

O ECO DA GRADUAÇÃO

20ª Edição



Universidade de Brasília

Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Gestão de
Políticas Públicas

Departamento de Economia

O Eco da Graduação

Vol. 10, Nº. 02, Edição 20

2025

EQUIPE EDITORIAL

EDITORES RESPONSÁVEIS

Daniela Freddo

Andrea Felipe Cabello

CONSELHO EDITORIAL

Juliano Vargas

MEMBROS

Ana Beatriz de Freitas Gomes

Ana Lyvia Kunz Nadler Blower

Arthur Lima Mendes de Oliveira

Cecília Monteiro Marinho

Friedrich Batista Bischof

Josivane Costa Rodrigues

Júlia Barbieri Iwasaki

Júlio César Ribeiro Leite

Luiza Nodari Neves

Weden Douglas Almeida Felacio Crunivel



Sumário

Crises, Stabilizations, and Reforms: An Analysis of Structural Breaks in Latin American Economies (1950–2000).....	5
Mudanças Climáticas e Teoria Dos Incentivos.....	27
Climate Change and Incentive Theory	27
Arquitetura do Atraso: Como a Desigualdade foi impulsionada no Brasil A Partir da Colonização?	55
The Architecture of Economic Backwardness: How Was Inequality Driven in Brazil Starting from Colonization?	55
Usina Integrada de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos: Estudo de Viabilidade Financeira para o Consórcio Municipal de Comares	71
Integrated Plant for Urban Solid Waste Treatment: Financial Viability Study for the Municipal Consortium of Comares	71



Crises, Stabilizations, and Reforms: An Analysis of Structural Breaks in Latin American Economies (1950–2000)

Samuel A. S. Ceccon¹

Resumo: Este artigo investiga as principais mudanças estruturais nas trajetórias macroeconômicas da Argentina, Brasil, Chile e México entre 1950 e 2000. Com base nos dados de PIB real e estoque de capital da Penn World Table 10.01, utiliza-se a metodologia de Bai e Perron (2003), que permite a identificação endógena de múltiplos pontos de quebra em séries temporais. Os resultados apontam para marcos comuns entre os países — sobretudo no início da década de 1980, em meio à crise da dívida externa e ao aumento das taxas de juros nos Estados Unidos —, mas também evidenciam o peso de dinâmicas domésticas, como transições políticas e reformas institucionais. Ao articular indicadores macroeconômicos consistentes com uma estratégia econométrica robusta, o estudo oferece uma perspectiva histórica comparada sobre os impactos simultâneos de choques globais e transformações internas no desenvolvimento econômico da América Latina.

Palavras-chave: América Latina, quebras estruturais, história econômica, Bai e Perron, Penn World Table

Abstract: This paper identifies major structural breaks in the macroeconomic trajectories of Argentina, Brazil, Chile, and Mexico between 1950 and 2000. Using real GDP and capital stock data from Penn World Table 10.01, it applies the Bai and Perron (2003) methodology, which endogenously detects multiple breakpoints in time series. The results reveal shared turning points—especially in the early 1980s, amid the debt crisis and rising U.S. interest rates—but also highlight the role of domestic factors such as political transitions and institutional reforms. By combining consistent macroeconomic indicators with a robust econometric approach, the study offers a comparative historical perspective on how global shocks and national shifts jointly shaped Latin America’s economic path.

Keywords: Latin America, structural breaks, economic history, Bai and Perron, Penn World Table

JEL Codes: N16, C22, O11

¹ Universidade de Brasília



1. Introduction

Latin America's economic trajectory in the second half of the twentieth century was characterized by distinct turning points, encompassing phases of rapid growth, deep crises, and substantial structural reforms. These critical moments reflect fundamental shifts in the region's macroeconomic regimes, including the ascent and decline of the import substitution industrialization (ISI) model, the debt crisis of the 1980s, and the liberalization reforms implemented during the 1990s. These turning points can be understood as structural breaks - abrupt and enduring changes in the underlying parameters of economic time series, such as shifts in the mean or trend, signaling significant transformations in the prevailing economic environment. Detecting these structural breaks is especially crucial in periods marked by historical instability, where recurrent external shocks and institutional reforms have generated persistent and profound effects over time.

Despite the frequency and magnitude of these changes, there is limited empirical work that systematically analyzes structural breaks across Latin American countries using consistent macroeconomic indicators. To empirically capture these turning points in the region, this paper addresses the following questions: When did major structural breaks occur in Latin American economies during the second half of the 20th century, and to what extent were these breaks common across countries or shaped by domestic factors? The Bai and Perron (2003) methodology can be used for detecting multiple structural breaks in time series to a panel of four Latin American countries—Argentina, Brazil, Chile, and Mexico—using data from the Penn World Table 10.01 (PWT 10.01; Feenstra, Inklaar e Timmer, 2015) covering the period 1950–2000. We focus on the growth of two key macroeconomic indicators: real GDP and capital stock.

By identifying and comparing the timing of breaks across countries, this study contributes to a better understanding of how common externalities interacted with country-specific changes, including political transitions and institutional reforms. In doing so, it adds a historical and empirical dimension to the literature on macroeconomic volatility and development in emerging markets.

2. Literature Review

The analysis of structural changes in linear regression relationships has been a central topic in statistical and econometric research (Zeileis *et al.*, 2003). A structural break is understood as a sudden and persistent change in the parameters of a time series, such as its mean or variance. According to Stock and Watson (2004), these parameter changes can occur either at a precise date or evolve gradually over a period. Timmermann (2001) argues that the main difference between a structural break and a one-time shock is that the former has a lasting effect on macroeconomic dynamics.



Shikida, Paiva, and Araujo (2016) classify methods for detecting structural breaks into three main categories: (1) tests for the existence of structural breaks; (2) tests for estimating the break dates; and (3) tests examining the relationship between unit roots and structural breaks. Early methods for identifying structural breaks relied on F-statistics developed by Chow (1960) and Quandt (1960). These methods compare a restricted model—estimated up to a candidate break date—with an unrestricted model that uses the entire sample, with the null hypothesis being no break (Hansen, 2001). However, a key limitation of these early approaches is their reduced power when multiple breaks are present but not accounted for, which can lead to underdetection of structural changes (Shikida, Paiva, and Araujo, 2016).

Regarding tests that estimate break dates, the foundational framework was developed by Bai (1994) and later extended to multiple breaks by Bai (1997a, 1997b) and Bai and Perron (1998, 2003) (Zeileis *et al.*, 2013). Bai and Perron (2003) propose an algorithm that identifies multiple structural breaks by dividing the sample into candidate segments, estimating parameters using ordinary least squares (OLS), and computing the residual sum of squares (RSS) for each. The break dates are then selected to minimize the total RSS across the entire sample, ensuring the best fit in the presence of potential breaks (Shikida, Paiva, & Araújo Junior, 2016).

Structural breaks may result from both internal and planned factors—such as deliberate changes in economic policy—and unexpected events, including internal or external shocks. The presence of these breaks can compromise the validity of econometric inferences, as the assumption of parameter stability over time no longer holds. If these changes are not properly accounted for, estimated parameters may be biased and the performance of econometric tests, such as unit root tests, may be adversely affected (Hansen, 2001; Perron, 1989).

In Latin America, the second half of the twentieth century was marked by deep economic and political transformations, many of which likely caused lasting shifts in macroeconomic relationships. Beginning in the 1950s, most countries in the region embraced a development strategy centered on import substitution industrialization (ISI), a model that, according to Tavares (2016), had its roots in the trade disruptions and policy responses of the interwar period, where successive foreign-trade crises between 1914 and 1945 had already exposed the vulnerabilities of export-led growth, pushing governments to adopt protective measures such as import restrictions and exchange-rate adjustments to preserve domestic income. These earlier policies stimulated local production by raising the relative price of imported goods, paving the way for the ISI model that became the cornerstone of Latin America's economic strategy in the postwar decades until its decline in the 1980s.

From the 1960s onward, Latin American countries faced an increasingly polarized political and ideological environment, leading to direct confrontations between right-wing military regimes and revolutionary left-wing movements in several nations. In Brazil, the process materialized with the establishment of a military government in 1964, while in Chile and Argentina similar authoritarian regimes emerged later in the decade, lasting from 1973 to 1990 and from 1976 to 1983, respectively.



Economically, the 1960s marked a period of rapid expansion for Latin America, with average annual growth of around 6.7%, which lasted until the end of the global economic boom in 1973 (Bielschowsky, 2016). During the 1970s, however, the region was hit by three major external shocks that profoundly altered its macroeconomic dynamics: the first oil crisis in 1973, the second oil crisis in 1979, and the sharp increase in U.S. interest rates at the end of the decade.

The 1973 oil crisis led to a sharp increase in oil prices, placing severe balance-of-payments pressures on oil-importing economies across Latin America. According to Bielschowsky (2016), the regional response relied heavily on external borrowing, facilitated by the abundance of petrodollars in international financial markets, as oil-exporting countries recycled their surpluses through international banks eager to lend. The 1979 oil crisis, in turn, caused oil prices to quadruple, directly fueling global inflation and prompting a rise in world interest rates. Consequently, the third and final major external shock of the 1970s that affected Latin America was the decision, made in late 1979, by the Federal Reserve (Fed) Board of the United States to sharply increase interest rates — the so-called *Volcker shock*, named after the Fed Chairman at the time.

The *Volcker shock* aimed to curb the inflationary spiral then affecting the U.S. economy, but it also marked a turning point for Latin America. The sudden tightening of U.S. monetary policy had an immediate impact on the region's debt service, as a large share of its external liabilities had been contracted at floating interest rates. These conditions exposed the region's external vulnerabilities and set the stage for the subsequent debt crisis. Volcker's disinflation policy had severe repercussions for Latin American economies, many of which had accumulated short-term, dollar-denominated loans at variable interest rates throughout the 1970s (Ocampo, 2014).

Despite the circumstances of the global economy, Latin America recorded relatively robust growth between 1974 and 1980, with an average annual rate of 5.1%. This performance, however, contrasts sharply with the subsequent decade, during which the region's average annual growth declined to merely 1.2% between 1981 and 1990. The 1980s crisis pushed most countries to abandon their import substitution industrialization (ISI) models (Bielchowsky, 2016).

As international credit flows contracted, many Latin American governments resorted to “printing money” to finance persistent fiscal deficits, effectively relying on the inflation tax. This policy response led to a rapid acceleration of inflation throughout the region and, in several countries, culminated in severe inflationary crises that eventually escalated into episodes of hyperinflation, as in Argentina in 1985 and 1989, and Brazil in 1990². Thus, it is not surprising that the 1980s came to be remembered as Latin America's “lost decade,” characterized by chronic inflation, low economic growth, and a prolonged external debt crisis.

² Earlier episodes of hyperinflation had already occurred in the region, notably in Chile in 1973 and in Argentina in 1975, following periods of fiscal imbalances and monetary expansion prior to the debt crisis of the 1980s.



As noted by Bielschowsky (2016), the period from 1985 to 1990 brought increasing relief for Chile and Mexico. However, most countries in the region only emerged from the crisis after the debt renegotiations under the Brady Plan³ in 1989–1990, the new international financing environment that followed the sharp decline in interest rates during the 1990s, and the implementation of structural reforms, including trade and financial liberalization, privatization, and greater labor market flexibility.

Stabilization plans were generally associated with fiscal discipline but often coincided with a widening of the current account deficit, largely due to the generalized appreciation of the exchange rate. This appreciation reflected strong inflows of foreign financing frequently used to control inflation and was reinforced by substantial foreign direct investment, partly linked to privatizations. As a result, the region's external vulnerability continued to pose a threat to macroeconomic stability. The crises in Mexico and Argentina in 1994–1995, followed by the Asian crisis of 1997–1998, underscored these concerns. Overall, the 1990s saw a moderate economic recovery accompanied by significant price stabilization, with average GDP growth of 3.5% between 1990 and 1997.

All these episodes can be identified as potential structural breakpoints in the macroeconomic series of Latin American countries, as they triggered profound changes in their economic, social, and political environments. Detecting these structural breaks is thus essential for understanding how external shocks and institutional changes shaped the region's economic trajectory. Table 1 summarizes key economic events across four Latin American countries.

By combining empirical identification of structural breaks with a historical review of each country's trajectory, this study aims to uncover which shocks were strong enough to trigger lasting changes in macroeconomic indicators. This approach allows for a robust interpretation of growth dynamics and instability in Latin America by linking statistical breakpoints to concrete events—such as crises, regime transitions, or shifts in economic policy.

Table 1 - Major Economic Events in Argentina, Brazil, Chile, and Mexico (1950–2000)

Country	1950	1960	1970	1980	1990	Source
Argentina		1962: Balance of payments crisis	1975: First hyperinflation 1978: Stabilization plan with crawling peg (tablita)	1981: Balance of payments crisis 1982: Banking crisis and default on government debt 1985: Second hyperinflation Stabilization plan (<i>Austral Plan</i>)	1990: Mandatory swap of short-term bank deposits for long-term government bonds (Bonex Plan) 1991: Currency board that pegged the Argentine peso to the U.S. dollar	Buera and Nicolini (2019); Cavallo and Cottani (1997); Dornbush and de Pablo (1990)

³ By 1989, it had become evident to the U.S. government that debtor nations could not repay their loans without jeopardizing economic recovery. The Brady Plan, proposed by Treasury Secretary Nicholas Brady, introduced permanent reductions in loan principal and debt-servicing obligations. Between 1989 and 1994, eighteen countries joined the plan in exchange for commitments to domestic economic reforms. Source: Federal Reserve History, "Latin American Debt Crisis of the 1980s," by Jocelyn Sims and Jessie Romero, November 22 2013, Federal Reserve Board, <https://www.federalreservehistory.org/essays/latin-american-debt-crisis>



				with fixed exchange rate. From 1986 onward, the government adopted mini devaluations to avoid a deterioration of external competitiveness. 1988: New stabilization plan (Spring Plan) 1989: Third hyperinflation	until 2001 (Cavallo Plan) 1993: Public debt refinanced (Brady Plan) 1995: Banking crisis due to an external shock (Mexican devaluation crisis)	
Brazil	1956-1961: Targets Plan	1964: Military Regime, Stabilization Plan (PAEG ⁴) 1965: Establishment of central bank 1968-1970: Strategic Development Program (PED ⁵) 1968: Beginning of “economic miracle”	1972-1974: I National Development Plan (I PND) 1973: End of “economic miracle” 1975-1979: II PND 1979: Maxi-devaluation of the currency ⁶	1982: Default 1986: Stabilization Plan (Cruzado) 1987: Stabilization Plan (Bresser) 1989: Stabilization Plan (Verão)	1990: Stabilization Plan (Collor I) and temporary freezing of private assets 1993: External debt renegotiation (Brady Plan) 1994: Stabilization Plan (Real Plan), adoption of crawling-peg regime and the end of hyperinflation 1999: End of the crawling-peg regime and adoption of the macroeconomic tripod: inflation targeting, a floating exchange rate, and primary surplus targets.	Ayres <i>et al.</i> (2019); Abreu (2014); CPDOC-FGV (n.d.)
Chile		1962: Balance of payments crisis 1966: Moderate success in	1973: Hyperinflation and Military regime 1975: Recession	1981: Inflation stabilized to one-digit levels	1990: Stabilization plan based on exchange rate bands and	Caputo and Saraiva (2019)

⁴ Programa de Ação Econômica do Governo (PAEG) was introduced to stabilize the currency and restore economic growth through structural reforms, such as tax, financial, and capital market reforms, aimed at increasing savings and government revenues. To finance the public deficit in a non-inflationary manner, the government created Obrigações Reajustáveis do Tesouro Nacional (ORTNs) — long-term bonds indexed to inflation (Barbosa, 2014)

⁵ PED aimed to establish the basic objectives that would guide economic policy during the 1968–1970 period. The new development strategy outlined by the program was closely linked to the expansionary cycle of the Brazilian economy observed between 1968 and 1973 (economic miracle). The program sought to define a new economic and social development strategy for the country. Its main components included an investment program focused on strategic sectors and a set of indirect policy tools to influence the private sector (CPDOC – Center for Research and Documentation of Contemporary History of Brazil. Retrieved on November 6, 2025).

