

PROBLEMA DE SEQUENCIAMENTO EM PROJETOS COM RESTRIÇÃO DE RECURSOS APLICADO A PRODUÇÃO DE BATERIAS PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS

Clarisse da Silva Vieira

Universidade Federal de Ouro Preto

R. Diogo de Vasconcelos, 122, CEP 35400-000 - Ouro Preto, MG, Brasil

clarisse@ufop.edu.br

Leonardo Felipe da Conceição Braga

Universidade Federal de Ouro Preto

R. Diogo de Vasconcelos, 122, CEP 35400-000 - Ouro Preto, MG, Brasil

leonardo.braga@aluno.ufop.edu.br

Mateus Júnio Pires Guimarães

Universidade Federal de Ouro Preto

R. Diogo de Vasconcelos, 122, CEP 35400-000 - Ouro Preto, MG, Brasil

mateus.guimaraes@aluno.ufop.edu.br

Otávio Dutra Mendes

Universidade Federal de Ouro Preto

R. Diogo de Vasconcelos, 122, CEP 35400-000 - Ouro Preto, MG, Brasil

otavio.mendes@aluno.ufop.edu.br

Tiago de Castro Ribeiro dos Santos

Universidade Federal de Ouro Preto

R. Diogo de Vasconcelos, 122, CEP 35400-000 - Ouro Preto, MG, Brasil

tiago.castro@aluno.ufop.edu.br

RESUMO

Um dos gargalos para a transição energética da indústria automobilística é a autonomia das baterias dos veículos elétricos. Contribuições para racionalizar o processo produtivo das baterias podem significar economia de tempo e recursos, permitindo que o foco da indústria se concentre no aperfeiçoamento da tecnologia de armazenamento energético. Nesse sentido, este artigo aplica a Programação Linear Inteira Mista para modelar e resolver o Problema de Sequenciamento em Projetos com Restrição de Recursos (PSPRR) da produção de baterias para automóveis elétricos. Dois cenários produtivos foram analisados e comparados, considerando relações de precedência entre atividades e limitações de recursos. O resultado demonstra a importância do PSPRR para o planejamento produtivo, permitindo à indústria antecipar desafios e testar diferentes cenários para uma produção otimizada.

PALAVRAS CHAVE. Sequenciamento; Alocação; Veículo Elétrico.

Tópicos (AD&GP - PO na Administração e Gestão da Produção, OA - Outras Aplicações em PO)

ABSTRACT

One of the bottlenecks in the energy transition of the automotive industry is the autonomy of electric vehicle batteries. Contributions to streamlining the battery production process can result in time and resource savings, allowing the industry to focus on improving energy storage technology. In this context, this article applies Mixed-Integer Linear Programming to model and solve the Resource-Constrained Project Scheduling Problem (RCPSP) in the production of batteries for electric vehicles. Two production scenarios were analyzed and compared, considering precedence relationships between activities and resources limitations. The results highlight the importance of RCPSP for production planning, enabling the industry to anticipate challenges and test different scenarios for optimized manufacturing.

KEYWORDS. Scheduling; Allocation; Electric Vehicle.

Paper topics (AD&GP, OA)

1. Introdução

Nos últimos anos, os veículos elétricos despontaram como uma solução promissora para a mobilidade sustentável, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis e mitigando impactos ambientais. No entanto, a transição para uma frota eletrificada exige um planejamento detalhado em todas as etapas produtivas, especialmente na fabricação de baterias, elemento crucial para o desempenho e autonomia dos automóveis elétricos. Esse contexto reforça a necessidade de estratégias eficientes de gestão e otimização da produção, garantindo um fluxo contínuo e eficiente de montagem. Estudos recentes destacam a importância da otimização da produção de baterias de íon-lítio, utilizando abordagens baseadas em aprendizado de máquina para aprimorar o desempenho eletroquímico das células e aumentar a eficiência do processo produtivo [Duquesnoy et al. 2023].

