a política industrial relacionada aos semicondutores tem passado por diversas fases, desde a priorização do crescimento econômico e do desenvolvimento de campeões nacionais até o uso de incentivos indiretos e promoção do crescimento da indústria de circuitos integrados (Majerowicz; De Medeiros, 2018; Marukawa, 2023). A política industrial recente da China está focada na revitalização da indústria de TIC por meio de investimentos diretos e indiretos (Marukawa, 2023).

Durante a crise financeira global de 2008, países como Japão, Coreia do Sul e Taiwan responderam com intervenções governamentais para apoiar a indústria de semicondutores, o que resultou em melhorias financeiras, embora com algum atraso (Wu *et al.*, 2015). Na Europa, políticas de tecnologia e colaboração, como consórcios de pesquisa e desenvolvimento, têm sido adotadas para melhorar a competitividade da indústria de semicondutores e enfrentar a concorrência estrangeira (Lucchini, 1998). Nos Estados Unidos e no Japão, o debate se concentra nas políticas industriais, políticas de importação de tecnologia e apoio a



consórcios de pesquisa, com análises sobre como essas políticas impactaram o desenvolvimento e a competitividade da indústria de semicondutores (Lynn, 2000). O desafio consiste em evitar tensões comerciais e garantir um futuro sustentável para essa indústria vital (Verwey, 2019; Wang *et al.*, 2023).

Atualmente, enfrenta-se desafios significativos relacionados à manejo sustentável, com a necessidade de reduzir as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) sendo uma das principais preocupações (Zhu *et al.*, 2023). Esta indústria desempenha um papel notável nas emissões de GEE, porém, até o momento, faltam diretrizes claras para métodos eficazes de redução, especialmente adaptados às complexas operações de fabricação de semicondutores (Zhu *et al.*, 2023). Uma abordagem promissora para lidar com esse problema envolve a implementação de equipamentos altamente eficientes de destruição de gases de escape, projetados para remover GEE de processos críticos. Essa estratégia pode representar um avanço significativo na busca pela responsabilidade ambiental na indústria de semicondutores.

Além disso, o conceito de Gerenciamento Verde da Cadeia de Suprimentos (GSCM) tem sido amplamente aplicado para melhorar o desempenho ambiental nas cadeias de suprimentos de semicondutores (Lu *et al.*, 2023). No entanto, um estudo constatou que, ao analisar variáveis ambientais em relação à produtividade, não foram encontradas diferenças significativas, sugerindo que, talvez, o investimento no desenvolvimento de tecnologia seja um fator mais preponderante para a melhoria da produtividade (Lu *et al.*, 2023).

Em última análise, o equilíbrio ambiental na indústria de semicondutores não se resume apenas à redução de emissões de GEE e à implementação do GSCM. A competitividade e o crescimento de longo prazo do setor também estão intrinsecamente relacionados à sua capacidade de inovação e à habilidade de se envolver em processos de inovação aberta (Kumar; Kumar, 2017). Portanto, promover a inovação torna-se importante para assegurar a concorrência a longo



prazo nessa indústria dinâmica. Com isso, abordar a responsabilidade ambiental na indústria de semicondutores envolve uma abordagem multifacetada, que inclui a redução das emissões de GEE, a implementação de práticas de Gerenciamento Verde da Cadeia de Suprimentos e o incentivo à inovação para garantir a sustentabilidade social a longo prazo (Huggins *et al.*, 2023).

Observa-se diversas considerações no desempenho, práticas de relatórios, adoção de uma estrutura de Balanced Scorecard (BS) voltada à sustentabilidade, enfoque na preservação ambiental ao longo do ciclo de vida dos produtos, implementação de princípios de design ambiental e a persistente busca por reduzir o impacto global do ciclo de vida (Jassem; Azmi; Zakaria, 2018). No âmbito dessa indústria, as organizações têm se dedicado a avaliar sua viabilidade, com base em critérios que envolvem a gestão de recursos, dados de emissões e a adoção das melhores práticas sustentáveis (Kumar *et al.*, 2021). Nessa abordagem, métricas como lucratividade, inovação, investimentos em práticas sustentáveis e a promoção da conscientização sobre a importância da preservação ambiental emergem como elementos de grande importância (Hsu *et al.*, 2011). A preocupação com a sustentabilidade ambiental se destaca como uma prioridade significativa no desenvolvimento de novos processos de fabricação, instalações e produtos, ressaltando a necessidade de investigação aprofundada e colaboração na área (Harland; Reichelt; Yao, 2008).