⁶ In 1979, the government adopted a price control policy followed by a major currency devaluation: the *cruzeiro* was devalued by 30% against the U.S. dollar in a single move, ending the system of small monthly devaluations that had been in place for more than a decade, in an attempt to influence inflation expectations. At that time, the global economy was heading into recession, driven by the second oil shock and rising interest rates in the United States. The policy proved unsuccessful, leading to a rapid loss of reserves, accelerating inflation, and declining economic growth, which would turn negative in the following years (Abreu, 2014).



		inflation stabilization	1979: Fixed exchange rate to stabilize inflation	1982: Balance of payments crisis and Abandonment of fixed exchange rate regime 1983: First debt restructuring episode 1985: Treasury transfers to Central Bank due to operational losses 1987: Creation of the Copper Stabilization Fund (CSF) 1989: Central Bank independence	declining inflation targets 1999: Abandonment of exchange rate band and Establishment of inflation targeting	
Mexico	1954: Fixed exchange rate	1968: Interruption of oil exports	1973: Oil shock and resumption of exports 1976: Balance of payments crisis and devaluation, and Discovery of oil fields	1982: Balance of payments crisis and devaluation; Default; Capital controls; Nationalization of banks 1987: Stabilization plan, "Pacto Solidaridad"; Establishment of exchange rate bands 1989: Brady Plan	1991: Adoption of exchange rate band 1991–1992: Privatization of banks 1993: Central bank autonomy, mandate to preserve purchasing power of the peso 1994: Balance of payments and financial crisis; Abandonment of exchange rate band 1995: Debt crisis and Clinton bailout; Banks bailout	Meza (2019)

Note. Prepared by the author based on *A Monetary and Fiscal History of Latin America, 1960-2017* by Kehoe and Nicolini (2019)

3. Methodology and Data

To identify structural breaks in macroeconomic relationships in Latin American countries during the second half of the twentieth century, this study employs the methodology proposed by Bai and Perron (2003), which allows for the endogenous detection of multiple breakpoints in time series data.

First, the existence of structural breaks in the series is tested under the null hypothesis of no breaks. The *OLS-CUSUM* and *supF* tests are applied, which detect potential breaks without requiring prior knowledge of their number or location. Once the presence of breaks is confirmed, the Bai and Perron (2003) algorithm is used to endogenously estimate multiple



breakpoints. The optimal number of breaks is selected based on the Bayesian Information Criterion (BIC), which Bai and Perron (2003) demonstrate to be effective in the presence of structural shifts.

This methodology is particularly well-suited for analyzing macroeconomic time series in Latin America. Its ability to identify multiple breakpoints endogenously (i.e., without the need to pre-specify their number or timing) is a key advantage when analyzing long historical series. In contrast, classical methods such as the Chow test require *a priori* knowledge of the breakpoint and only test for a single shift. Similarly, unit root tests with structural breaks (e.g., Vogelsang & Perron, 1998; Saikkonen & Lütkepohl, 2002) typically allow for a single break and are less suited for capturing the multiple regime shifts common in developing economies.

The results are analyzed to trace changes in regression parameters across the identified segments, enabling the association of structural breaks with historical events and broader shifts in economic regimes in Latin America during the studied period.

3.1. Methodology

The model on which the structural break tests are performed is specified as a linear regression of the form:

$$y_t = x_t' \beta_t + \mu_t \quad (t = 1, \dots, n) \quad (1)$$

Where t represents time, y_t is the vector of dependent variables, x_t' is the vector of independent variables, β_t are the estimated coefficients, and μ_t are the residuals. The null hypothesis of the tests is:

$$H_0: \beta_t = \beta_0 \quad (t = 1, \dots, n) \quad (2)$$

That is, the null hypothesis of no structural breaks is tested against the alternative hypothesis that at least one coefficient varies over time. Zeileis *et al.* (2003) propose rewriting model (1) to consider that there are m breaks, so that the equation incorporates $m + 1$ segments in which β takes distinct values:

$$y_t = x_t' \beta_j + \mu_t \quad (t = t_{j-1}, \dots, t_j, \quad j = 1, \dots, m + 1) \quad (3)$$

Where j is the segment index, $T_{(m,n)} = \{t_1, \dots, t_m\}$ is the set of breakpoints (m – *partition*), and by convention, $t_0 = 0$ e $t_{m+1} = n$ (Zeileis *et al.*, 2003).

Zeileis *et al.* (2003) present two approaches to test for structural breaks: (i) tests based on the F-statistic; and (ii) tests of generalized fluctuations.



The F-statistics test against the alternative hypothesis of a single structural change at an unknown point in time, that is, model (3) with $m = 1$ (Zeileis *et al.*, 2003). Tests for this alternative are based on a sequence of F-statistics for a change at time t : the residuals of the ordinary least squares, $\hat{\mu}(t)$, obtained from a segmented regression—i.e., a regression for each subsample with a breakpoint at t — are compared to the residuals $\hat{\mu}$ of the unsegmented model through:

$$F_t = \frac{\hat{\mu}'\hat{\mu} - \hat{\mu}(t)'\hat{\mu}(t)}{\frac{\hat{\mu}(t)'\hat{\mu}(t)}{n - 2k}} \quad (4)$$

These F-statistics are computed for segments $t = n_h, \dots, n - n_h$ ($nh \geq k$) and the null hypothesis H_0 is rejected if the supremum function (i.e., or the average or exponential function) exceeds the critical values (Zeileis *et al.*, 2003). In practical applications, $n_h = nh$ is a trimming parameter that can be chosen by the researcher — typically, $h = 0.1$ or $h = 0.15$. Bai and Perron (1998) extend this approach to F-tests between 0 and l breaks, and between l e $l + 1$ breaks, respectively, with l being fixed but arbitrary (Zeileis *et al.*, 2003).

Regarding fluctuation tests, the *OLS-CUSUM* test will be applied, which is based on the cumulative sums of standardized residuals obtained through Ordinary Least Squares

$$W_n^0(t) = \frac{1}{\hat{\sigma}\sqrt{n}} \sum_{i=1}^{nt} \hat{\mu}_i \quad (0 \leq t \leq 1) \quad (5)$$

The limiting process for $W_n^0(t)$ is a standard Brownian bridge $W^0(t) = W(t) - tW(1)$, where $W(\cdot)$ represents a standard Brownian motion. Under the null hypothesis, the cumulative sum of residuals $W_n^0(t)$ follows this process, while under the alternative hypothesis, it crosses the process boundaries indicating a structural break. The test not only helps identify the number of breaks (how many times the process crosses the boundaries) but also indicates their locations (Zeileis *et al.*, 2003).

Regarding the Bai-Perron (2003) algorithm for identifying structural break dates, Zeileis *et al.* (2003) explain that, based on equation (3) and a partition of the time series into segments m — *partition* $t_1, \dots, t_m$, the estimator β_j for each segment can be easily obtained via OLS. The algorithm selects the break dates by minimizing the overall RSS, given by:

$$RSS(t_1, \dots, t_m) = \sum_{j=1}^{m+1} r_{ss}(t_{j-1} + 1, t_j) \quad (6)$$

Where $r_{ss}(t_{j+1} + 1, t_j)$ represents the usual minimum residual sum of squares for the $j - th$ segment. Thus, the problem of identifying the structural break dates consists of finding the breakpoints $\hat{t}_1, \dots, \hat{t}_m$ that minimize the following objective function:



$$(\hat{t}_1, \dots, \hat{t}_m) = \underset{(t_1, \dots, t_m)}{\operatorname{argmin}} RSS(t_1, \dots, t_m) \quad (7)$$

under all segments $(t_1, \dots, t_m)$ with $t_j - t_{j-1} \geq n_h \geq k$.

Bai and Perron (2003) propose a dynamic programming algorithm grounded in Bellman's principle of optimality to identify the m breakpoints that minimize the residual sum of squares in a model with $m + 1$ segments. This procedure requires that each segment has a minimum length of $n \times h$, where h is typically set to 0.1 or 0.15—the same threshold used in F-statistic-based tests. Since the number of breaks m is generally unknown a priori, models with different numbers of breakpoints are estimated, and the optimal specification is selected using an information criterion, such as the Bayesian Information Criterion (BIC).

Once $(\hat{t}_1, \dots, \hat{t}_m)$ has been obtained, confidence intervals for each estimated break date can be constructed using the formulas given in Bai and Perron (1998). As discussed in Bai and Perron (2003), the coverage rates for the estimated break dates are generally adequate, except when the structural change is either too small or too large. In practice, when breaks are very small, the intervals often fail to include the true break date, reflecting the inherent difficulty in detecting weak structural changes. When breaks are very large, the intervals still contain the true value but yield a conservative assessment of precision, overstating uncertainty.

3.2. Data

To identify structural breaks in macroeconomic series of Latin American countries during the second half of the 20th century, this study uses data from the PWT 10.01 covering Argentina, Brazil, Chile, and Mexico from 1950 to 2000. The analysis focuses on key macroeconomic variables listed in Table 2. To improve comparability and interpretability, the variables are transformed using natural logarithms, a common practice in economic literature that helps smooth variance. Log differences are then taken to approximate percentage growth rates, which are particularly useful for capturing macroeconomic dynamics over time.

Table 2 - Variables

Variables	Description (Millions of US\$)	Transformation Applied
<i>rgdpna</i>	Real GDP at 2017 constant national prices	Log difference (real GDP growth)
<i>rnna</i>	Capital stock at 2017 constant national prices	Log difference (capital stock growth)

Note. Prepared by the author.



4. Results

Structural break tests were applied to the log-difference series of real output (*rgdpna*) and capital stock (*rnna*) for Argentina, Brazil, Chile, and Mexico. The analysis began with the application of the *sup-F* and *OLS-CUSUM* tests to detect the presence of structural breaks in the series of interest. Once the existence of breaks was confirmed, the Bai-Perron (2003) procedure was employed to precisely estimate the dates of the structural breaks. The selection of the optimal number of breaks was based on the Bayesian Information Criterion (BIC), which, according to Bai and Perron (2003), performs efficiently in the presence of structural breaks.

The tests identified several episodes of structural breaks throughout the second half of the twentieth century. These episodes largely reflect macroeconomic shocks, political instability, institutional reforms, and regime transitions that shaped the economic trajectory of the region. Table 3 summarizes the breakpoints identified in the series, and the results suggest relevant patterns for understanding the economic evolution of the countries analyzed.

Table 3 - Results of Structural Break Tests

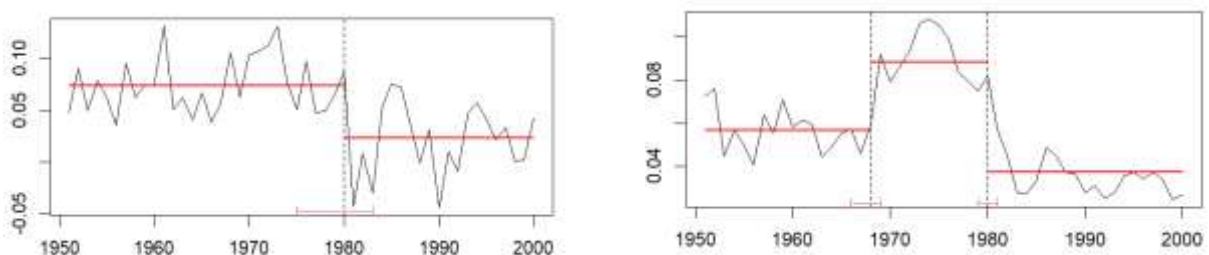
Country/Variable	<i>rgdpna</i>	<i>rnna</i>
Argentina	–	1961, 1980, 1991
Brazil	1980	1968, 1980
Chile	–	1963, 1971, 1988
Mexico	1981	1982

Note. Prepared by the author.

4.1. Brazil

In the case of Brazil, the BIC criterion reached its minimum value when identifying one structural break in the real GDP growth series (*rgdpna*) and two breaks in the capital stock growth series (*rnna*). Figure 1 displays both series with segment means before and after the breaks, the estimated break dates, and their confidence intervals. Table 4 details the break years alongside the 95% confidence interval bounds.

Figure 1 - Structural Breaks in Macroeconomic Series for Brazil (1950-2000):



Note. The left panel shows the real GDP growth series (*rgdpna*), and the right panel shows the capital stock growth series (*rnna*). Prepared by the author.



Table 4 - Break Dates and Confidence Intervals Identified by the Bai-Perron Procedure (2003) (Brazil)

Series	2.5%	Data	97.5%
<i>rgdpna</i>	1975	1980	1983
<i>rnna</i>	1966	1968	1969
<i>rnna</i>	1979	1980	1981

Note. Prepared by the author.

A simultaneous structural break is observed in the analyzed variables in 1980, indicating the exhaustion of the growth model based on external debt and the transition to a period of economic stagnation, high inflation, and increasing fiscal vulnerability—key elements of the so-called “lost decade” in Latin America.

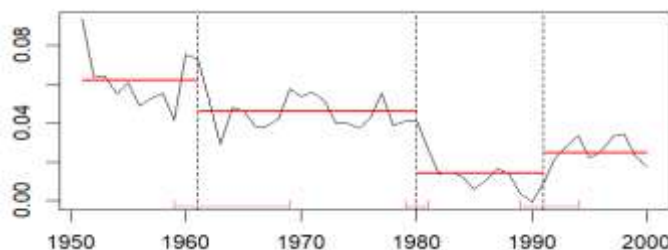
Kang and Pessoa (2024), when investigating structural breaks in the Brazilian per capita GDP growth series from 1901 to 2022, also identify a break in 1980. They argue that this year is a widely recognized turning point in the literature associated with the end of the import substitution industrialization (ISI) model and the beginning of a new macroeconomic environment characterized by persistent imbalances.

Furthermore, the positive structural break observed in 1968 in the capital stock growth series coincides with the onset of the Brazilian “economic miracle” (1968–1973), a period marked by high GDP growth rates (exceeding 10% per year), strong investment expansion, and intensified industrialization under the military regime, which led to an increase in capital stock growth.

4.2. Argentina

In the case of Argentina, structural breaks were identified only in the capital stock growth series (*rnna*). Figure 2 provides details about the series, and Table 5 shows the break years along with the 95% confidence interval limits.

Figure 2 - Structural Breaks in Macroeconomic Series for Argentina (1950-2000)



Note. The panel shows the capital stock growth series (*rnna*). Prepared by the author.



Table 5 - Break Dates and Confidence Intervals Identified by the Bai-Perron Procedure (2003) (Argentina)

Series	2.5%	Data	97.5%
<i>rnna</i>	1959	1961	1969
<i>rnna</i>	1979	1980	1981
<i>rnna</i>	1989	1991	1994

Note. Prepared by the author.