As baterias dos veículos elétricos representam um dos componentes mais complexos e críticos do sistema automotivo. Elas são compostas por múltiplas células de íon-lítio organizadas em módulos e pacotes, demandando rigoroso controle de qualidade e eficiência energética. O processo de fabricação envolve diversas etapas, desde a preparação e inspeção dos materiais até a montagem final e embalagem. A complexidade desse fluxo produtivo impõe desafios significativos no que diz respeito ao uso eficiente dos recursos, tempos de processamento e execução das atividades. Para lidar com tais desafios, a aplicação de ferramentas avançadas de sequenciamento produtivo se torna indispensável. Nesse contexto, estudos apontam que a identificação eficiente de parâmetros em modelos eletroquímicos pode ser aprimorada por meio da otimização Bayesiana, permitindo um melhor monitoramento e controle das baterias de íon-lítio durante sua fabricação [Pi et al. 2024].

O Problema de Sequenciamento em Projetos com Restrição de Recursos (PSPRR) surge como uma abordagem fundamental para otimizar o sequenciamento das atividades no processo produtivo das baterias, minimizando o tempo total de duração do processo e garantindo que os recursos disponíveis sejam alocados da maneira mais eficiente possível. Através de modelos matemáticos e métodos de programação, é possível estabelecer uma ordem lógica para a obtenção da solução, evitando gargalos e otimizando a utilização de operadores e equipamentos. A literatura destaca a importância do desenvolvimento de técnicas de sequenciamento para a programação eficiente da produção industrial, evidenciando seu impacto na melhoria dos resultados empresariais e na redução dos custos operacionais [Araujo et al., 2019].

No contexto da fabricação de baterias, a aplicação do PSPRR auxilia na gestão do tempo de processamento de cada atividade, levando em consideração as restrições de precedência entre as etapas, a disponibilidade de operadores e as limitações de infraestrutura. Dessa forma, o planejamento adequado não apenas reduz os custos de produção, mas também assegura maior previsibilidade na entrega dos componentes, fator essencial para a competitividade das montadoras de veículos elétricos. Além disso, estudos recentes mostram que problemas integrados de produção e gestão de estoques são essenciais para lidar com a incerteza da demanda e garantir a eficiência no planejamento produtivo [Cruz et al. 2023].

Este trabalho irá utilizar a Programação Linear Inteira Mista (PLIM) para modelar o Problema de Sequenciamento em Projetos com Restrição de Recursos (PSPRR), com o objetivo de contextualizar a importância do planejamento produtivo na fabricação de baterias para veículos elétricos, destacando a relevância do problema e sua aplicação no sequenciamento das atividades desse setor, bem como na alocação dos recursos. Através do modelo matemático de PLIM, baseado em Vieira et al. (2011), e técnicas de otimização, usando a linguagem MPL e o otimizador GLPK 4.4, será possível demonstrar como um planejamento eficiente impacta diretamente na redução do tempo de produção e no melhor aproveitamento dos recursos disponíveis. Esses resultados serão visualizados através de Diagramas de Gantt, representando as soluções ótimas obtidas e consolidando a manufatura de baterias como um processo cada vez mais inovador e competitivo no mercado global.

2. Referencial Teórico

O Problema de Sequenciamento em Projetos com Restrição de Recursos (PSPRR) - *Resource Constrained Project Scheduling Problem* (RCPSP) pode ser definido, de forma ampla, pelos esforços na otimização do sequenciamento das atividades de um projeto para minimizar o tempo total de execução (*makespan*), considerando todas as restrições de recursos [Golab et al. 2023].

Segundo [Brucker et al. 1998] e [Carrier e Néron 2003], o PSPRR é definido, matematicamente, por um conjunto de atividades, $V = (1, 2, \dots, n)$, e um conjunto de recursos renováveis, $R = (1, \dots, m)$. Cada atividade i do projeto necessita de uma quantidade constante do recurso (rik) para ser executada. A atividade i é executada sem ser interrompida em pi unidades de tempo. Cada tipo de recurso está disponível em uma quantidade constante de unidades (Rk). Os valores de Rk , rik e pi são maiores ou iguais a zero. Algumas relações de precedência entre as atividades são definidas a priori. O objetivo é determinar a data de início para cada atividade do projeto, de forma que a quantidade de cada tipo de recurso utilizada, durante um determinado período de execução, seja menor ou igual à quantidade total disponível deste recurso, todas as relações de precedência devem ser respeitadas e a duração total do projeto seja minimizada.