Nesse sentido, foram empreendidos esforços substanciais na incorporação de princípios ambientais ao design, o que tem contribuído para progressos notáveis na redução das emissões de gases de efeito estufa, no gerenciamento de resíduos e no uso eficiente de energia. Não obstante, subsistem desafios significativos em relação à busca contínua pela redução adicional do impacto ambiental.



4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A indústria de semicondutores tem desempenhado um papel fundamental na revolução tecnológica das últimas décadas, influenciando não apenas o avanço das tecnologias, mas também as dinâmicas geopolíticas e econômicas globais. Desde a sua origem com os primeiros transistores até os microchips de alta complexidade que temos hoje, a trajetória dessa indústria reflete uma combinação única de inovação, competição e colaboração em escala global. Historicamente dominada por alguns gigantes, com os Estados Unidos à frente, temos testemunhado a ascensão da Ásia, notadamente a China, como um epicentro relevante para a produção e pesquisa de semicondutores. Essa transformação geopolítica, aliada à crescente demanda por dispositivos eletrônicos e à era da digitalização, coloca os semicondutores no epicentro das atenções. Tecnologias emergentes, como os transistores de porta de túnel, materiais bidimensionais como o grafeno, memória resistiva e fotônica em silício, prometem revolucionar ainda mais o setor. No entanto, desafios recentes, como a escassez de chips e a vulnerabilidade das cadeias de suprimentos globais, ressaltam a necessidade urgente de diversificação e inovação contínua.

REFERÊNCIAS

ABADIR, Magdy S. Meeting the evolving challenges of the semiconductor industry. In: **2007 International Conference on Design & Technology of Integrated Systems in Nanoscale Era**. IEEE, 2007. p. I-I.

AKCAY, Gulden; LUTTGE, Regina. Microenvironments Matter: Advances in Brain-on-Chip. **Biosensors**, v. 13, n. 5, p. 551, 2023.

AN, Xiaoshuai *et al.* Compact integration of GaN-based photonic chip with microfluidics system. **Optics Letters**, v. 46, n. 2, p. 170-173, 2021.

ARAÚJO, Theodoro Parizzi Horta. ESCASSEZ MUNDIAL DE SEMICONDUTORES: OS IMPACTOS NA ECONOMIA BRASILEIRA. 2022.



BECKERS, Omar *et al.* Perspective on the application of continuous flow chemistry for polymer-based organic electronics. **Journal of Materials Chemistry C**, v. 10, n. 5, p. 1606-1616, 2022.

CHIN, Jiann Min *et al.* Recent advances in fault isolation for semiconductor industry. In: **Proceedings of the 20th IEEE International Symposium on the Physical and Failure Analysis of Integrated Circuits (IPFA)**. IEEE, 2013. p. 269-279.

CREMONESI, Alessandro. Semiconductor industry: Perspective, evolution and challenges. In: **2010 Fourth ACM/IEEE International Symposium on Networks-on-Chip**. IEEE, 2010. p. 5-5.

CROCOMBE, Richard A. Emerging technologies for miniature spectrometers and multispectral sensors. **Next-Generation Spectroscopic Technologies XV**, v. 12516, p. 35-48, 2023.

DA SILVA, Guilherme Jorge. Semicondutores: um estudo para a China e Estados Unidos nas cadeias globais de valor. **Textos de Economia**, v. 25, n. 2, p. 01-28, 2022.

DANOWITZ, Andrew *et al.* CPU DB: Recording Microprocessor History: With this open database, you can mine microprocessor trends over the past 40 years. **Queue**, v. 10, n. 4, p. 10-27, 2012.

DENG, Ben Lian; DENG, Ben Shen. POLITICAL ECONOMY OF THE SEMICONDUCTOR INDUSTRY AND THE RECENT LIMITED DEVELOPMENT OF THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA. **Revista de Economia Contemporânea**, v. 26, 2022.

DU, Xu *et al.* Integration of Microfluidic Chip and Probe with a Dual Pump System for Measurement of Single Cells Transient Response. **Micromachines**, v. 14, n. 6, p. 1210, 2023.

ERNST, Dieter. From Catching Up to Forging Ahead? China's New Role in the Semiconductor Industry. **Solid state technology May**, 2016.

FOWLER, Alan B. A semicentury of semiconductors. **Physics Today**, v. 46, n. 10, p. 59-62, 1993.

FREDERICO, Guilherme F. *et al.* Guest editorial: Performance measurement in supply chains during disruptions: lessons from the COVID-19 pandemic. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 40, n. 5, p. 1113-1118, 2023.



MULTIDISCIPLINARY SCIENTIFIC JOURNAL

NÚCLEO DO CONHECIMENTO

REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR NÚCLEO DO CONHECIMENTO ISSN: 2448-0959

<https://www.nucleodoconhecimento.com.br>

FUJIWARA, Ayano. An empirical analysis of the impact of semiconductor engineer characteristics on outflows and inflows: evidence from six major semiconductor countries. **SN Business & Economics**, v. 3, n. 6, p. 100, 2023.