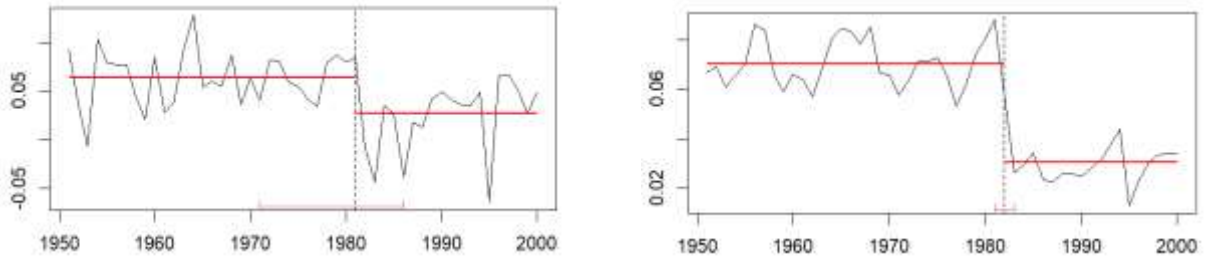
The structural break in 1961 in the capital stock growth series largely reflects the deterioration of the stabilization regime initiated in 1959, which was anchored on a fixed exchange rate to control inflation. According to Buera and Nicolini (2019), the absence of a compatible fiscal adjustment, with a growing primary deficit financed by monetary issuance, triggered capital flight and a rapid drop in international reserves by half throughout 1961. This scenario of exchange rate and fiscal instability reduced incentives for private investment and limited the State's capacity to finance investments, causing the slowdown in capital accumulation observed from that period onward, which helps explain the wide temporal horizon observed in the confidence interval for the structural break.

The break identified in 1980 is associated with the collapse of the stabilization plan based on the “*tablita*,” when, after brief success, fiscal deficits resumed growth and the Central Bank began financing the deficit through the expansion of domestic credit, leading to a fall in reserves and an inflation explosion, negatively impacting the capital stock. Moreover, as in the Brazilian case, 1980 marks the beginning of the so-called “lost decade” throughout the Latin American region.

The positive inflection in 1991, in turn, marks the adoption of the convertibility regime, which fixed the parity between the peso and the dollar and eliminated the Central Bank's monetary financing of the deficit, aiming to break the fiscal dominance cycle and control hyperinflation, which reached over 700% annually in 1990 (Buera & Nicolini, 2019). Additionally, new legislation guaranteed the Central Bank's independence, initiating a regime of monetary dominance that sought economic stability after decades of fiscal and monetary instability. These episodes highlight the importance of exchange rate dynamics and institutional credibility for the evolution of the capital stock in the Argentine economy.

4.3. Mexico

Mexico showed structural breaks in 1981 (*rgdpna*) and 1982 (*rnna*), the early years of the deep balance of payments crisis the country faced. Figure 3 provides details on the series, and Table 6 lists the years of the breaks along with the 95% confidence interval bounds.

**Figure 3** - Structural Breaks in Macroeconomic Series for Mexico (1950-2000)

Note. The left panel shows the real GDP growth series (*rgdpna*), and the right panel shows the capital stock growth series (*rnna*). Prepared by the author.

Table 6 - Break Dates and Confidence Intervals Identified by the Bai-Perron Procedure (2003) (Mexico)

Series	2.5%	Data	97.5%
rgdpna	1971	1981	1986
rnna	1981	1982	1983

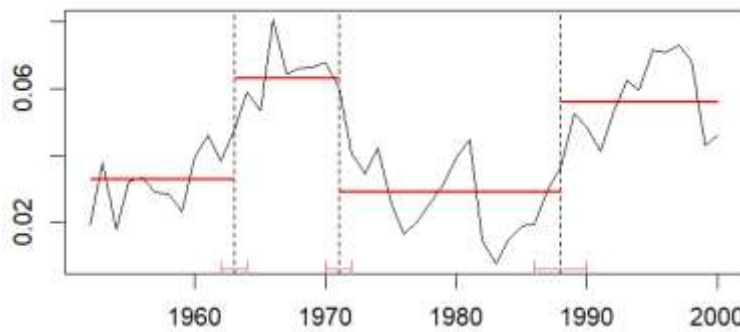
Note. Prepared by the author.

As detailed by Meza (2019), the country experienced an abrupt increase in public spending and debt following the discovery of oil fields in 1976 with the expectation of higher permanent revenues from oil exports. The combination of large primary deficits and external debt financing made the economy vulnerable to adverse external shocks. Starting in 1981, the international environment deteriorated: oil prices began to fall and real interest rates in the U.S. had risen sharply since 1979, increasing the cost of servicing Mexico's debt.

This deterioration in external financing conditions triggered a reversal of the growth cycle: in 1981, real GDP growth started to deviate negatively from the trend, signaling the structural break captured in the data. The following year, with the collapse of the investment model based on oil revenues and external credit, a structural break was observed in capital stock growth, reflecting the contraction of both public and private investment. These two breaks therefore captured different phases: the first, the immediate impact on output; the second, the slower but structural adjustment in capital formation.

4.4. Chile

Chile, similar to Argentina, showed structural breaks only in the capital stock series, with two positive inflections in 1963 and 1988, and one negative inflection in 1971. Figure 4 provides details on the series, and Table 7 presents the years of the breaks along with the 95% confidence interval limits.

**Figure 4** - Structural Breaks in Macroeconomic Series for Chile (1950-2000)

Note. The panel shows the capital stock growth series (*rnna*). Prepared by the author.

Table 7 - Break Dates and Confidence Intervals Identified by the Bai-Perron Procedure (2003) (Chile)

Series	2.5%	Data	97.5%
rnna	1962	1963	1964
rnna	1970	1971	1972
rnna	1986	1988	1990

Note. Prepared by the author.

The positive structural break in the growth of Chile's capital stock in 1963 can be interpreted in light of the macroeconomic context described by Caputo and Saraiva (2019). In the early 1960s, after a stabilization attempt that temporarily reduced inflation, fiscal deficits resumed growth, reaching about 3% of GDP between 1961 and 1964. From 1964 onward, with the arrival of the new government, the role of the state in the economy intensified through a program focused on income redistribution and increasing public investment capacity. In this context, the break observed in 1963 may reflect a turning point in Chilean public policies, marking the beginning of a greater emphasis on state investment and the expansion of the capital stock, even amid persistent fiscal imbalances.

The negative structural break in the growth of Chile's capital stock in 1971 is associated with the economic context of the socialist government led by Salvador Allende, which included structural reforms such as the nationalization of strategic sectors and a strong expansion of public spending, raising the fiscal deficit to 23% of GDP in 1973. Financing this deficit through monetary issuance led to a scenario of hyperinflation and a severe economic crisis marked by strikes and a decline in production, resulting in reduced investment and the observed structural break.

The decline in capital stock growth identified in 1971 was not immediately reversed. Following the establishment of the military government in 1973, the new administration adopted liberal reforms that restricted public investment, which, per the analysis, contributed to the persistence of the negative structural break throughout the 1970s. Despite a significant increase in credit to the private sector and economic activity between 1979 and 1981 — as shown in Figure 4, which displays a rise in capital stock growth during these years — this expansion proved unsustainable



and did not lead to a lasting structural reversal in investment. An abrupt reversal of capital flows, the collapse of the fixed exchange rate regime, and the 1982 financial crisis demonstrated the fragility of this expansion, limiting its effects to the short term.

The structural recovery of capital stock growth in Chile only consolidated starting in 1988, when the economic reforms implemented throughout the 1980s began to show more lasting effects. As highlighted by Caputo and Saraiva (2019), the period between 1974 and 1981 had already been marked by spending cuts and increased public revenues, which partially prepared the ground for post-crisis adjustments. From the end of the decade onward, the confidence of economic agents was reinforced by institutional measures such as granting independence to the Central Bank in 1989, contributing to the resumption of investments and the reversal of the negative trend in capital stock.

5. Discussion

The temporal coincidence of structural breaks in several Latin American countries — particularly in the early 1980s — suggests that these ruptures cannot be attributed solely to domestic dynamics. This period was marked by major external shocks, including the sharp rise in U.S. interest rates and the onset of the Latin American debt crisis. These shocks had widespread effects on investment and economic growth, underscoring the region's structural vulnerability to global financial conditions. The patterns identified highlight the persistent sensitivity of Latin American economies to exchange rate volatility, capital flows, and the monetary policy of advanced economies, especially the United States (e.g., Canova, 2005; Adler, 2014).

Despite some alignment in timing, the results also point to considerable heterogeneity among countries. Many structural breaks appear to be linked to domestic events, such as political regime changes, democratic transitions, military coups, and shifts in economic policy frameworks. These findings indicate that internal factors also played a decisive role in shaping national trajectories, reinforcing the need for a dual lens — domestic and international — in analyzing macroeconomic developments in the region.

From a methodological perspective, these results underscore the importance of accounting for structural breaks in econometric modeling. Ignoring such breaks can compromise inference, particularly in unit root and cointegration tests. Traditional tests that assume parameter constancy may falsely reject stationarity (Hansen, 2001; Perron, 1989). Thus, explicitly incorporating structural breaks is essential to more accurately model economic relationships and avoid misspecification.

While some findings confirm hypotheses long discussed in the literature, the debate remains open and relevant from a historical perspective. As Kang and Pessoa (2024) note, there is still disagreement regarding the timing and interpretation of key macroeconomic shifts. Studies like



this help refine the periodization of structural events and contribute to better-informed public policy by learning from the past and identifying persistent patterns of vulnerability.

Finally, the analysis reveals that capital stock growth exhibited greater volatility than GDP growth. The number of structural breaks in capital stock series was higher, consistent with the literature that identifies investment as one of the most shock-sensitive components of aggregate demand (e.g., Bernanke, 1983; Bloom, 2009). This volatility can be traced to multiple sources, including the collapse of the import substitution model, balance-of-payments crises, and abrupt shifts in external financing conditions. These factors make investment particularly responsive to uncertainty, highlighting the importance of macroeconomic frameworks that enhance predictability and mitigate exposure to external shocks.

6. Final Considerations

This study aimed to contribute to the understanding of Latin America's macroeconomic dynamics by identifying structural breaks in economic growth and capital stock series. By employing a common and internationally standardized dataset — the PWT 10.01 — comparability across countries was ensured, avoiding distortions that could result from heterogeneous national methodologies. This consistency is particularly crucial for regional analyses covering long historical periods.

Instead of focusing on individual country trajectories, the study adopted a regional perspective on structural breaks. By simultaneously analyzing a set of Latin American economies, it was possible to identify patterns of coincident breaks, which point to the impact of common external shocks such as abrupt shifts in global financial conditions, commodity price cycles, or systemic crises. This regional lens is especially pertinent for Latin America, a region historically characterized by external dependence and recurring vulnerability to international volatility. The findings reinforce the importance of regional coordination and institutional resilience in facing global economic disruptions.

A key limitation of this study lies in the absence of explanatory variables in the empirical tests. While the Bai and Perron methodology allows for accurate identification of structural breaks, it does not explain the underlying causes of such shifts. Consequently, the interpretation of results relied on complementary qualitative analysis, drawing from the historical and institutional contexts of each country — including debt crises, regime changes, political transitions, and major reforms. Future research could benefit from integrating explanatory variables directly into the model, thereby allowing for a more detailed investigation of the mechanisms behind the structural changes identified.

As a potential extension, future studies could apply unit root tests with endogenous breaks to analyze the persistence of shocks. These methods allow for testing non-stationarity while accounting for structural breaks that are determined from the data itself. Applying these



techniques in a comparative Latin American context would help distinguish between permanent and transitory shocks and improve the modeling of macroeconomic dynamics in the region.



7. References

- Abreu, M. de P. (2014). *A ordem do progresso: Dois séculos de política econômica no Brasil* (2ª ed.). Editora Campus/Elsevier.
- Adler, G. (2014). Chapter 8. Riding Global Waves: The Impact of External Financial Shocks on Emerging Market Economies. In D. M. Iakova, L. M. Cubeddu, G. Adler, & S. Sosa, *Latin America*. USA: International Monetary Fund.
- Ayres, J., Garcia, M., Guillen, D., & Kehoe, P. (2019). A monetary and fiscal history of Brazil, 1960–2017. In T. J. Kehoe, & J. P. Nicolini, *A monetary and fiscal history of Latin America, 1960–2017* (pp. 133–196). Minnesota: University of Minnesota Press.
- Bai, J. (1994). Least Squares Estimation of a Shift in Linear Processes. *Journal of Time Series Analysis*, 15, 453-472.
- Bai, J. (1997a). Estimating Multiple Breaks One at a Time. *Econometric Theory*, 13, 315-352.
- Bai, J. (1997b). Estimation of a Change Point in Multiple Regression Models. *Review of Economics and Statistics*, 79, 551-563.
- Bai, J., & Perron, P. (1998). Estimating and testing linear models with multiple structural changes. *Econometrica*, 66(1), 47-78.
- Bai, J., & Perron, P. (2003). Computation and analysis of multiple structural change models. *Journal of Applied Econometrics*, 18: 1-22.
- Barbosa, F. H. (2014). Os 50 anos do PAEG. In *Conjuntura Econômica*, 68 (3), 18-19.
- Bernanke, B. S. (1983). Irreversibility, Uncertainty, and Cyclical Investment. *The Quarterly Journal of Economics*, 98(1), 85-106.
- Bielschowsky, R. (Ed.). (2016). *ECLAC Thinking: Selected Texts (1948-1988)*. Santiago, Chile: ECLAC - United Nations.
- Bloom, N. (2009). The Impact of Uncertainty Shocks. *Econometrica*, 77(3), 623-685.
- Buera, F., & Nicolini, J. P. (2019). A monetary and fiscal history of Argentina, 1960–2017. In T. J. Kehoe, & J. P. Nicolini, *A monetary and fiscal history of Latin America, 1960–2017* (pp. 45–82). Minnesota: University of Minnesota Press.
- Canova, F. (2005). The transmission of US shocks to Latin America. *Journal of Applied Econometrics*, 20(2), 229-251.
- Caputo, R., & Saraiva, D. (2019). A monetary and fiscal history of Chile, 1960–2017. In T. Kehoe, & J. P. Nicolini, *A monetary and fiscal history of Latin America, 1960–2017* (pp. 199–242). Minnesota: University of Minnesota Press.
- Cavallo, D. F. & Cottani, J. (1997). Argentina's Convertibility Plan and the IMF. *American Economic Review*, 87(2), 17–22.



Chow, G. C. (1960). Tests of equality between sets of coefficients in two linear regressions. *Econometrica*, 28(3), 591-605.

CPDOC–FGV. (n.d.). Programa Estratégico de Desenvolvimento (PED). Retrieved November 6, 2025, from <https://www18.fgv.br/cpdoc/acervo/dicionarios/verbete-tematico/programa-estrategico-de-desenvolvimento-ped>.

Dornbusch, R., & de Pablo, J. C. (1990). *The Austral Plan*. In J. D. Sachs (Ed.), *Developing Country Debt and Economic Performance, Volume 2: The Country Studies—Argentina, Bolivia, Brazil, Mexico* (pp. 91–114). University of Chicago Press.

Feenstra, R. C., Inklaar, R., & Timmer, M. P. (2015). The Next Generation of the Penn World Table. *American Economic Review*, 105(10), 3150-3182.

Hansen, B. E. (2001). The new econometrics of structural change: Dating breaks in U.S. labor productivity. *The Journal of Economic Perspectives*, 15(4), 117-128.

Kang, T., & Pessoa, S. (2024). Quebras estruturais e crescimento econômico moderno antes de 1930: Uma nota. Trabalho apresentado no 52º Encontro Nacional de Economia. Natal, Brasil: ANPEC.

Kehoe, T. J., & Nicolini, J. P. (2019). *A Monetary and Fiscal History of Latin America, 1960–2017*. Minnesota: University of Minnesota Press.

Meza, F. (2019). A monetary and fiscal history of Mexico, 1960–2017. In T. J. Kehoe, & J. P. Nicolini, *A monetary and fiscal history of Latin America, 1960–2017* (pp. 323–358). Minnesota: University of Minnesota Press.