A representação gráfica de um projeto pode ser feita por dois tipos de diagramas de rede de sequenciamento de projetos, chamados atividade no nó (AoN) e atividade no arco (AoA), para conduzir cálculos e explicar a estrutura de um projeto. Os diagramas representam a ordem em que as atividades devem ser sequenciadas de acordo com a precedência lógica existente entre as atividades do projeto. Um diagrama de atividade AoN geralmente consiste em nós que representam atividades e setas que mostram as relações entre as atividades [Golab et al. 2022]. Já AoA as atividades são representadas por arcos e as dependências são indicadas pela conexão entre os nós, através dos arcos, sem englobar o fluxo de recursos entre cada etapa.

Esse problema pode representar muitas situações práticas. Os autores [Hongyan Ding 2022], [Cunbo Zhuang 2023] e [Jianhua Liu 2023], no artigo *Automation in Construction*, relatam o Problema de Sequenciamento de Projetos com Restrições de Recursos (PSPRR) no contexto da construção civil, destacando a importância da otimização dos cronogramas de projetos, considerando as limitações de recursos e as precedências das atividades. A pesquisa é baseada em uma Revisão Sistemática da Literatura, que analisa publicações relevantes entre 2012 e 2022. O estudo identifica e classifica os objetivos de pesquisa no PSPRR, que consideram trade-offs entre tempo, custo e recursos.

A Revisão Sistemática da Literatura é dividida em três fases: planejamento, implementação e relato. O artigo detalha o processo de busca e seleção da literatura, que resultou na análise de 209 estudos relevantes, destacando países como China, Irã e Alemanha como os principais contribuidores na área. Em resumo, o artigo enfatiza a relevância do PSPRR na construção civil e a necessidade de inovações nos métodos de solução para melhorar a eficiência e a eficácia do sequenciamento nos projetos.

A análise revela que a maioria dos estudos se concentra em objetivos práticos, como a minimização do tempo total do projeto. O artigo também discute a evolução dos modelos de sequenciamento e a crescente adoção de abordagens dos custos. Apontando as limitações nos modelos atuais e sugerindo as direções para pesquisas futuras, como a necessidade de desenvolver algoritmos de otimização mais robustos e adaptáveis às condições variáveis dos projetos de construção.

Outro exemplo de aplicação do Problema de Sequenciamento em Projetos com Restrição de Recursos (PSPRR) é na produção de baterias para veículos elétricos. Cada etapa do processo, desde a obtenção das matérias-primas até a montagem final dos módulos, está sujeita a restrições de capacidade e tempo. O sequenciamento adequado dessas atividades é fundamental para garantir um fluxo de produção eficiente e evitar gargalos que possam comprometer a entrega final do produto.

A estrutura de uma bateria é composta por módulos que abrigam, por exemplo, células de lítio, conectadas de maneira a maximizar a eficiência energética e a segurança. Durante a montagem, a integração das células nos módulos e no pacote completo da bateria exige um planejamento rigoroso, assegurando que todas as dependências de atividades e os limites de recursos sejam respeitados.

Assim, a montagem de baterias para carros elétricos se configura como um caso representativo do PSPRR, demonstrando a importância da aplicação dos métodos de sequenciamento. Visando aprimorar a eficiência produtiva, atender a demanda e a dinâmica do desenvolvimento tecnológico das baterias de lítio-íon para veículos elétricos, alvo de inúmeros estudos assim como destaca [Bermúdez-Rodríguez e Consoni 2020].

Como o Problema de Sequenciamento de Projetos com Restrições Recursos (PSPRR), segundo [Blazewicz et al. 1983], é um problema NP-difícil, significa que não existem algoritmos que possam resolver todos os casos de forma eficiente em tempo polinomial. A complexidade do PSPRR aumenta significativamente com o número de atividades e restrições, tornando a busca por soluções ótimas um campo ativo de pesquisa.

Uma alternativa inovadora, proposta por [Saad et al. 2021], é o Algoritmo Genético Inspirado em Quântica (QIGA), que adapta conceitos da mecânica quântica, como superposição e portas quânticas, para melhorar a diversidade populacional e a qualidade das soluções em problemas de PSPRR. Os autores demonstraram que o QIGA supera outros algoritmos evolutivos em termos de desempenho, utilizando conjuntos de dados de benchmark como PSPLIB.

Além disso, a pesquisa destaca a importância da combinação de algoritmos quânticos com técnicas clássicas, mostrando que essa hibridização pode resultar em soluções mais eficazes para problemas complexos de otimização. As contribuições de [Saad et al. 2021] são significativas, pois não apenas avançam o conhecimento teórico, mas também oferecem ferramentas práticas para a gestão de projetos, melhorando a eficiência na alocação de recursos.