GUERTIN, Steven M. **Guideline for Single-Event Effect (SEE) testing of System on a Chip (SOC) devices**. 2018.

HARLAND, John; REICHELT, Ted; YAO, Marissa. Environmental sustainability in the semiconductor industry. In: **2008 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment**. IEEE, 2008. p. 1-6.

HIRAYAMA, Yoshiro *et al.* Semiconductor heterostructure studies using emerging technologies. **physica status solidi (b)**, v. 244, n. 8, p. 2988-3001, 2007.

HISCHIER, Roland *et al.* Grey energy and environmental impacts of ICT hardware. In: **ICT innovations for sustainability**. Springer International Publishing, 2015. p. 171-189.

HOSSAIN, N. *et al.* Advances and significances of nanoparticles in semiconductor applications—A review, **Results Eng.** 19 (2023), 101347. 2023.

HSU, Chia-Wei *et al.* Using the FDM and ANP to construct a sustainability balanced scorecard for the semiconductor industry. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 10, p. 12891-12899, 2011.

HUGGINS, Robert *et al.* Competition, open innovation, and growth challenges in the semiconductor industry: the case of Europe's clusters. **Science and Public Policy**, v. 50, n. 3, p. 531-547, 2023.

JASSEM, Suaad; AZMI, Anna; ZAKARIA, Zarina. Impact of sustainability balanced scorecard types on environmental investment decision-making. **Sustainability**, v. 10, n. 2, p. 541, 2018.

JEVTICS, Dimitars *et al.* Spatially dense integration of micron-scale devices from multiple materials on a single chip via transfer-printing. **Optical Materials Express**, v. 11, n. 10, p. 3567-3576, 2021.

JOHNSTON, Andrew; HUGGINS, Robert. Euro Commentary—Europe's semiconductor industry at a crossroads: Industrial policy and regional clusters. **European Urban and Regional Studies**, p. 09697764231165199, 2023.

JONES, Erick *et al.* Growth Rate Manipulation of Brain Organoid Using Mini RFID Chip. **International Supply Chain Technology Journal**, v. 9, n. 7, 2023.



MULTIDISCIPLINARY SCIENTIFIC JOURNAL

NÚCLEO DO
CONHECIMENTO

REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR NÚCLEO DO
CONHECIMENTO ISSN: 2448-0959

<https://www.nucleodoconhecimento.com.br>

KAI, Koji; FUJISHIMA, Minoru. Prospective Silicon Applications and Technologies in 2025. **IEICE transactions on electronics**, v. 94, n. 4, p. 386-393, 2011.

KUMAR, Aman *et al.* Life cycle assessment for better sustainability: methodological framework and application. In: **Methods in Sustainability Science**. Elsevier, 2021. p. 119-134.

KUMAR, Vinod; KUMAR, Uma. Introduction: Technology, innovation and sustainable development. **Transnational Corporations Review**, v. 9, n. 4, p. 243-247, 2017.

LAW, Simon R. Sobering challenges faced by the brewing industry in a warming world. **Physiologia plantarum**, v. 165, n. 2, p. 131-133, 2019.

LEE, Jung-Bae. Semiconductor Memory Road Map: Advances in Semiconductor Memory. **IEEE Solid-State Circuits Magazine**, v. 8, n. 2, p. 66-74, 2016.

LI, Yin. The Semiconductor Industry: A Strategic Look at China's Supply Chain. In: **The New Chinese Dream: Industrial Transition in the Post-Pandemic Era**. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 121-136.

LU, Wen-Min *et al.* Semiconductor industry supply chain productivity changes: Incorporating corporate green performances. **Managerial and Decision Economics**, v. 44, n. 8, p. 4232-4247, 2023.

LUCCHINI, Nathalie. European technology Policy and R&D consortia: the case of semiconductors. **International Journal of Technology Management**, v. 15, n. 6-7, p. 542-555, 1998.

LUO, Yadong; VAN ASSCHE, Ari. The rise of techno-geopolitical uncertainty: Implications of the United States CHIPS and Science Act. **Journal of international business studies**, p. 1-18, 2023.

LYNN, Leonard H. Technology competition policies and the semiconductor industries of Japan and the United States: a fifty-year retrospective. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 47, n. 2, p. 200-210, 2000.

MAJEROWICZ, Esther; MEDEIROS, Carlos Aguiar de. Chinese industrial policy in the geopolitics of the information age: The case of semiconductors. **Revista de Economia Contemporânea**, v. 22, 2018.