Ocampo, J.A. (2014). The Latin American Debt Crisis in Historical Perspective. In: Stiglitz, J.E., Heymann, D. (eds) *Life After Debt*. International Economic Association Series. Palgrave Macmillan, London.

Perron, P. (1989). The great crash, the oil-price shock, and the unit-root. *Econometrica*, 57(6), 1361-1401.

Quandt, R. E. (1960). Tests of the hypothesis that a linear regression system obeys two separate regimes. *Journal of the American Statistical Association*, 55(290), 324-330.

Saikkonen, P., & Lütkepohl, H. (2002). Testing for a unit root in a time series with a level shift at unknown time. *Econometric Theory*, v. 18, 313-348.

Shikida, C., Paiva, G. L., & Araújo Junior, A. F. (2016). Análise de quebras estruturais na série do preço do boi gordo no Estado de São Paulo. *Economia Aplicada*, 20(2), 265-286.

Stock, J. H., & Watson, M. W. (2004). *Econometria*. São Paulo: Pearson Universidades.

Tavares, M. C. (2016). The Growth and Decline of Import Substitution In Brazil. In Bielschowsky, R, *ECLAC Thinking, Selected Texts (1948-1998)*, (pp. 129-140). Santiago, Chile: ECLAC - United Nations.



Timmermann, A. (2001). Structural breaks, incomplete information, and stock prices. *Journal of Business & Economic Statistics*, 19.3: 299-314.

Vogelsang, T., & Perron, P. (1998). Additional Tests for a Unit Root Allowing for a Break in the Trend Function at an Unknown Time. *International Economic Review*, v. 39, n. 4.

Zeileis, A., Kleiber, C., Krämer, W., & Hornik, K. (2003). Testing and dating of structural changes in practice. *Computational Statistics and Data Analysis*, 44, 109-123.

Zeileis, A., Leisch, F., Hornik, K., Kleiber, C., & Hansen, B. E. (2013). Package “strucchange”: testing, monitoring, and dating structural changes. CRAN - R-project, URL: <http://cran.r-project.org/web/packages/strucchange/strucchange.pdf>.





Mudanças Climáticas e Teoria Dos Incentivos

Climate Change and Incentive Theory

Caio Antunes Costa Monteiro Chaves

Resumo: Investiga-se os desafios da cooperação internacional frente às mudanças climáticas a partir da ótica da teoria dos incentivos e do desenho de mecanismos. A análise parte da literatura sobre bens públicos globais e acordos ambientais internacionais. Revisita-se o modelo de Martimort e Sand-Zantman (2013), propondo uma modificação que incorpora externalidades positivas locais associadas ao esforço de mitigação. Demonstra-se que a inclusão dessa variável amplia o bem-estar tanto no cenário de *first-best* quanto no de ausência de coordenação, reduzindo o risco de *free-riding*. Além disso, examinam-se dois mecanismos alternativos, um sistema de comércio de permissões de emissão e um menu de dois tipos, que busca compatibilizar incentivos e ampliar a participação de países heterogêneos. Os resultados sugerem que mecanismos simples podem induzir maior cooperação internacional quando desenhados de modo a considerar as externalidades positivas locais, ainda que subsídios inferiores ao nível pigouviano ótimo sejam necessários para garantir adesão.

Palavras-chave: Mudanças climáticas. Teoria dos incentivos. Cooperação internacional. Externalidades.

Abstract: We investigate the challenges of international cooperation in addressing climate change through the lens of incentive theory and mechanism design. The analysis draws on the literature on global public goods and international environmental agreements. It revisits the model proposed by Martimort and Sand-Zantman (2013), introducing a modification that incorporates local positive externalities associated with mitigation efforts. The inclusion of this variable is shown to increase welfare both in the first-best scenario and in the business-as-usual setting, thereby reducing the risk of free-riding. Furthermore, two alternative mechanisms are examined, a tradable permits system and two-type menu mechanism, designed to align incentives and expand participation among heterogeneous countries. The results suggest that simple mechanisms can foster greater international cooperation when local positive externalities are taken into account, even though subsidies below the Pigouvian optimum may be necessary to ensure participation.

Keywords: Climate change. Incentive theory. International cooperation. Externalities.



1. Introdução

O Stern Review (2007)⁷, um relatório encomendado pelo governo britânico ao economista Nicolas Stern, argumenta, com base em critérios econômicos, que os benefícios de uma ação imediata contra as mudanças climáticas superam os custos da inação; considerando crucial o controle das emissões nas próximas décadas. O relatório demonstra uma situação ambiental global mais grave do que inicialmente se projetava, uma vez que as mudanças climáticas apresentam dinâmica exponencial e não linear. Esse fenômeno decorre, entre outros fatores, da liberação de gases poluentes aprisionados nas calotas polares. À medida que ocorre o derretimento dessas massas de gelo, tais gases são liberados na atmosfera, intensificando o ritmo das alterações climáticas.

Do ponto de vista econômico, a resolução desse problema demanda a formulação de acordos que sejam atrativos sob a perspectiva dos incentivos individuais, pois cada país busca maximizar sua própria função de bem-estar, e não uma função global. Dessa forma, caso os benefícios de determinada política não sejam percebidos como vantajosos em âmbito doméstico, dificilmente haverá adesão voluntária a ela.

Por se tratar de um problema de externalidades, alguns autores sugerem soluções fundamentadas no Teorema de Coase. No entanto, tais abordagens têm se mostrado inadequadas no contexto das mudanças climáticas. Isso ocorre porque os principais gases responsáveis possuem efeitos de caráter global: os benefícios de sua mitigação estão difusos entre todas as nações, de modo que o esforço isolado de um único país tem impacto marginal sobre a redução da poluição. Ademais, os direitos de propriedade, pressupostos pela abordagem coaseana, não estão claramente definidos nesse caso.

Alternativamente, mecanismos pigouvianos também se revelam pouco viáveis. A razão central é que os Estados nacionais são entidades soberanas: inexistente uma autoridade supranacional capaz de impor sanções ou tributar de forma coercitiva as emissões. Assim, o instrumento pigouviano encontra severas limitações práticas nesse contexto.

Diante disso, torna-se necessária a formulação de mecanismos auto executáveis. A auto execução é condição essencial, justamente porque não há uma instância central responsável pela aplicação de punições. As sanções, portanto, devem ser desenhadas de forma endógena ao próprio mecanismo.

Um exemplo de proposta nesse sentido é o mecanismo desenvolvido por Martimort & Sand-Zantman (2013) (de agora em diante, modelo MSZ), o qual servirá de referência para nossa análise. Pretende-se expandir tal arcabouço, de modo a investigar novas possibilidades. Antes, contudo, procede-se a uma breve revisão da literatura.

⁷ Acessado no “The National Archives”, do governo britânico. Link inserido a seguir: https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/20100407172811/https://www.hm-treasury.gov.uk/stern_review_report.htm



Este artigo baseia-se no modelo MSZ, adicionando uma consideração para externalidades positivas locais. Na seção 2, faz-se uma revisão de literatura, comentando os principais artigos sobre o tema. Na seção 3, faz-se a nossa versão do modelo. Na seção 4, desenvolve-se como um simples mecanismo de mercado que responde à modificação de modelo. Similarmente, na seção 5, estuda-se como um contrato de dois tipos responde à mesma modificação. Finalmente, na seção 6, traz-se as conclusões e, na seção 7, as referências bibliográficas em que o trabalho foi baseado.

A modificação do nosso modelo comparado ao modelo MSZ foi pequena, porém não tem um impacto uniforme nos resultados. Enquanto alguns resultados permanecem iguais, outros apresentam diferenças não triviais. Além disso, nas conclusões que nossa alteração modifica, o componente ρ não aparece de forma direta simplesmente somando. Embora em alguns resultados o componente apareça somando, em outras aparece de forma quadrática. Com isso, podemos afirmar que os resultados não são de maneira algumas triviais, podendo serem considerados relevantes e dignos de serem levados em consideração.

2. Revisão de Literatura

Arrow e Fisher (1974) investigaram se a presença de incerteza influencia a utilidade esperada ao se proceder ao desmatamento de uma área destinada ao desenvolvimento econômico. Em particular, questionaram se a irreversibilidade da mudança geraria efeitos significativos. Tal questão decorre da própria natureza dos recursos ambientais, que são passíveis de esgotamento definitivo (seja pela sua completa extinção, seja pelo longo período necessário para sua recomposição). Dessa forma, ao desmatar uma floresta no presente, caso se pretenda usufruí-la novamente em condições equivalentes, seria necessário aguardar décadas ou até séculos.

Nesse contexto, a incerteza assume papel relevante na percepção de utilidade dos agentes. Em muitos casos, torna-se preferível adotar um ritmo mais lento de desenvolvimento, a fim de reavaliar, em momento posterior, se a exploração do recurso deve prosseguir ou não. Isso porque o valor do investimento tende a decrescer ao longo do tempo, em função da possibilidade de surgimento de alternativas, ao passo que o valor da preservação cresce em virtude da escassez. À medida que o recurso se torna mais raro, seu valor relativo aumenta.

Todavia, quando o dano causado é reversível, o efeito da incerteza não se manifesta com a mesma intensidade. No âmbito das mudanças climáticas e da poluição, observa-se que alguns efeitos podem ser revertidos, enquanto outros não. Um exemplo de efeito irreversível é o aumento do nível do mar, que ameaça permanentemente a sobrevivência de determinados países insulares. Nesses casos, a incerteza naturalmente reforça a disposição a pagar pela mitigação de emissões. Entretanto, conforme salientam Arrow e Fisher (1974), quando se agregam todos os países, esse “prêmio” adicional dos mais vulneráveis tende a ser diluído, perdendo utilidade prática para fins de acordos multilaterais.



A contribuição central de Krautkraemer (1985), por sua vez, foi demonstrar situações em que o valor da preservação pode, ao contrário, diminuir ao longo do tempo. O autor propõe a criação de amenities que atribuam valor econômico próprio às áreas preservadas, de forma que estas obtenham uma espécie de taxa de retorno. Todavia, tais amenities apenas efetivamente auxiliam na preservação quando há consumo associado a elas. Caso contrário, o desmatamento pode se revelar mais eficiente, ao apresentar valoração mais elevada. Essa conclusão, oposta à de Arrow e Fisher (1974), decorre do fato de Krautkraemer (1985) considerar que, embora os preços das commodities possam cair, o progresso tecnológico tende a elevar a produtividade, tornando, em alguns casos, mais lucrativo explorar completamente o recurso natural.

Não obstante, o autor sugere que a preservação ambiental pode ser assegurada mediante o uso de alternativas renováveis (como água e madeira) ou de tecnologias de substituição (como painéis solares). A existência dessas alternativas rompe a dualidade entre “consumir ou preservar” os recursos finitos, ao ampliar o conjunto de escolhas possíveis.

Buscando conciliar os resultados anteriores, Barrett (1992) desenvolveu um modelo no qual os achados de Arrow e Fisher (1974) e de Krautkraemer (1985) aparecem como casos particulares de uma formulação mais abrangente. O consumo passa a depender da taxa de progresso tecnológico na fronteira e nos setores já desenvolvidos (denominados Y e ω , respectivamente), além de uma constante σ , que converte a taxa de depleção inicial em uma taxa de consumo. O modelo também incorpora a elasticidade da utilidade marginal social do consumo (η) e a taxa de desconto pura do tempo (δ), que expressa o grau de impaciência da sociedade.

Com essa estrutura, Barrett evidencia as limitações dos modelos anteriores. Enquanto Arrow e Fisher (1974) tratavam o desenvolvimento como variável do tipo estoque (terra para agricultura), Krautkraemer (1985) o analisava como taxa (venda de madeira). Ao abarcar simultaneamente ambas as possibilidades, Barrett amplia a robustez da análise.

Por considerar a possibilidade de desenvolvimento como estoque, Barrett (1992) chega a conclusões menos pessimistas do que Krautkraemer (1985). Isso porque a taxa de progresso tecnológico (e o consequente aumento da produtividade) impacta não apenas a exploração como taxa, mas também como estoque. Por exemplo, avanços tecnológicos na agricultura reduzem a necessidade de desmatamento para manter a produção de alimentos, permitindo que o capital desenvolvido sustente o consumo futuro sem esgotar completamente o recurso primário.

Assim, o modelo de Barrett (1992) apoia e expande as conclusões de Arrow e Fisher (1974), ao demonstrar que a preservação pode ser socialmente ótima em uma gama muito maior de situações do que se supunha inicialmente.

O autor ressalta, contudo, que o futuro dos recursos naturais não depende apenas de fatos objetivos, mas também de valores éticos das sociedades em questão. Como não é viável atribuir estimativas confiáveis a parâmetros como η e δ , o modelo reconhece suas limitações. Longe de ser um ponto negativo, essa constatação revela-se uma contribuição relevante, pois permite



distinguir claramente os aspectos normativos dos positivos, favorecendo a análise em suas esferas adequadas.

Outro artigo fundamental para a literatura de modelagem climática é o de Carraro e Siniscalco (1993). Nesse estudo, os autores definem formalmente as condições de estabilidade de coalizões e demonstram como tais coalizões podem ser expandidas por meio de transferências e garantias. O objetivo central é superar uma limitação recorrente da literatura: a exigência de participação universal para a eficácia dos acordos.

Os autores mostram que uma coalizão estável pode ser ampliada mediante transferências a países não participantes, desde que exista algum tipo de garantia. Essa garantia se faz necessária porque a transferência realizada pelos países participantes, na forma de uma taxa T , reduz proporcionalmente o bem-estar deles, criando incentivo à evasão da coalizão. Portanto, torna-se imprescindível assegurar mecanismos que previnam tal instabilidade.

Apesar da incerteza inerente, o artigo demonstra que há possibilidade de expansão da coalizão, inclusive até que todos os países se tornem signatários, desde que a coalizão inicial seja suficientemente ampla. Caso contrário, a taxa T se tornaria excessiva, inviabilizando a adesão.

Um achado notável do estudo é que o aquecimento global não deve ser entendido como um dilema do prisioneiro, conforme sugerido pela “tragédia dos comuns” de Hardin (1968), mas sim como um jogo da galinha. Nesse enquadramento, os países buscam evitar excessos na exploração, de modo que todos se beneficiam quando outro país decide colaborar. Assim, mesmo aqueles com menor incentivo para participar possuem interesse em estimular a adesão alheia.

O artigo formaliza esse raciocínio com um jogo no qual cada país se beneficia quando outro decide ingressar na coalizão. A estrutura de incentivos leva a desigualdades que tornam a não cooperação menos atrativa, enfraquecendo a tese de que a tragédia dos comuns seja inevitável.

No artigo, o jogo é demonstrado da seguinte maneira:

Tabela 1 - Acordos climáticos como um jogo da galinha.

		País h	
		Colaborar	Não colaborar
País i	Colabora	$P(j+1), P(j+1)$	$P(j), Q(j)$
	Não colaborar	$Q(j), P(j)$	$Q(j-1), Q(j-1)$

Considerando o jogo acima em que $P(j+1)$ é o payoff do país X (h ou i) quando ambos os países colaboram. $P(j)$ é quando apenas um deles colabora. $Q(j)$ é o payoff que ele recebe quando o outro país participa, mas ele não, e $Q(j-1)$ é quando nenhum dos dois participam. Sabemos que,



como mostrado ao longo do artigo, não há incentivo para sair do acordo após entrar nele, e o país i ganha quando o país h entra no acordo (e vice-versa). Desse modo, cada país tem incentivo para deixar outro país participar da coalizão, pois o mesmo ambiente é usado por ambos. Formalmente, temos a seguinte desigualdade, do ponto de vista de cada país: $Q(j) > P(j+1) > P(j) > Q(j-1)$. Por isso, a não-cooperação não é a estratégia dominante no jogo.