No entanto, a programação clássica ainda é bastante usada e importante para a obtenção da solução ótima de problemas reais, modelados como o PSPRR, devido principalmente, a falta de investimentos em hardwares e softwares capazes de utilizar o QIGA. Assim, muitos métodos exatos e heurísticos convencionais são ferramentas importantes para resolver problemas modelados matematicamente como o PSPRR.

3. Modelo de Programação Linear Inteira Mista Proposto para o PSPRR

O modelo proposto utilizado é apresentado a seguir [Vieira et al. 2011]:

$$\min S_t \quad (1)$$

$$x_{ij} = 1 \quad \forall (i, j) \in E \quad (2)$$

$$x_{ji} = 0 \quad \forall (i, j) \in E \quad (3)$$

$$S_j - S_i - p_i - x_{ij} \left(\sum_{l \in V} p_l \right) + \left(\sum_{l \in V} p_l \right) \geq 0 \quad \forall i \in V \cup \{s\}, \forall j \in V \cup \{t\}, i \neq j \quad (4)$$

$$f_{ijk} - (\max\{r_{ik}\}) \cdot x_{ij} \leq 0 \quad \forall i \in V \cup \{s\}, \forall j \in V \cup \{t\}, \forall k \in R, i \neq j \quad (5)$$

$$\sum_{j \in V \cup \{t\}} f_{ijk} = r_{ik} \quad \forall i \in V \cup \{s\}, \forall k \in R, i \neq j \quad (6)$$

$$\sum_{j \in V \cup \{s\}} f_{ijk} = r_{jk} \quad \forall j \in V \cup \{t\}, \forall k \in R, i \neq j \quad (7)$$

$$S_i \geq 0 \quad \forall i \in V \cup \{s\} \cup \{t\} \quad (8)$$

$$f_{ijk} \geq 0 \quad \forall i \in V \cup \{s\}, \forall j \in V \cup \{t\}, \forall k \in R \quad (9)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in V \cup \{s\}, \forall j \in V \cup \{t\} \quad (10)$$

Considerando:

$V = \{1, 2, \dots, n\}$: conjunto de n atividades do projeto;

$R = \{1, 2, \dots, m\}$: conjunto de m recursos renováveis;

E : conjunto das atividades cuja relação de precedência é conhecida *a priori*;

s e t : atividades fictícias que representam, respectivamente, o início e o fim do projeto;

r_{ik} : quantidade do recurso renovável k que a atividade i necessita para ser executada;

p_i : tempo de processamento da atividade i ;

f_{ijk} : fluxo do recurso k da atividade i para a atividade j ;

x_{ij} : variável binária que estabelece se a atividade i precede a atividade j ;

S_i : data de início da atividade i .

A função objetivo (1) minimiza a data de início da atividade fictícia final t , consequentemente, a duração total do projeto. As restrições (2) estabelecem as relações de precedência definidas *a priori*. O conjunto de restrições (3) fixam os valores das variáveis x_{ij} igual a zero quando a relação de precedência é estabelecida. O conjunto de restrições (4) representam as relações de sequenciamento entre as atividades. As restrições (5) definem o fluxo de recursos entre duas atividades. As restrições (6) e (7) representam que a quantidade de recurso renovável alocada para a execução de uma atividade deve ser a mesma a ser transferida para as atividades sucessoras. Por fim, as restrições (8), (9) e (10) representam os respectivos domínios das variáveis de decisão.

4. Aplicação

Nesse artigo, vamos apresentar o processo de produção de baterias para carros elétricos. Esse é um processo complexo que envolve diversas etapas e restrições de recursos, tornando-se um exemplo prático do Problema de Sequenciamento em Projetos com Restrição de Recursos (PSPRR). Nesse contexto, o PSPRR busca otimizar a sequência de execução das atividades, minimizando o tempo total de conclusão do processo produtivo e garantindo a utilização eficiente dos recursos disponíveis.