MARUKAWA, Tomoo. From Entrepreneur to Investor: China's Semiconductor Industrial Policies. **Issues & Studies**, v. 59, n. 01, p. 2350001, 2023.



MELONI, Giovanni. A relação entre a guerra comercial e guerra tecnológica na disputa hegemônica entre Estados Unidos e China. 2023.

MOK, Mark Ping Chan *et al.* Chiplet-based System-on-Chip for Edge Artificial Intelligence. In: **2021 5th IEEE Electron Devices Technology & Manufacturing Conference (EDTM)**. IEEE, 2021. p. 1-3.

MZOUGUI, Ilyas *et al.* A strategic approach to safeguard global supply chains against COVID-19 disruptions. **Mathematical Methods in the Applied Sciences**, 2023.

PATRICK, Christopher *et al.* From System-on-Chip (SoC) to System on Multi-Chip (SoMC) architectures: Scaling integrated systems beyond the limitations of deep-submicron single chip technologies. In: **2022 IEEE Symposium on VLSI Technology and Circuits (VLSI Technology and Circuits)**. IEEE, 2022. p. 1-2.

PESCITELLI, Gennaro *et al.* Chiral materials: Recent progress in structural analysis and emerging new technologies. **Chirality**, 2023.

PLEPYNS, Andrius. The environmental impacts of electronics. Going beyond the walls of semiconductor fabs. In: **IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, 2004. Conference Record. 2004**. IEEE, 2004. p. 159-165.

ROCHE, Vincent. Semiconductor innovation: Is the party over, or just getting started?. In: **2018 IEEE International Solid-State Circuits Conference-(ISSCC)**. IEEE, 2018. p. 8-11.

SENGUPTA, Abhronil; ANKIT, Aayush; ROY, Kaushik. Efficient Neuromorphic Systems and Emerging Technologies: Prospects and Perspectives. **Emerging Technology and Architecture for Big-data Analytics**, p. 261-274, 2017.

SHENAI, Krishna. Potential impact of emerging semiconductor technologies on advanced power electronic systems. **IEEE electron device letters**, v. 11, n. 11, p. 520-522, 1990.

DA SILVA, Guilherme Jorge. Semicondutores: um estudo para a China e Estados Unidos nas cadeias globais de valor. **Textos de Economia**, v. 25, n. 2, p. 01-28, 2022.

VERWEY, John. Chinese semiconductor industrial policy: Prospects for future success. **J. Int'l Com. & Econ.**, p. 1, 2019.

WANG, Luming *et al.* On-chip mechanical computing: status, challenges, and opportunities. **Chip**, p. 100038, 2023.



MULTIDISCIPLINARY SCIENTIFIC JOURNAL

NÚCLEO DO
CONHECIMENTO

REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR NÚCLEO DO
CONHECIMENTO ISSN: 2448-0959

<https://www.nucleodoconhecimento.com.br>

WU, Chiu-Hui *et al.* Lessons from the global financial crisis for the semiconductor industry. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 99, p. 47-53, 2015.

WU, Huizhen *et al.* Progress of IV-VI semiconductor research in China. In: **2006 Joint 31st International Conference on Infrared Millimeter Waves and 14th International Conference on Terahertz Electronics**. IEEE, 2006. p. 407-407.

YU, Shimeng; CHEN, Pai-Yu. Emerging memory technologies: Recent trends and prospects. **IEEE Solid-State Circuits Magazine**, v. 8, n. 2, p. 43-56, 2016.

ZHAO, Chen *et al.* Recent Advances in Sensor-Integrated Brain-on-a-Chip Devices for Real-Time Brain Monitoring. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, p. 113431, 2023.

ZHU, Shikai *et al.* Mini-Review of Best Practices for Greenhouse Gas Reduction in Singapore's Semiconductor Industry. **Processes**, v. 11, n. 7, p. 2120, 2023.

ZOU, Fengjiao. Research on Electronic Information Hardware Intelligent Terminal Based on Computer 5G Communication Technology. In: **2023 IEEE 3rd International Conference on Electronic Technology, Communication and Information (ICETCI)**. IEEE, 2023. p. 834-838.

Enviado: 20 de setembro de 2023.

Aprovado: 24 de outubro, 2023.

¹ Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de Sistemas. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8507-5412>. Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2478718201454386>.

² Mestre em Educação Física, Licenciado em Educação Física, Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de Sistemas. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9659-7590>. Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5921069151300130>.

³ Orientadora. Pós-Doutora no Instituto de Física; Doutora em Química Inorgânica, Mestre em Química Inorgânica, Graduada em Química. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7511-0077>. Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0609398613526648>.