Além disso, a tragédia mencionada na Tragédia dos Comuns, só ocorreria se a resposta dos países a uma diminuição na poluição dos outros países fosse de desmatar mais. Entretanto, os autores supõem que, na verdade, quando se trata de emissões de gases de efeito estufa (que são os fins do trabalho em questão, pois são os principais contribuintes para a mudança climática), a função de melhor-resposta dos países provavelmente é ortogonal ou quase-ortogonal. Isso significa que o problema carona é menor, pois os “caroneiros” apenas usufruem da diminuição de poluição, sem aumentar as suas emissões como contrapartida.

Helm (2003) analisa o efeito da negociabilidade das cotas de emissão sobre a decisão dos países quanto ao volume de cotas desejado. Antes de prosseguir, o autor destaca duas limitações de seu modelo: (i) pressupõe a existência de uma autoridade central para a determinação das cotas; (ii) exige a concordância unânime de todos os países para a participação.

A literatura até então interpretava que alguns países adotaram cotas menores no Protocolo de Quioto devido à possibilidade de comercialização. O modelo confirma essa hipótese: países mais preocupados com as emissões aceitaram cotas menores, contando com a possibilidade de trocá-las posteriormente; já países menos preocupados receberam mais cotas, vislumbrando benefícios com a venda. O autor menciona Rússia e Ucrânia como exemplos dessa dinâmica.

O estudo evidencia efeitos paradoxais: em algumas situações, a utilidade dos países aumenta com a negociação de cotas, mas as emissões globais também crescem. Helm demonstra que, no regime sem trocas, duas ineficiências surgem: (i) nível excessivo de poluição, já que cada país maximiza isoladamente sua utilidade; (ii) custos globais superiores ao necessário, em razão da heterogeneidade dos benefícios marginais entre países. O regime com trocas busca resolver a segunda ineficiência.

No jogo modelado, nenhum país possui incentivo unilateral para alterar a quantidade de quotas escolhidas, de modo que não há necessidade de que os acordos sejam vinculantes. Parte-se da suposição de que os países efetivamente cumprirão suas quotas, e que aqueles que venderem permissões não poderão fazê-lo sem efetivar a correspondente redução de emissões.

Como esperado, quanto maior a quantidade de quotas concedidas a um país, menor tende a ser o valor de cada uma delas e maior o nível de emissões. Ao maximizar o número de quotas antes das trocas, constata-se que a condição de um país ser vendedor ou comprador de permissões depende de sua função dano, e não de sua função benefício. Verifica-se ainda que os benefícios aumentam de acordo com o valor marginal de cada quota, dependente do preço estabelecido no mercado.



O resultado central é que o incentivo para um país com alto nível de dano ambiental escolher menos quotas é maior quando há possibilidade de trocas, uma vez que seu benefício marginal cresce mais lentamente do que no regime sem negociação.

Outro resultado relevante é que, como mencionado anteriormente, as emissões de equilíbrio em um regime com trocas podem superar aquelas de um regime sem trocas, se o benefício marginal dos países altamente danosos diminuir menos do que aumentar o benefício dos países compradores após a negociação.

O autor também observa que o incentivo para solicitar quotas iniciais adicionais é maior no regime com comércio, pois a queda no preço de mercado das permissões (efeito sobre o benefício marginal) é relativamente pequena. Isso ocorre porque parte das quotas extras pode ser absorvida por outros países via mercado internacional, diluindo o impacto no preço. Já no regime sem comércio, todo o efeito da emissão adicional recai sobre o próprio país, reduzindo de forma direta seus ganhos marginais.

Essa diferença ajuda a explicar por que países com baixos danos ambientais tendem a solicitar quotas em excesso quando há possibilidade de comércio, fenômeno conhecido como *hot air*, observado no contexto do Protocolo de Quioto.

Além disso, três efeitos determinam se um país estará melhor com trocas. Primeiro: o efeito do dano ambiental, que avalia como as emissões totais impactam o bem-estar nacional. Se o nível de poluição com trocas for menor do que sem trocas, há ganho ambiental. Segundo: a eficiência de ganhos da troca. Refere-se ao balanço entre os benefícios ou perdas decorrentes de comprar ou vender quotas em comparação com os ganhos advindos da poluição. E, terceiro, o lucro político-estratégico, que resulta da escolha estratégica de permissões, maior ou menor, em regimes com e sem comércio. Países capazes de vender mais quotas podem auferir ganhos, mesmo que a poluição total aumente.

Com base nesses efeitos, o autor formula a Proposição 4: quando os países escolhem quotas de forma não cooperativa em um regime com trocas, pode-se alcançar maior bem-estar e menores níveis de poluição do que no equilíbrio de Nash do regime sem comércio. Contudo, se as negociações implicarem queda nas emissões, alguns países podem rejeitar o acordo por perceberem redução em seu bem-estar individual. Assim, ainda que as emissões globais aumentem, é possível que todos os países aceitem o regime de trocas por este elevar seus ganhos individuais. Em suma, a decisão dos países é pautada prioritariamente pelo bem-estar doméstico, e não pelo impacto ambiental agregado.

Essa proposição explica por que o sistema de trocas pode funcionar em contextos de escolha descentralizada de quotas. Entretanto, também esclarece por que especialistas permanecem céticos quanto à eficácia desses arranjos, uma vez que eventuais quedas de bem-estar individual limitam a adesão.



De forma agregada, os resultados ajudam a interpretar fenômenos como o excesso de quotas solicitado por Rússia e Ucrânia e a não participação dos Estados Unidos. No caso norte-americano, como país altamente vulnerável a danos ambientais, o bem-estar esperado diminuiria sob o regime de trocas. Ainda assim, admite-se que, de modo geral, o Protocolo de Quioto pode ter contribuído para a redução das emissões.

Helm e Wirl (2011) apresentam como principal contribuição um modelo em que os efeitos multilaterais da poluição desempenham papel central na estrutura de incentivos dos acordos ambientais internacionais. Enquanto os modelos tradicionais supõem que o Principal (país ou bloco negociador) dispõe apenas de instrumentos monetários para incentivar o Agente (outros países), os autores demonstram que o Principal pode, adicionalmente, utilizar a redução de suas próprias emissões como instrumento de incentivo.

Esse mecanismo encontra respaldo empírico: conforme destacam, a União Europeia se dispôs a ampliar sua meta de redução de emissões de 20% para 30% (em relação aos níveis de 1990 até 2020), desde que outros países altamente emissores também se comprometessem a esforços proporcionais. Assim, reduções unilaterais assumem caráter estratégico, funcionando não apenas como contribuição direta, mas também como estímulo à cooperação internacional.

Os resultados do modelo indicam que o Principal pode, de fato, usar sua própria redução de emissões como incentivo eficaz. Ademais, esse arranjo permite revelar o tipo do Agente, isto é, sua preferência privada em relação ao abatimento de poluição. Agentes que atribuem maior valor a reduções ambientais estarão mais dispostos a aderir quando o Principal sinaliza maior comprometimento por meio de suas próprias ações.

Outro resultado relevante é que reduções unilaterais de emissões constituem incentivos mais eficazes do que subsídios monetários. A lógica é que tais reduções têm impacto direto sobre o nível global de poluição, gerando benefícios compartilhados e, ao mesmo tempo, pressionando os demais países a participarem para não ficarem em desvantagem relativa.

O modelo também mostra que o contrato ótimo aloca o abatimento de unidades de forma custo-eficiente, tanto em soluções interiores, quanto nas de canto. Quanto maior o custo marginal de abatimento do Principal em comparação ao Agente, mais “padrão” se torna o contrato, sendo necessário recorrer a subsídios positivos e crescentes, calibrados de acordo com o tipo do Agente.

Além disso, os autores identificam uma forma alternativa de implementação do contrato ótimo por meio de mercados de licenças de emissão. Esse resultado é particularmente relevante, pois tais licenças ocupam posição de destaque tanto nas políticas internacionais quanto nos modelos teóricos de economia ambiental.

Embora apresente contribuições significativas, o modelo de Helm e Wirl (2011) admite espaço para aprofundamentos. Extensões possíveis incluem: (i) maior equilíbrio na distribuição do poder de barganha entre os atores; (ii) a introdução de múltiplos agentes com diferentes



assimetrias informacionais; e (iii) a consideração de mais de dois participantes. Tais extensões, entretanto, aumentariam a complexidade do modelo, reduzindo sua transparência analítica.

Barrett (1994) discute como os acordos ambientais internacionais (doravante AAIs) necessitam ser autoexecutáveis para funcionarem de maneira efetiva. Tal exigência decorre da natureza soberana dos Estados: não há uma autoridade supranacional capaz de impor coercitivamente sanções ou obrigar o cumprimento de compromissos. Assim, os acordos devem ser desenhados de modo a fornecer incentivos para que os países não apenas ingressem, mas também permaneçam neles. Para explorar essas características, o autor apresenta dois modelos distintos.

O primeiro modelo estabelece que o número de países signatários, os termos do acordo e as ações dos não signatários sejam determinados de forma endógena. O mecanismo de incentivo/punição funciona da seguinte forma: quando um país decide se tornar signatário, todos os demais países signatários reduzem suas emissões adicionais. Por outro lado, quando um país abandona o acordo, os outros países elevam suas emissões em resposta. Dessa forma, cria-se um sistema de recompensas e punições automáticas, que deveria, em tese, estimular a adesão e desincentivar a saída.

Contudo, ao longo da análise, Barrett demonstra que as punições e recompensas previstas em tais arranjos dificilmente são suficientemente grandes para garantir a autoexecução do acordo. Ademais, em muitos casos, quando os países já possuem incentivos para cooperar, eles agiriam da mesma forma mesmo na ausência do acordo. Assim, o acordo apenas formalizaria uma situação que ocorreria espontaneamente, sem produzir efeitos adicionais relevantes.

Os acordos com maiores impactos costumam envolver três ou quatro participantes. Entretanto, nesses casos, o efeito positivo tende a ser anulado pela resposta compensatória dos países não participantes, que aumentariam suas emissões para contrabalançar os esforços da coalizão. Essa lógica pressupõe que a função de melhor resposta não seja ortogonal, como sugerem Carraro e Siniscalco (1993). Em acordos com número elevado de participantes, o efeito também tende a ser limitado: ou o acordo é pouco exigente, não provocando mudanças significativas, ou apenas ratifica práticas que já ocorreriam independentemente de sua existência.

O segundo modelo apresentado por Barrett (1994) é um jogo infinitamente repetido. Nesse caso, as punições tornam-se mais críveis, uma vez que a perspectiva de interações contínuas entre os países aumenta o custo do descumprimento. Todavia, esse modelo apresenta limitações importantes: não determina endogenamente o número de signatários, nem os termos contratuais, tampouco as ações dos não signatários. Além disso, como as punições que sustentam a cooperação máxima podem ser vulneráveis a renegociação, a autoexecução ainda não é plenamente assegurada.

Apesar das restrições, o modelo de jogo repetido fornece uma ferramenta útil para calcular o número máximo de países que apoiariam o resultado de cooperação plena. O resultado obtido por Barrett é que, embora seja possível alcançar AAIs com grande número de signatários comprometidos com a cooperação máxima, isso só ocorre quando a diferença entre os



benefícios globais da cooperação e os do não cooperar é relativamente pequena. Quando essa diferença é grande, a cooperação máxima não pode ser sustentada por um AAI autoexecutável.

No plano prático, Bradford (2005) propõe um modelo alternativo ao Protocolo de Quioto. Nessa proposta, em contraposição à determinação arbitrária do volume total de licenças de emissão alocadas a cada país, as nações receberiam licenças suficientes para manter seus níveis de emissão correspondentes ao melhor uso alternativo (*best alternative use* ou *BAU*). A partir desse ponto inicial, negociar-se-iam progressivas reduções dessas licenças, à medida que novas metas fossem sendo estabelecidas. Tais reduções seriam financiadas por um fundo internacional, constituído no âmbito do acordo.

Denominado Global Public Good Purchase (GPGP), esse modelo apresenta duas vantagens principais em relação ao sistema de cap and trade adotado pelo Protocolo de Quioto. A primeira reside na simplificação operacional: como as reduções são custeadas monetariamente, a adesão de cada país torna-se voluntária. Desse modo, em lugar de impor metas específicas de emissão a cada signatário, como em Quioto, o acordo GPGP estabelece uma meta global e explícita a disposição de pagamento, via fundo, para seu atingimento. Consequentemente, a implementação efetiva fica condicionada às decisões individuais de cada nação.

A segunda vantagem consiste na transparência no financiamento do bem público global: neste caso, a mitigação das emissões de gases de efeito estufa. O ônus financeiro deixa de estar implicitamente embutido em metas específicas de emissão ou em compromissos com políticas e medidas, tornando-se explícito. Isso possibilita uma avaliação mais clara sobre quais agentes estão cumprindo suas respectivas parcelas de contribuição financeira. Adicionalmente, amplia-se a clareza a respeito do financiamento a ser recebido pelos países em desenvolvimento, potencialmente aumentando os incentivos para sua participação no regime.

A principal desvantagem do sistema proposto reside na indefinição a respeito dos critérios de contribuição para a composição do fundo internacional, isto é, quem contribuiria com qual montante. Dessa forma, o problema de *free-riding* permanece não resolvido. Outra limitação significativa é a necessidade de recalibrar constantemente as estimativas de *BAU*, uma vez que a alocação inicial de licenças é fundamentada nesse parâmetro.

Em síntese, o sistema em tese configura uma proposta prática para materializar e operacionalizar os direitos de propriedade associados à poluição, conferindo-lhes maior tangibilidade.

Cheikbossian & Sand-Zantman (2010) evidenciam a dificuldade inerente à manutenção de uma estratégia cooperativa quando os países são afetados por um choque comum, sob condições de informação imperfeita. Nesse contexto, amplia-se o escopo para a manipulação informacional, o que confere aos agentes envolvidos incentivos para despendar um nível de esforço abaixo do ótimo social. Essa assimetria ocorre devido à impossibilidade de discernir se um resultado insatisfatório decorre do choque adverso ou do esforço inadequado de um determinado país.



Em contrapartida, quando os choques são não correlacionados entre as nações, a cooperação torna-se mais viável, uma vez que o esforço individual pode ser inferido com maior precisão a partir do produto de cada país. Consequentemente, na ocorrência de choques independentes, a existência de relações repetidas pode expandir o conjunto de resultados de equilíbrio cooperativo, desde que os países demonstrem um grau de paciência suficientemente elevado, o que é um resultado alinhado com as previsões do Teorema Folk da teoria dos jogos.

Chander & Tulkens (1995) demonstram, em seu artigo, a viabilidade de se alcançar um resultado eficiente na provisão do bem público global em um contexto de informação completa. Embora os autores recorram a pressupostos específicos para obter seu resultado, tais suposições não comprometem a robustez do modelo e são recorrentes na literatura da área. Um exemplo é a adoção de uma função de custo linear para os países. Conforme ressaltado no final do artigo, essa premissa é frequentemente aceita nos estudos do gênero, dadas as dificuldades inerentes à mensuração empírica dessas funções. Outra consideração é que o ótimo global pode distanciar-se significativamente da situação inicial vigente no começo das negociações. Para contornar esse obstáculo, técnicas econômicas têm sido desenvolvidas para orientar um movimento progressivo em direção ao ótimo por meio de passos sucessivos.

O argumento central dos autores sobre a proteção do modelo contra o *free-riding* (efeito carona) reside na necessidade de participação universal para o seu funcionamento. Caso um país ou um grupo de países optasse por não aderir à coalizão, com o intuito de usufruir dos benefícios sem arcar com os custos, a estabilidade do acordo seria comprometida, levando à sua dissolução. A ameaça credível de ruptura da coalizão é, portanto, apontada como um mecanismo suficiente para inibir comportamentos de carona.