O processo produtivo da bateria segue um fluxo estruturado para garantir qualidade e eficiência de acordo com as etapas descritas a seguir:

1. **Preparação dos Materiais:** No início do processo, todos os componentes da célula e da bateria passam por uma preparação e separação dos materiais
2. **Inspeção dos Materiais:** A seguir passam por uma inspeção rigorosa para garantir que atendam aos padrões de qualidade.
3. **Montagem do Módulo:** As células são empilhadas e montadas em módulos, utilizando técnicas como rebite e colagem para garantir estrutura e durabilidade.
4. **Conexão Elétrica:** Os componentes elétricos são integrados ao sistema da bateria, garantindo conectividade segura e funcionalidade adequada.
5. **Teste Funcional:** Materiais compostos térmicos são aplicados para regular a temperatura e evitar superaquecimento. Logo após a bateria passa por verificações de desempenho elétrico e segurança para assegurar sua operação eficiente.
6. **Montagem da Estrutura Externa:** Os módulos de bateria são acomodados na bandeja estrutural, assegurando estabilidade mecânica e segurança.
7. **Revestimento Final:** A vedação da tampa é realizada para impedir entrada de umidade e garantir a durabilidade da bateria.
8. **Embalagem:** O produto é embalado e preparado para distribuição, garantindo que esteja pronto para uso nos veículos elétricos.

A Tabela 1 apresenta todas as atividades do processo com seus respectivos tempos de duração, suas relações de precedência e as relativas quantidades de recursos. O recurso considerado é Operador e a quantidade total disponível é de 3 unidades.

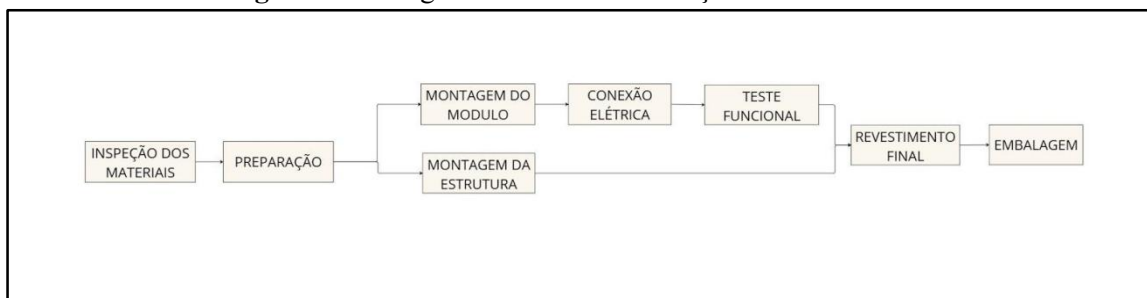
Tabela 1: Dados do processo de fabricação de baterias

Atividade	Tempo de duração (min)	Relação de Precedência	Quantidade de recursos
Preparação de Materiais	30	-	2 operadores
Inspeção de Materiais	20	Preparação de materiais	1 operador
Montagem do Módulo	45	Inspeção de materiais	3 operadores
Conexão Elétrica	40	Montagem do módulo	2 operadores
Teste Funcional	60	Conexão elétrica	1 operador
Montagem da Estrutura Externa	50	Inspeção de materiais	2 operadores
Revestimento Final	35	Teste funcional; Montagem da estrutura externa	2 operadores
Embalagem	20	Revestimento final	2 operados

Fonte: Próprios Autores (2025)

Com base na Tabela 1, a produção das baterias para automóveis elétricos segue um fluxo estruturado de atividades, conforme ilustrado na Figura 1. O processo inicia-se com a etapa de Preparação, seguida pela Inspeção dos Materiais. Em seguida, ocorrem, a Montagem do Módulo, a Conexão Elétrica e o Teste Funcional. A Montagem da Estrutura pode ocorrer simultaneamente a alguma dessas três atividades. Pois, não possui relação de precedência com nem uma delas. Posteriormente, ocorre o Revestimento Final. Por fim, o produto passa pelo processo de Embalagem, concluindo assim o processo produtivo.