O artigo evidencia a importância crucial de transferências monetárias para a estabilização e o bom funcionamento de acordos voltados para a redução de emissões, particularmente devido à existência de países com elevado custo marginal de abatimento e baixa preferência revelada por um ambiente limpo. As transferências funcionam como um incentivo indispensável para garantir a adesão dessas nações. No jogo modelado pelos autores, na ausência de tais transferências, não existe uma alocação de custos que seja individualmente racional e aceitável para todos os participantes. Ademais, em um hipotético cenário de países homogêneos, a construção de um sistema de transferências torna-se inviável, uma vez que não há assimetrias que justifiquem pagadores e receptores. Dessa forma, conclui-se que a necessidade de transferências emerge diretamente da heterogeneidade entre os países.

Por fim, os autores respondem a uma potencial crítica ética ao modelo, que opera sob um princípio em que a “vítima” (os países que mais valorizam a redução) compensa financeiramente o “poluidor” para obter um ambiente mais limpo, invertendo a lógica do princípio do poluidor-pagador. Argumentam, contudo, que essa estrutura é uma condição necessária para assegurar a cooperação voluntária e prevenir o *free-riding*, objetivos que representam um bem maior para a eficácia do acordo internacional.



Chander & Tulkens (1997) estabelecem a existência de um *core* (núcleo) de soluções para acordos que envolvem externalidades ambientais transnacionais, caracterizando-o como não vazio e operacionalmente útil. Para definir esse núcleo, a função característica do jogo deve incorporar o comportamento estratégico dos agentes que não integram a coalizão formada. Em resposta à literatura precedente, que argumentava ser o núcleo excessivamente amplo para ser de utilidade prática, os autores propuseram este marco teórico com o objetivo de pavimentar o caminho para desenvolvimentos futuros na área.

Geralmente, os modelos que demonstram a inexistência de um núcleo partem do pressuposto de que a reação dos países externos a uma coalizão constitui a pior resposta possível para os membros da aliança, ou que estes agem de forma a minimizar os ganhos da coalizão. Chander & Tulkens contestam a razoabilidade dessas suposições, argumentando que, uma vez que os benefícios da cooperação são desfrutados por todos os países, inclusive os não-participantes, sabotar a coalizão contradiria o princípio da maximização da utilidade individual desses agentes. Diante disso, os autores propõem um modelo alternativo no qual, após a formação de uma coalizão (S), os jogadores externos a S não agem de forma antagonista, mas sim maximizam suas respectivas utilidades individuais em resposta ao novo cenário estratégico. Essa estrutura resulta em um equilíbrio de Nash entre a coalizão S e os demais jogadores.

Uma vez demonstrada a existência do núcleo (cuja prova transcende o escopo desta revisão de literatura), os autores conseguem identificar as condições sob as quais uma estratégia de cooperação plena é viável, concluindo que a ameaça credível de dissolução da coalizão é um mecanismo suficiente para evitar o *free-riding*. Essa descoberta consolida e reforça os achados do trabalho anterior dos mesmos autores, publicado em 1995. O resultado introduz, assim, uma perspectiva otimista quanto à possibilidade de formação de uma coalizão global eficaz, em contraste com o ceticismo predominante na literatura especializada da época.

A interpretação oferecida pelos autores para seus resultados é a de que um acordo ambiental com cooperação integral e eficiência econômica é factível, ainda que não exista um equilíbrio de Nash forte ou um equilíbrio de Nash à prova de coalizões que seja Pareto-eficiente. Desse modo, a solução cooperativa por eles proposta não é apenas eficiente, mas também pode ser conceptualizada como o resultado de um equilíbrio de mercado no qual cada país atua racionalmente. O modelo proposto mostra-se, portanto, formalmente equivalente a um equilíbrio de Lindahl para a provisão de bens públicos globais.

Baliga e Maskin (2003) contribuem significativamente para a literatura ao propor mecanismos formais destinados a resolver problemas associados às mudanças climáticas. Os autores iniciam sua argumentação demonstrando a inviabilidade de uma solução estritamente baseada na abordagem de Coase, uma vez que as mudanças climáticas constituem uma externalidade global que afeta todos os países. Essa natureza do problema intensifica os incentivos ao *free-riding* (efeito carona). Uma vez que a deserção de um único país do esforço coletivo acarreta uma redução marginal no benefício total, cada agente possui um incentivo individual para permanecer fora da coalizão, usufruindo dos benefícios de um ambiente mais limpo sem incorrer nos custos correspondentes.



Ao longo do artigo, os autores desenvolvem e analisam mecanismos sob condições de informação completa e informação assimétrica. Contudo, uma limitação proeminente de suas propostas reside no modelo de punição adotado, o qual pressupõe a existência de uma autoridade central coercitiva, negligenciando, assim, a complexidade inerente à soberania nacional e à ausência de um governo global.

Ademais, Baliga e Maskin exploram as implicações do requisito de monotonicidade das preferências. Eles argumentam que, embora essa propriedade possa parecer inicialmente desejável, sua imposição em mecanismos de escolha social conduz inevitavelmente a resultados ditatoriais quando o conjunto de alternativas (Y) contém três ou mais opções. Esse resultado, alinhado com o Teorema de Gibbard-Satterthwaite, estabelece que qualquer função de escolha social monotônica e com domínio universal será necessariamente ditatorial, privilegiando as preferências de um único agente sobre as demais. Consequentemente, se o objetivo é implementar políticas ambientais simultaneamente eficientes e equitativas, torna-se impraticável depender, exclusivamente, de mecanismos operados por estratégias dominantes, dada a sua natureza excessivamente restritiva.

Como alternativa, os autores sugerem que a adoção do equilíbrio Bayesiano de Nash permite relaxar tais requisitos, oferecendo um framework mais flexível e realista para implementar funções de escolha social que sejam tanto eficientes quanto justas, viabilizando assim acordos cooperativos em contextos de informação imperfeita.

3. O Modelo

O modelo original de Martimort & Sand-Zantman (2013) (MSZ, de agora em diante), é o seguinte:

$$U = t_i + \alpha e_i + (1 - \alpha)\varepsilon - \frac{e_i^2}{2\theta_i}.$$

Assume-se que o mundo é populado por um contínuo de países de massa unitária. Esses países, caso queiram mitigar suas emissões de poluentes, podem fazer um esforço específico. Mais precisamente, é assumido que o esforço e_i exercido pelo país i gera tanto benefícios locais, de magnitude αe_i , quanto benefícios globais, no valor de $(1 - \alpha)e_i$, que se distribuem mundialmente. O parâmetro “ α ” representa a magnitude das consequências locais de esforço para diminuir a poluição, com $\alpha \in [0,1)$. Uma justificativa alternativa e mais ampla é que a implementação de uma política restritiva e_i impacta negativamente a produção e o bem-estar locais, de modo que o valor local do aumento de esforço é inferior ao valor social. Como o país maximiza a utilidade levando em conta os esforços globais agregados, $(1 - \alpha)e_i$ torna-se $(1 - \alpha)\varepsilon$, sendo $\varepsilon = \int e_i$.



Para modelar heterogeneidade, é criado o parâmetro de eficiência θ , de modo que o custo do país de tipo i pode ser representado como: $C(e_i, \theta_i) = \frac{e_i^2}{2\theta_i}$. Esse custo deve ser entendido num sentido amplo, incluindo não só custos tecnológicos, mas também custos de oportunidade (como crescimento não realizado ou articulação política).

Cada país i tem informação privada sobre seu parâmetro de eficiência θ_i , e seu esforço em mitigar a poluição é observável. Como os θ_i não são apenas custos tecnológicos, mas também custos de oportunidade, assumir informação privada é coerente. De modo similar, assumir que o esforço é observável parece coerente com a situação atual, em que novas tecnologias (como observação por satélite) permitem um controle preciso do comportamento de cada unidade de poluição.⁸

Ademais, t representa a transferência monetária que o país recebe (ou envia) no mecanismo. Essa transferência não é esforço nem benefício ambiental direto, mas um pagamento do tipo *lump-sum* que entra na utilidade do país. Portanto, trata-se de um subsídio cruzado.

Os parâmetros de eficiência θ_i são extraídos de forma independente da mesma função de distribuição acumulada $F(\cdot)$, com suporte $\Theta = [\underline{\theta}, \bar{\theta}]$ (sendo $\underline{\theta} > 0$) e uma densidade $f(\theta) = F'(\theta)$, em todo lugar positiva e sem átomos. Denota-se por $E_\theta(\cdot)$ o operador de esperança em relação a θ . Por razões técnicas, também é assumido que a seguinte condição de monotonicidade vale:

$$\frac{d}{d\theta} \left(1 - F(\theta) \frac{\theta f(\theta)}{f(\theta)} \right) \leq 0 \quad \forall \theta \in \Theta \quad (1)$$

Como resultado do modelo MSZ, ao maximizar a função de utilidade do país i , obtemos $e^{FB} = \theta$. Assim, ao substituir tal valor na mesma função de utilidade, o nível global resultante é simplesmente $W^* = \frac{E_{\bar{\theta}}(\bar{\theta})}{2}$. Enquanto isso, no cenário *BA*, em que os países deixam de internalizar o efeito de seus esforços no bem-estar total, obtemos $e_N = \alpha\theta$ e $W_N = \frac{E_{\bar{\theta}}(\bar{\theta})}{2} \alpha(2 - \alpha) < W^*$. Esse resultado é encontrado ao maximizarmos a seguinte função de utilidade:

$$\arg \max_e a e - \frac{e^2}{2\theta} + (1 - \alpha) E_{\bar{\theta}}(e_N(\bar{\theta})) .$$

Propomos uma simples alteração no modelo. O modelo MSZ associa diretamente os benefícios do esforço com os efeitos que ele tem em diminuir a poluição (ou seja, α). Entretanto, nos

⁸ O artigo original cita Tirole (2008) e D'Albis (2010) a respeito dessa possibilidade.



perguntamos se a forma como o esforço é feito também não geraria outros benefícios para além da queda de poluição, na forma de externalidades locais positivas.

Como exemplo podemos citar os ganhos esperados ao preservar o meio ambiente no sentido de Arrow & Fischer (1974), caso a preservação florestal seja a forma escolhida para diminuir a emissão. Entretanto, pode-se considerar diversas outras formas: pode haver avanços tecnológicos ou doações tecnológicas, que, também, por si só, já são benéficas para o país. Consideramos também a possibilidade de haver benefícios associados à popularidade do candidato ou partido político em caso de regimes democráticos em que os eleitores valorizem preservação ambiental e o combate à mudança climática.

Desse modo, propomos neste trabalho a adição de um componente ρ , que pode ser interpretado como uma externalidade local positiva. Tal componente aumenta o nível de bem-estar como uma fração adicional do esforço incremental do país para além da fração α que ele consegue incorporar, pois passa a ser $(\alpha + \rho)$. Esse impacto é de natureza não alocativa. Além disso, como e_i passa a multiplicar $(\alpha + \rho)$, a soma dos coeficientes fica maior do que 1. Desse modo, além da parcela α inicialmente interiorizada pelo país i , sendo o resto dissipado para o resto do mundo na forma de $(1 - \alpha)\varepsilon$, o país passa a usufruir uma porção adicional ρ de seu esforço, o que representa uma externalidade positiva.

Então, apesar de o α incorporar os benefícios locais no modelo original, não o faz na forma de externalidade, pois o resultado do esforço agregado está sendo distribuído entre os agentes dessa economia mundial. Como, enquanto o país i usufrui de uma fração α , uma fração $(1 - \alpha)$ é distribuída para o resto do mundo, o benefício do esforço agregado é distribuído igualmente, de modo que o esforço de uma unidade gera o benefício de uma unidade. Quando introduzimos o ρ , geramos uma externalidade positiva.

Formalizando esse pensamento, o modelo proposto é o seguinte:

$$U_i = t_i + \alpha e_i + (1 - \alpha)\varepsilon - \frac{e_i^2}{2\theta_i} + \rho e_i,$$

sendo a explicação para as variáveis as mesmas aplicadas ao modelo de MSZ. A esse modelo, acrescentamos apenas ρe_i para capturar o efeito de externalidades positivas locais, como explicado acima.

Por questões técnicas, mantemos a condição de monotonicidade usada no modelo MSZ, explicada em (1).

Para acharmos a utilidade global (ϕ) do nosso modelo basta resolvermos a integral de U para todo i .

$$\phi = \int U_i di = \int \left(t + \alpha e_i + (1 - \alpha)\varepsilon - \frac{e_i^2}{2\theta} + \rho e_i \right)$$



$$= \int e_i - \frac{e_i^2}{2\theta_i} + \rho e_i$$

$$= \int_{\theta} \left(e(\theta) - \frac{e(\theta)^2}{2} + \rho e(\theta) \right) f(\theta) d\theta$$

Maximizando-a com respeito a e , para acharmos o esforço que maximiza a utilidade (e^{FB}):

$$\frac{d}{de} \left(e_i - \frac{e_i^2}{2\theta_i} + \rho e \right) = 1 - \frac{e}{\theta} + \rho = 0.$$

Portanto,

$$(1 + \rho)\theta = e^{FB} \quad (2)$$

Desse modo, podemos concluir que há uma distorção causada pela variável ρ , ao compararmos nosso e^{FB} com o de MSZ, que era simplesmente θ . Esse resultado representa que os países consideram os possíveis benefícios advindos de externalidades positivas locais ao maximizar suas utilidades.

Agora, precisamos calcular o bem-estar global nessa nova situação. Para isso, substituímos $e^{FB} = (1 + \rho)\theta$ na utilidade global (ϕ) do nosso modelo.

$$w^* = \int \left((1 + \rho)\theta - \frac{(1 + \rho)^2 \theta^2}{2\theta} + \rho(1 + \rho)\theta \right) f(\theta)$$

$$w^* = \int \frac{(1 + \rho)^2}{2} \cdot \theta \cdot f(\theta) d\theta$$

Como $\int \theta f(\theta) d\theta = E[\theta]$, temos que o bem-estar global W^* vale:

$$W^* = \frac{(1 + \rho)^2}{2} \cdot E[\theta] \quad (3)$$

Esse resultado nos diz que a valoração da externalidade positiva local aumenta de forma quadrática, para todo valor positivo. Portanto, é relevante considerarmos a influência desse fator na maximização de utilidade e na formulação de contratos.

Agora, investiguemos o cenário *BAU*. Nesse cenário, cada país maximiza apenas a sua utilidade sem considerar a ação dos outros países, e não internalizam o impacto de seus próprios esforços no bem-estar global. Por isso, os esforços são menores.

Para encontrar o esforço *BAU*, o país maximiza a seguinte utilidade:



$$arg\ arg - \frac{e^2}{2\theta} + e\rho + (1 - \alpha)E_{\tilde{\theta}}(e_N(\tilde{\theta})) ,$$

de modo que agora:

$$e_N = (\alpha + \rho)\theta. \quad (4)$$

A maximização do bem-estar global no *BAU* resulta em:

$$W_N = E_{\tilde{\theta}}(\tilde{\theta}) \left((\alpha + \rho) - \frac{(\alpha + \rho)^2}{2} \right) \quad (5)$$

Como podemos ver, a distância entre o esforço *BAU* e o esforço ótimo (FB) é naturalmente decrescente em α . No caso degenerado e não realista de $\alpha = 1$, o *BAU* é eficiente. Concluímos que quanto mais local for o impacto da política ambiental, menor é o risco de *free-riding*. Entretanto, comparado ao modelo original MSZ, vemos que inserir a variável ρ tornou maior tanto o bem-estar social no FB quanto no *BAU*.

A tabela 2 evidencia as alterações causadas pela adição do termo ρ .