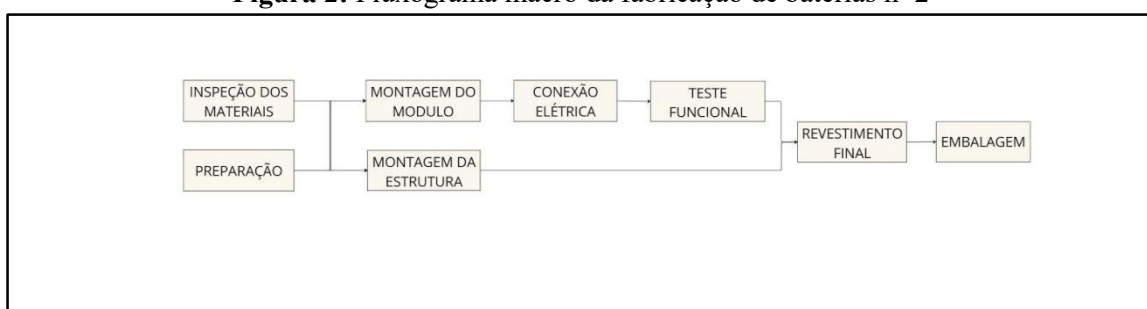
Figura 1: Fluxograma macro da fabricação de baterias nº 1



Fonte: Próprios Autores (2025)

Na Figura 2, a seguir, observa-se uma reorganização da sequência de execução das atividades em relação à Figura 1. Enquanto que, na Figura 1, a Preparação sucede a Inspeção dos Materiais, na Figura 2, ambas as atividades ocorrem de forma paralela. Essa alteração, considerando as mesmas disponibilidades e restrições dos recursos utilizados, possibilitou reduzir o tempo total de conclusão do processo produtivo, sem nem um investimento adicional. Pois, a disponibilidade total do recurso continua sendo igual a 3 unidades.

Figura 2: Fluxograma macro da fabricação de baterias nº 2



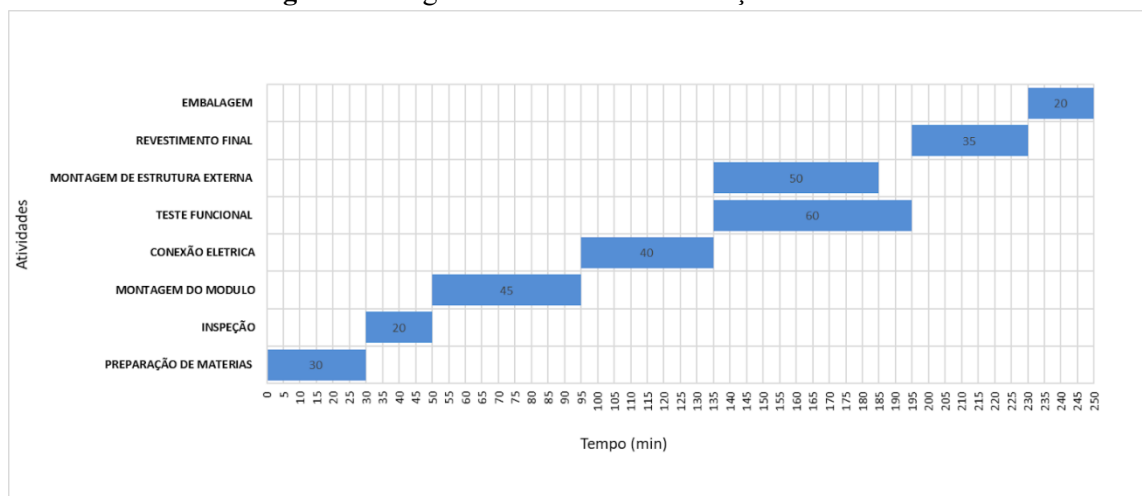
Fonte: Próprios Autores (2025)

5. Discussão dos Resultados

Com base nos dados apresentados, os dois cenários possíveis do problema foram implementados computacionalmente, utilizando a linguagem MPL (*Mathematical Programming Language*) e o otimizador GLPK 4.4 (*GNU Language Program Kit*) que é um pacote livre de otimização para problemas de Programação Linear.

A Figura 3 apresenta o Diagrama de Gantt para fluxograma inicial, Figura 1 (antes da reorganização das atividades). Nele está representada a sequência ótima de execução das atividades, bem como os seus tempos de processamento.

Figura 3: Diagrama de Gantt da fabricação de baterias

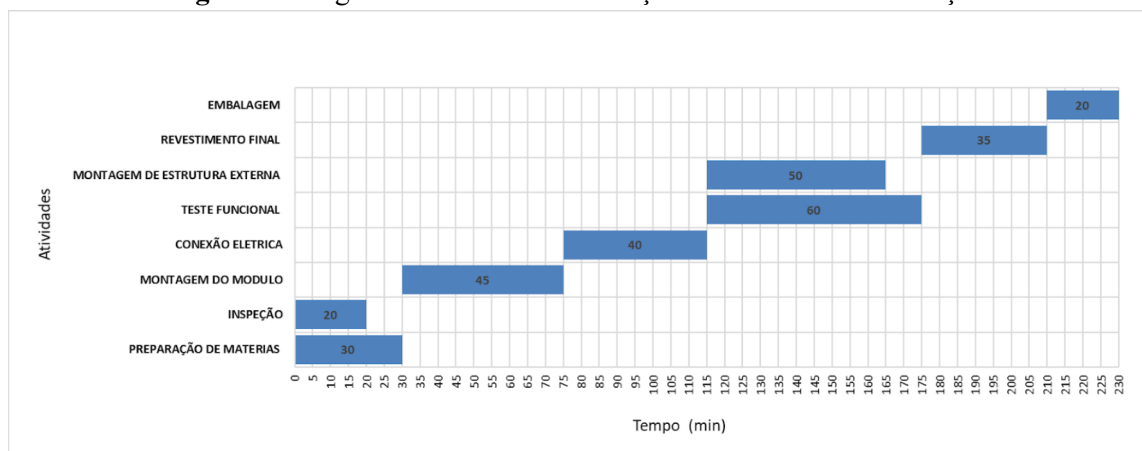


Fonte: Próprios Autores (2025)

O Diagrama de Gantt apresentado ilustra a sequência das atividades envolvidas no processo de fabricação das baterias para carros elétricos, destacando a duração de cada etapa e suas relações de precedência. A linha do tempo, expressa em minutos, permite visualizar o sequenciamento das atividades, garantindo uma melhor compreensão do fluxo produtivo. Inicialmente, a Preparação de Materiais é realizada, seguida pela Inspeção, permitindo a Montagem do Módulo e, posteriormente, a Conexão Elétrica. A partir dessa etapa, as atividades se desdobram, com o Teste Funcional e a Montagem da Estrutura Externa ocorrendo paralelamente. O Teste Funcional termina dez minutos depois da conclusão da Montagem da Estrutura Externa. O Revestimento Final, por sua vez, tem que aguardar a conclusão do Teste Funcional para que seja iniciado, mesmo que a Montagem da Estrutura Externa tenha terminado antes, respeitando desta forma a relação de precedência entre as atividades, permitindo assim que o processo de Embalagem do produto acabado seja realizado. O gráfico facilita a análise da distribuição dos recursos e do tempo total necessário para a conclusão do processo, contribuindo para a otimização da produção.

A Figura 4 apresenta o Diagrama de Gantt para fluxograma da Figura 2 (depois da reorganização das atividades), onde foi feita apenas uma alteração: a Preparação de Materiais e Inspeção são simultâneas. Inicialmente, a Preparação de Materiais é realizada em paralelo com a Inspeção, pois agora não existe mais a relação de precedência entre essas duas atividades. Mesmo com o recurso disponível, existe uma diferença de 10 minutos entre o término destas atividades, tornando necessária a finalização do maior tempo de execução que é de 30 minutos para que a Montagem do Módulo tenha início, visto que a mesma necessita de 3 operadores para sua execução. Assim, respeitando a relação de precedência necessária entre as atividades. Após este ponto, o Diagrama segue da mesma forma que foi apresentado anteriormente.

Figura 4: Diagrama de Gantt da fabricação de baterias com alterações



Fonte: Próprios Autores (2025)

O diagrama de Gantt atualizado evidencia a importância do planejamento adequado para reduzir o tempo total de produção, que antes era de 250 minutos e agora passa a ser de 230 minutos. Essa adequação contribui para a otimização do processo sem comprometer a lógica da produção, impactando também positivamente na alocação eficiente dos recursos e no custo total do projeto.

6. Conclusão

O artigo abordou a importância do Problema de Sequenciamento em Projeto com Restrição de Recursos no processo produtivo de baterias para carros elétricos. Possibilitando o planejamento eficiente do projeto, onde, inicialmente, todas as etapas que envolvem o processo foram definidas, destacando as relações de precedência, os tempos de processamento e os recursos necessários para cada uma dessas atividades. De acordo com esses dados, o problema foi modelado através da Programação Linear Inteira Mista com o objetivo de minimizar a duração total do projeto. A implementação computacional e a resolução do problema possibilitaram a obtenção da solução ótima.