Tabela 2 – Comparação entre os principais resultados da seção 3 com os resultados do modelo MSZ.

	Modelo MSZ	Nossa alteração
e^{FB}	θ	$(1 + \rho)\theta$
W^*	$\frac{E_{\tilde{\theta}}(\tilde{\theta})}{2}$	$\frac{E_{\tilde{\theta}}(\tilde{\theta})}{2} (1 + \rho)^2$
e_N	$\alpha\theta$	$(\alpha + \rho)\theta$
W_N	$\frac{E_{\tilde{\theta}}(\tilde{\theta})}{2} \alpha(2 - \alpha) < W^*$	$\frac{E_{\tilde{\theta}}(\tilde{\theta})}{2} (\alpha + \rho)(2 - \alpha - \rho)$

Observe que o nível de esforço no modelo original é apenas θ , mas aqui aparece multiplicado por $(1 + \rho)$. Desse modo, a alteração não é trivial. De fato, vemos mudanças no esforço de *first best* em relação ao modelo MSZ.

A mudança se torna ainda mais aparente e difícil de se ignorar ao compararmos o valor de W^* , que passa a ser multiplicado por uma função quadrática. A existência de um aumento de bem-



estar desse nível não pode ser ignorada, pois incorpora o *pay-off* do país i , podendo ser um fator determinante para a sua participação em um acordo ambiental, ou não.

4. O Contrato

Nesta seção investigamos a performance de um mecanismo de mercado simples que permite aos países trocarem entre si seus direitos à emissão. Por se tratar de um modelo com informação assimétrica, é vital investigar tanto as propriedades dos incentivos, quanto a participação gerada por tal mecanismo.

No mecanismo, por simplicidade, os direitos são distribuídos de forma uniforme. Esse valor comum será chamado de E_0 . Ignora-se como é distribuída a quantidade inicial de direitos à emissão de cada país.

Assim, um país de tipo θ quer realizar trocas de seus direitos a poluir de forma a maximizar a seguinte expressão:

$$U_0(\theta, p, E_0) = \alpha e + P(e - E_0) + (1 - \alpha)\varepsilon_0 - \frac{e^2}{2\theta} + e\rho,$$

em que $\varepsilon_0 = E_{\tilde{\theta}}(e(\tilde{\theta}))$ denota o nível geral de abatimentos global e $e(\tilde{\theta})$, o nível de esforço de equilíbrio exercido por um país de tipo θ nesse cenário. Ao maximizarmos a expressão acima, encontramos esta expressão de demanda por direitos:

$$e(\theta, p) = (\alpha + p + \rho)\theta. \quad (6)$$

Quando igualamos $E_{\tilde{\theta}}(e(\tilde{\theta}, p_0)) = E_0$, que é a condição de equilíbrio de mercado, achamos:

$$p_0 = \frac{E_0}{E_{\tilde{\theta}}(\tilde{\theta})} - \alpha - \rho.$$

Através desse mecanismo de mercado queremos encontrar o esforço de equilíbrio exercido por um país com tipo θ . Mas antes, sabemos que:

$$\alpha + p + \rho = \alpha + \left(\frac{E_0}{E_{\tilde{\theta}}(\tilde{\theta})} - \alpha - \rho \right) + \rho = \frac{E_0}{E_{\tilde{\theta}}(\tilde{\theta})}$$

Substituindo esse resultado em (6), encontramos:

$$e(\theta, p_0) = \left(\frac{E_0}{E_{\tilde{\theta}}(\tilde{\theta})} \right) \cdot \theta$$



O mesmo valor encontrado pelos autores no modelo MSZ. Dessa forma, de maneira similar, sabemos que o mecanismo de mercado é uma forma eficiente de induzir esforços se o nível uniforme de deveres que se aplica a todos é eficiente “em média”, ou seja,

$$E_0 = E_{\tilde{\theta}}(\tilde{\theta}).$$

Segue-se também que o preço de mercado é o mesmo que os autores haviam encontrado, em que cada unidade adicional de abatimento além da alocação inicial é paga no valor social de:

$$p_0 = 1 - \alpha.$$

Desse modo, cada país internaliza o impacto de seu próprio esforço no esforço agregado, e tem os incentivos corretos para garantir que o esforço feito seja o melhor possível, ou seja:

$$e(\theta, p_0) = e^{FB}(\theta) \quad \forall \theta \in \theta$$

Assim, a questão remanescente é se esse mecanismo induz a participação de todos os países soberanos. Para os propósitos deste trabalho, nos baseamos no modelo MSZ e em Chander e Tulkens (1995, 1997), e assumimos que a participação de todos os países é necessária para implementar a solução de mercado. Caso contrário, o *BAU* prevalece globalmente.

Nesse contexto, induzir a participação requer satisfazer:

$$U_0(\theta, P_0, E_0) \geq U_N(\theta) \quad \forall \theta \in \theta,$$

que equivale a fazer:

$$\theta + \theta\rho - \frac{\theta}{2} \geq \frac{\alpha^2\theta}{2} + (1 - \alpha)\alpha E(\theta) + \alpha\theta\rho$$

Após algumas manipulações, tomando θ por $\underline{\theta}$ e considerando que $\alpha < 1$, temos o seguinte caso em que o mecanismo de mercado não consegue ser eficiente e induzir participação global:

$$\alpha > \alpha_1 = \frac{\underline{\theta}(1 + 2\rho)}{2E_{\tilde{\theta}}(\tilde{\theta}) - \underline{\theta}} \in (0, 1).$$

Comparando ao α_1 do artigo original, aparece o termo $(1 + 2\rho)$. Desse modo, o ρ que não impactou na determinação do preço do mercado, reaparece afetando positivamente o valor de α_1 . Considerando que $\alpha > \alpha_1$ é o caso em que o mecanismo falha, haver a soma de um valor positivo em α_1 indica que os cenários em que o mecanismo falha são mais restritos do que outrora foram aludindo a um efeito positivo de considerarmos externalidades positivas locais. Faz sentido, pois o *payoff* esperado é maior, sendo racional considerá-lo ao decidir participar de um acordo ou não.



Em suma, a conclusão que chegamos não é vastamente diferente do artigo original. Quando α está próximo de 1, o mecanismo não é necessário, pois os efeitos são locais. Quando os países são extremamente heterogêneos a ponto de $E_{\tilde{\theta}}(\tilde{\theta})$ ser muito superior ao $\underline{\theta}$ (possibilidade mais realista quando se trata de mudança climática), o mecanismo se torna extremamente caro para os países ineficientes, que devem comprar emissões para poluir desde o começo do acordo. Assim, apesar de o preço de mercado induzir esforço nos países participantes, eliminando o efeito carona no sentido de esforço, alguns países optam por não participarem do acordo, o que é um efeito carona no sentido de participação. Como o acordo exige a participação de todos os países, ele falha e os países voltam ao cenário *BAU*.

Caso fosse possível fazer diferenciação de preço, de forma a deixar as permissões mais baratas para países ineficientes, o problema da participação poderia ser resolvido. Entretanto, o cenário de informação incompleta torna esse cenário impossível. Ademais, qualquer substituto para essa informação traria seus próprios problemas, talvez ainda mais graves. Por exemplo, caso o preço fosse decidido por emissões passadas, os países que emitiram pouco sentiriam que o mecanismo premia mau comportamento, além da possibilidade de incentivar os países a poluírem mais para conseguirem um preço melhor.

Além disso, caso α seja pequeno, externalidades positivas são significativas e a opção alternativa não é muito atraente. A restrição de participação é reduzida a priori por esse efeito. Entretanto, pelo α ser pequeno, o esforço dos países tem pouco efeito local. Por isso, o preço de mercado tem que ser alto o suficiente para induzir o esforço ótimo. Isso implica que os tipos ineficientes terão gastos altos para conseguirem suas licenças para poluir. Desse modo, a diminuição de participação volta a ser um problema. A desigualdade acima mostra que α tem que ser baixo o suficiente para o primeiro efeito dominar, i.e, a utilidade da opção alternativa ser reduzida a ponto de o preço mais alto parecer melhor.

Todas essas conclusões já foram tomadas no artigo original e apenas repetidas aqui. Entretanto, como nosso α_1 é superior ao α_1 original, podemos nos dar o luxo de ter um α levemente maior quando comparado ao do modelo MSZ. Dessa informação extraímos que apesar de ρ não ser levado em consideração ao decidir os preços de mercado, ele o é quando os países consideram entre participar ou não, podendo ser um fator para combater o efeito carona no sentido de participação, que é um dos problemas do mecanismo simples descrito nesta seção.

A tabela 3 evidencia as semelhanças e diferenças dos resultados encontrados no modelo MSZ e no nosso.

Tabela 3 - Comparação entre os principais resultados da seção 4 com os resultados do modelo MSZ.

Modelo MSZ		Nosso Modelo
$e(\theta, p)$	$(\alpha + p)\theta$	$(\alpha + p + \rho)\theta$
p_0	$1 - \alpha$	$1 - \alpha$



α_1	$\frac{\underline{\theta}}{2E_{\tilde{\theta}}(\tilde{\theta}) - \underline{\theta}}$	$\frac{\underline{\theta}(1 + 2\rho)}{2E_{\tilde{\theta}}(\tilde{\theta}) - \underline{\theta}}$
------------	---	--

4.1. Implementação alternativa

Para o restante do artigo, mister se faz considerar a implementação alternativa de que, quando o mecanismo de mercado é eficiente e induz participação global, os países poderiam concordar em um subsídio por unidade abatida, que seria pago por um fundo de contribuição mútua. Assim, as utilidades dos países e o comportamento deles é o mesmo que no mecanismo de mercado quando enfrentando o subsídio Pigouviano $p_0 = 1 - \alpha$, e uma taxa fixa de contribuição T_0 tal que:

$$T_0 = P_0 E_0 (1 - \alpha) E_{\tilde{\theta}}(\tilde{\theta}).$$

5. Menu de dois tipos

A seção anterior nos mostra que a maior dificuldade é conseguir a participação dos países menos eficientes, e que um dos maiores empecilhos para isso é a informação assimétrica. Por isso, uma forma simples de resolver o problema, é com um menu de dois tipos, a saber, o tipo eficiente e o tipo ineficiente.

Assim, cada país pode selecionar o nível de esforço que será feito de acordo com seu tipo, o que aumenta a participação. Os dois tipos são os seguintes:

Tipo eficiente:

$$U_1(\theta, \rho, \underline{T}) = \max_e (a + p)e - \frac{e^2}{2} + (1 - \alpha)\varepsilon_1 + e\rho - \underline{T}.$$

Tipo ineficiente:

$$U_1(\theta, \underline{T}) = \max_e \alpha e - \frac{e^2}{2} + (1 - \alpha)\varepsilon_1 + e\rho - \underline{T},$$

em que $\underline{T}$ e $\underline{T}$ são uma contribuição fixa para um fundo global, de modo que o acordo funcione da seguinte maneira: todos os países contribuirão para um fundo internacional com uma contribuição que compense a externalidade positiva advinda do acordo. É de suma importância definir a contribuição dessa forma, pois, do contrário, apenas alteraríamos de lugar o problema de *free-riding*. Isso porque haveria o problema do efeito carona na hora de definir quanto cada país contribuiria para o fundo. A contribuição supracitada será utilizada para financiar subsídios (p) para os países eficientes por cada unidade marginal abatida.



Desse modo, os países ineficientes encontram-se indiferentes entre participar ou não, pois se limitam a compensar a externalidade positiva recebida, e exercem o esforço de *BAU*. Enquanto isso, há incentivo para esforço nos países eficientes, que são os subsídios recebidos, de modo que agora o nível de esforço global se torna maior do que o esforço global em *BAU* (ε_N):

$$\int_{\theta^*}^{\underline{\theta}} e_N(\theta)f(\theta)d\theta + \int_{\underline{\theta}}^{\theta^*} e(\theta,p)f(\theta)d\theta > \varepsilon_N = \int_{\underline{\theta}}^{\theta^*} e_N(\theta)f(\theta)d\theta.$$

A seguir são descritas as restrições que o mecanismo deve satisfazer.

Compatibilidade com incentivos: deve haver um θ^* indiferente entre a opção de incentivo e a opção de contribuição fixa, de modo que:

$$U_1(\theta^*, p, \underline{T}) = U_1(\theta^*, \underline{T}). \quad (7)$$

Orçamento balanceado: como descrito anteriormente, as contribuições fixas devem financiar o subsídio de cada unidade marginal abatida pelos países eficientes. Assim:

$$F(\theta^*)\underline{T} + (1 - F(\theta^*))\underline{T} = p \int_{\theta^*}^{\underline{\theta}} e(\theta, p)f(\theta) d\theta. \quad (8)$$

Condição de participação: é atingida ao fazer os países menos eficientes financiarem a externalidade positiva gerada pelo esforço acima do *BAU* dos países mais eficientes. Isso nos dá a seguinte expressão:

$$\underline{T} = (1 - \alpha - \rho) \int_{\theta^*}^{\underline{\theta}} (e(\theta, \rho) - e_N(\theta))f(\theta) d\theta. \quad (9)$$

Investiguemos um pouco mais o que essas condições nos informam. Se igualarmos $U_1(\theta^*, p, \underline{T}) = U_1(\theta^*, \underline{T})$, como descrito em (5), obtemos a seguinte expressão:

$$2(\underline{T} - \underline{T}) = \theta p(2\alpha + p + 2\rho). \quad (10)$$

Além disso, ao substituírmos $e(\theta, p) = (\alpha + p + \rho)$ em (8), encontramos:

$$F(\theta^*)\underline{T} + (1 - F(\theta^*))\underline{T} = p(\alpha + p + \rho) \int_{\theta^*}^{\underline{\theta}} \theta f(\theta) d\theta.$$

Por fim, resolvendo a condição de participação (9), encontramos que:

$$\underline{T} = (1 - \alpha - \rho)p \int_{\theta^*}^{\underline{\theta}} \theta f(\theta) d\theta.$$



Combinando as condições acima, chegamos na seguinte expressão, que expressa o θ^* como expressão de p apenas:

$$\frac{\theta^*(p) \left(1 - F(\theta^*(p))\right)}{\int_{\underline{\theta}}^{\theta^*(p)} \theta f(\theta) d\theta} = \frac{\theta^*(p)}{E_{\tilde{\theta}}(\tilde{\theta} | \tilde{\theta} \geq \theta^*(p))} = 2 \left(1 - \frac{1}{p + 2\alpha + 2\rho}\right). \quad (11)$$

Com isso podemos estudar as propriedades de $\theta^*(p)$. O Lemma A.1 provado no artigo original, se mantém aqui, pois ele é apenas a derivação do termo $\frac{\theta^*(p)}{E_{\tilde{\theta}}(\tilde{\theta} | \tilde{\theta} \geq \theta^*(p))}$, que continua idêntica neste trabalho. Por isso, não se faz necessário demonstrá-lo novamente. Entretanto, o resultado em relação a p que obtemos ao aplicarmos o Lemma A.1 é um pouco diferente do obtido originalmente. Primeiro, lembremos que:

$$\dot{\theta}^*(p) = \frac{2 E(\theta)}{\Psi (p + 2\alpha + 2\rho)^2} > 0,$$

como foi estabelecido pelo Lemma A.1. Portanto, sabemos que (11) define $\theta^*(p)$ de forma única, que é interior quando p está dentro dos limites estabelecidos pelas duas desigualdades a seguir:

$$\begin{aligned} \frac{\underline{\theta}}{E_{\tilde{\theta}}(\tilde{\theta})} &\leq 2 \left(1 - \frac{1}{p + 2\alpha + 2\rho}\right) \leq 1 \\ \Leftrightarrow 2 \left(\alpha_1 \left(\frac{E_{\tilde{\theta}}(\tilde{\theta})}{\underline{\theta}} - \rho\right) + \frac{\underline{\theta}}{E_{\tilde{\theta}}(\tilde{\theta}) - \underline{\theta}}\right) &= \underline{p} \leq p \leq \bar{p} = 2(1 - \alpha - \rho). \end{aligned}$$

Portando, torna-se evidente um efeito de adicionarmos o termo ρ na nossa maximização de utilidade. Os preços, tanto $\underline{p}$ quanto $\bar{p}$ são afetados negativamente por ρ , o que diminui ambos os preços. Então, apesar de ρ não ter efeito no preço quando consideramos um simples mecanismo de mercado, agora, quando considerados menus de dois tipos, ele passa a surtir efeito. Entretanto, em $\underline{p}$, temos a adição de um termo positivo $\frac{\underline{\theta}}{E_{\tilde{\theta}}(\tilde{\theta}) - \underline{\theta}}$, tornando o efeito em $\underline{p}$ ambíguo.