Dessa forma, foi possível avaliar dois cenários viáveis de execução. O primeiro com a duração total do projeto de 250 minutos e o segundo de 230 minutos. A alteração da relação de precedência, entre as duas primeiras atividades do processo, gerou uma melhor alocação dos recursos e uma redução no tempo. Assim, o planejamento, na prática, pode representar uma vantagem financeira competitiva importante. Pois, houve uma redução do tempo total de execução, sem acrescentar recursos adicionais.

Portanto, o PSPRR se mostrou eficaz nesse contexto, estabelecendo o que deve ser seguido no processo produtivo, por meio da melhor alocação dos recursos e relações de precedência entre as atividades. Observou-se que a formulação proposta no modelo disponibilizou o melhor tempo de duração, apresentando o valor ótimo, através da combinação de uma forma diferente de execução das atividades ao longo do projeto. Com isso, pode-se perceber que o planejamento é uma metodologia que propicia vantagens e benefícios produtivos e financeiros em todo o processo produtivo.

Referências

- Araujo, J., Silva, P. e Costa, R. (2019). Strong Bounds for Resource Constrained Project Scheduling: Preprocessing and Cutting Planes.
- Bermúdez-Rodríguez, T. e Consoni, F. L. (2020). Uma abordagem da dinâmica do desenvolvimento científico e tecnológico das baterias lítio-íon para veículos elétricos. *Revista Brasileira de Inovação*. ISSN 2178-2822.
- Blazewicz, J., Lenstra, J. K., & Rinnooy Kan, A. H. G. (1983). "Scheduling subject to resource constraints: classification and complexity". *Discrete Applied Mathematics*, 5, 11–24.
- Brucker, P., Drexl, A., Möhring, R., Neumann, K. e Pesch, E. (1999). Resource-constrained project scheduling: Notation, classification, models, and methods. *European Journal of Operational Research*, 112(1), 3–41.
- Brucker, P. e Knust, S. (2000). A Linear Programming and Constraint Propagation-Based Lower Bound for the RCPSP. *European Journal of Operational Research*, 127, 355–362.
- Carrier, J. e Néron, E. (2003). On Linear Lower Bounds for the Resource Constrained Project Scheduling Problem. *European Journal of Operational Research*, 149, 314–324.
- Cruz, J. A., Luiz e Schenekemberg, C. M. (2023). Um problema integrado de produção e gestão de estoques para um produto perecível: estudo de caso para análises nos níveis de incerteza da demanda. In *Anais do LV SBPO*, Vol 55 - 161097, São José dos Campos - São Paulo.
- Ding, H., Zhuang, C. e Liu, J. (2023). Extensions of the resource-constrained project scheduling problem. *Automation in Construction*, 153.
- Duquesnoy, A., Barcellona, S., Schüller, A., Gollas, B. e Lienhard, M. (2023). Optimization of Electrode Manufacturing for Lithium-Ion Batteries Using Machine Learning-Based Approaches.
- Golab, A., Gooya, E., Falou, A. e Cabon, M. (2023). Uma rede neural convolucional para o problema de programação de projetos com recursos limitados (RCPSP): Uma nova abordagem. *Decision Science Letters*, 12(2), 225–238.
- Pérez Armas, L. F., Creemers, S. e Deleplanque, S. (2024). Solving the resource constrained project scheduling problem with quantum annealing. *Scientific Reports*, 14, 16784.
- Pi, Y., Tarascon, J. M. e Bahlakeh, G. (2024). Efficient Parameter Identification in Electrochemical Models for Lithium-Ion Batteries Using Bayesian Optimization
- Saad, H. M. H., Chakraborty, R. K., Elsayed, S. e Ryan, M. J. (2021). Quantum-Inspired Genetic Algorithm for Resource-Constrained Project Scheduling. *IEEE Access*, 9, 38488–38507. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3062790.
- Vieira, C. S., Montalvão, E. H. R., Martins, F. R., Mattioli, G. G. e Hunckuk, L. H. (2011). Um Modelo de Programação Linear Inteira para o Problema de Sequenciamento em Projetos com Restrições de Recursos. In *Anais do XLIII SBPO*, p. 1263 - 1274, Ubatuba - São Paulo.