Agora, definamos o bem-estar global como:

$$W(p) = \int_{\underline{\theta}}^{\theta^*(p)} \left(e_N(\theta) - \frac{e_N^2(\theta)}{2\theta}\right) f(\theta) d\theta + \int_{\theta^*(p)}^{\underline{\theta}} \left(e(\tilde{\theta}, p) - \frac{e(\tilde{\theta}, p)^2}{2\tilde{\theta}}\right) f(\theta) d\theta$$

ou, usando (5), como



$$W(p) = \left(\alpha + \rho - \frac{(\alpha + \rho)^2}{2} \right) \int_{\underline{\theta}}^{\theta^*(p)} \theta(\theta) d\theta \\ + \left(\alpha + p + \rho - \frac{(\alpha + p + \rho)^2}{2} \right) \int_{\theta^*(p)}^{\underline{\theta}} \theta f(\theta) d\theta$$

Diferenciando com relação a p , para entendermos o comportamento da função em um preço específico, temos:

$$W'(p) = (1 - \alpha - \rho - p) \int_{\theta^*(p)}^{\underline{\theta}} \theta f(\theta) d\theta - \dot{\theta}^* \theta^* f(\theta) p \left(1 - \alpha - \rho - \frac{p}{2} \right)$$

Avaliamos essa derivada no ponto $p_0 = 1 - \alpha$, que é o nível Pigouviano, para analisar se ele é ótimo também nesta nova função.

$$W'(p_0 = 1 - \alpha) = (-\rho) \int_{\theta^*(p)}^{\underline{\theta}} \theta f(\theta) d\theta - \dot{\theta}^* \theta^* f(\theta) (1 - \alpha) \left(\frac{1 - \alpha}{2} - \rho \right) < 0.$$

Com esse resultado, achamos o resultado de que o subsídio na opção de incentivo é menor que no nível Pigouviano, de modo que:

$$p_1 < p_0 = 1 - \alpha, \quad (7)$$

já que $\dot{\theta}^* > 0$ para todo p .

Dessa forma, os países eficientes passam a receber um subsídio reduzido, inferior ao nível Pigouviano ótimo, o que implica que não internalizam integralmente o impacto marginal completo de seus esforços no bem-estar global. Essa concessão é necessária para viabilizar a participação dos países ineficientes (na forma da contribuição T), tornando sua adesão ao acordo menos onerosa e, conseqüentemente, mitigando o problema do *free-riding*. Considerando que a alternativa à participação é a dissolução do acordo, mesmo o subsídio reduzido permanece economicamente vantajoso para os países eficientes. Os países ineficientes, por sua vez, encontram-se em uma posição de indiferença entre participar ou não; presumindo-se racionalidade, optam por aderir ao pacto para usufruir dos benefícios gerados pelo elevado esforço dos agentes eficientes, sob a forma de externalidades positivas, como, notadamente, uma atmosfera mais limpa.

A tabela 4 evidencia os principais resultados encontramos nesta seção com os originais dos autores do modelo MSZ. Devido a extensão da demonstração matemática nessa etapa, não é de fácil comparação os valores em uma tabela. Por isso, optamos por destacar os efeitos de ρ no preço.

Tabela 4 – Comparação entre os principais resultados da seção 5 com os resultados do modelo MSZ.



	Modelo MSZ	Nosso modelo
$\underline{p}$	$2(1 - \alpha)$	$2(1 - \alpha - \rho)$
$\underline{p}$	$2\left(\frac{E_{\tilde{\theta}}(\tilde{\theta})}{\underline{\theta}}\alpha_1 - 1\right)$	$2\left(\alpha_1\left(\frac{E_{\tilde{\theta}}(\tilde{\theta})}{\underline{\theta}} - \rho\right) + \frac{\underline{\theta}}{E_{\tilde{\theta}}(\tilde{\theta}) - \underline{\theta}}\right)$
p_1	$< p_0 = 1 - \alpha$	$< p_0 = 1 - \alpha$
$W'(p_0)$	< 0	< 0

Reitera-se, portanto, que o mecanismo de punição inerente ao modelo reside na ameaça crível de dissolução do acordo. Dado que todos os países se beneficiam de um ambiente menos poluído, todos possuem interesse na manutenção do regime cooperativo. Como a deserção de um único signatário pode inviabilizar o acordo, e os países ineficientes são indiferentes à adesão marginal, assume-se que sua participação será mantida.

No caso dos países eficientes, existe um incentivo monetário líquido para sua participação, ainda que seu montante seja inferior ao que vigoraria em uma situação de *first-best*. A redução desse incentivo é uma condição indispensável derivada da queda no bem-estar agregado que ocorre quando se analisa a função de utilidade global no ponto $p_0 = 1 - \alpha$, que corresponderia ao ótimo social *first-best* no mecanismo de mercado de referência.

6. Conclusão

A principal contribuição desta análise foi a modificação do modelo de Martimort e Sand-Zantman (2013), com a inclusão do parâmetro ρ , que representa externalidades positivas locais decorrentes do esforço de mitigação. Esse acréscimo revelou dois resultados centrais. Primeiro, tanto no cenário de *first-best* quanto no de *BAU*, o bem-estar social é ampliado, reduzindo a distância entre o esforço ótimo e o esforço individual racional. Isso significa que, quando políticas ambientais geram benefícios internos adicionais, seja na forma de avanços tecnológicos, ganhos sociais ou recompensas políticas, a resistência ao engajamento internacional diminui.

Segundo, verificou-se que, embora ρ não altere diretamente o preço de equilíbrio em mecanismos simples de mercado, seu papel reaparece de maneira decisiva quando se considera a participação dos países e, sobretudo, quando se adota um menu de dois tipos. Nesse contexto, ρ afeta os limites de preço que sustentam o equilíbrio e reduz a probabilidade de falha do mecanismo de cooperação, mitigando parte dos incentivos ao *free-riding*. Assim, as externalidades locais funcionam como um amortecedor estratégico, tornando os mecanismos mais robustos diante da heterogeneidade e da assimetria informacional entre países.



Reiteramos as dúvidas manifestadas pelos autores em seu artigo original quanto à eficiência de um mecanismo de mercado como solução para o problema de poluição em um contexto de soberania nacional e ausência de autoridade central coercitiva. A adição do termo ρ em nada alterou a eficiência de tal mecanismo, sendo o preço de equilíbrio global igual no final. Entretanto, é de interesse o efeito que ρ possui em aumentar o α necessário para que tal mecanismo falhe. Isso nos mostra que talvez não precisemos ser tão pessimistas quanto à possibilidade de o mecanismo simples falhar, pois externalidades positivas locais também são levadas em conta.

Conclui-se, portanto, que a inclusão de externalidades positivas locais não apenas amplia o bem-estar global, mas também fornece fundamentos para um maior otimismo em relação à viabilidade de mecanismos autoexecutáveis. Ainda que subsídios inferiores ao nível pigouviano ótimo sejam necessários para garantir a participação de países ineficientes, a consideração de ρ aponta para um caminho promissor: em vez de depender exclusivamente de sanções ou transferências monetárias, os acordos podem se apoiar também nos benefícios domésticos endógenos das políticas climáticas, transformando o esforço ambiental em um investimento politicamente atrativo e economicamente racional.



7. Referências

- ARROW, K. J.; FISHER, A. C. Environmental Preservation, Uncertainty, and Irreversibility. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 88, n. 2, p. 312, maio 1974.
- BALIGA, S.; MASKIN, E. Mechanism design for the environment. In: MÄLER, K.-G.; VINCENT, J. R. (Org.). **Handbook of environmental economics**. Amsterdã: Elsevier, 2003. v. 1, p. 305–324.
- BARRETT, S. Economic growth and environmental preservation. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 23, n. 3, p. 289–300, nov. 1992.
- BARRETT, S. Self-Enforcing International Environmental Agreements. **Oxford Economic Papers**, v. 46, p. 878–894, 1994.
- BRADFORD, D. Improving on Kyoto: greenhouse gas control as the purchase of a global public good. In: GUESNERIE R.; TULKENS H. **The Design of Climate Policy**. Cambridge, MA: MIT Press, 2008. p. 13-36.
- CARRARO, C.; SINISCALCO, D. Strategies for the international protection of the environment. **Journal of Public Economics**, v. 52, n. 3, p. 309–328, out. 1993.
- CHANDER, P.; TULKENS, H. A core-theoretic solution for the design of cooperative agreements on transfrontier pollution. **International Tax and Public Finance**, v. 2, n. 2, p. 279–293, ago. 1995.
- CHANDER, P.; TULKENS, H. The core of an economy with multilateral environmental externalities. **International Journal of Game Theory**, v. 26, n. 3, p. 379–401, out. 1997.
- CHEIKBOSSIAN, G.; SAND-ZANTMAN, W. Dynamic Cooperation in Local Public Goods Supply with Imperfect Monitoring. **Annals of Economics and Statistics**, n. 101/102, p. 327, 2011.
- COASE, R. H. The Problem of Social Cost. **The Journal of Law & Economics**, v. 3, p. 1–44, 1960.
- HARDIN, G. The Tragedy of the Commons. **Science**, v. 162, n. 3859, p. 1243–1248, 1968.
- HELM, C.; WIRL, F. International Environmental Agreements: Incentive Contracts with Multilateral Externalities. **Wirtschaftswissenschaftliche Diskussionspapiere**, No. V-336-11, jun. 2011.
- HELM, C.; WIRL, F. Multilateral externalities: Contracts with private information either about costs or benefits. **Economics Letters**, v. 141, p. 27–31, abr. 2016.
- HELM, C. International emissions trading with endogenous allowance choices. **Journal of Public Economics**, v. 87, n. 12, p. 2737–2747, dez. 2003.



KRAUTKRAEMER, J. A. Optimal Growth, Resource Amenities and the Preservation of Natural Environments. **The Review of Economic Studies**, v. 52, n. 1, p. 153, jan. 1985.

MARTIMORT, D.; SAND-ZANTMAN, W. Solving the global warming problem: beyond markets, simple mechanisms may help! **The Canadian Journal of Economics / Revue canadienne d'Economique**, v. 46, n. 2, p. 361–378, 2013.

STERN, N. H. **The Economics of Climate Change: the Stern Review**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007



Arquitetura do Atraso: Como a Desigualdade foi impulsionada no Brasil A Partir da Colonização?

The Architecture of Economic Backwardness: How Was Inequality Driven in Brazil Starting from Colonization?

Luca Reis Ferreira⁹

Resumo: Este artigo, inspirado pelas três primeiras partes da obra *Formação Econômica do Brasil*, de Celso Furtado, visa responder de que forma a desigualdade foi impulsionada no Brasil a partir da colonização portuguesa. Para atingir esse objetivo, trabalho com a hipótese, muito difundida pela literatura de história econômica, de que as instituições estabelecidas no início de um processo colonial importam para o desenvolvimento de uma colônia ao longo do tempo. Nesse contexto, o artigo busca ressaltar algumas das principais convergências entre Furtado e um grupo de autores institucionalistas, especialmente norte-americanos, para fundamentar as bases de criação de desigualdade no Brasil Colônia. Essa análise também é fortemente inspirada pela bibliografia e o quadro avaliativo presente na disciplina Formação Econômica do Brasil, ofertada pela Universidade de Brasília enquanto componente obrigatório para a graduação em Relações Internacionais. A metodologia predominante foi a revisão bibliográfica, principalmente a partir dos escritos de Furtado, bem como mediante a seleção de outros autores capazes de contribuir para as reflexões críticas sobre a desigualdade e a formação de instituições. Os resultados demonstraram correlações notórias entre as linhas de pensamento citadas, com pequenas divergências exploradas quando necessário.

Palavras-chave: Economia brasileira. Celso Furtado. Nova Economia Institucional. Brasil colônia. Colonizações. Instituições. Desenvolvimento.

Abstract: This article, inspired by the first three parts of Celso Furtado's book *Formação Econômica do Brasil* (*The Economic Growth of Brazil*), aims to answer how inequality was driven in Brazil by Portuguese colonization. To achieve this goal, I work with the hypothesis, widely disseminated in economic history literature, that the institutions established at the beginning of a colonial process matter for the development of a colony over time. In this context, the article seeks to highlight some of the main convergences between Furtado and a group of institutionalist authors, especially North-Americans, in order to emphasize the basis for the creation of inequality in Colonial Brazil. This analysis was also strongly inspired by the

⁹ Graduando em Relações Internacionais (UnB); lucareisferreiraunb@gmail.com.



assessment framework of the subject Formação Econômica do Brasil (Economic Formation of Brazil), offered by the University of Brasilia as a mandatory subject for the major in International Relations. The methodology used was primarily a literature review, using Furtado's writings as our starting point, as well as selecting other authors capable of contributing to critical reflections on inequality and the formation of institutions. The results showed notable correlations between the lines of thought cited, with minor divergences explored when necessary.

Keywords: Brazilian Economy. Celso Furtado. New Institutional Economics. Colonial Brazil. Colonies. Institutions. Development.



1. Introdução

Este trabalho tem como propósito fazer uma análise crítica capaz de fornecer uma resposta satisfatória para a seguinte pergunta orientadora: “Como a desigualdade foi impulsionada no Brasil a partir da colonização?”. Para isso, baseei-me nos quinze capítulos iniciais do clássico *Formação Econômica do Brasil*, de Celso Furtado, os quais compõem as três primeiras partes da obra. Devido à extensão da tarefa, o enfoque dado aos escritos de Furtado aqui envolve o desenvolvimento da economia açucareira no país e os fatores iniciais da colonização capazes de gerar comparações com o processo de desenvolvimento das colônias do hemisfério norte. Para sustentar uma resposta satisfatória, a análise crítica também depende de uma seleção específica de pontos trazidos por economistas de viés institucional, em especial aqueles que abordam o desenvolvimento das colônias e a persistência de fatores iniciais enquanto amplificadores da desigualdade e moduladores das instituições presentes. Tais pontos aprofundam, convergem ou discordam daqueles levantados previamente por Furtado, mas não buscam substituí-lo. Com base nessas linhas de pensamento, este trabalho busca enriquecer o conhecimento sobre a estruturação da economia brasileira e tornar acessíveis as principais ideias sobre o desenvolvimento institucional das colônias, revitalizando os escritos originais de Celso Furtado e contribuindo para a compreensão crítica das origens da desigualdade no país a partir de respostas qualitativas.

2. As interpretações institucionalistas

Na atual geração de estudantes, o prestígio da Nova Economia Institucional (NEI) é inegável, agora sob a roupagem econométrica. Sabe-se que a tese de que o desenvolvimento econômico de uma sociedade é condicionado pela formação e evolução das suas instituições ao longo do tempo, característica dessa escola de pensamento, ganhou um significativo grau de reconhecimento nos últimos anos. Tal reconhecimento traduziu-se na popularidade do livro “Por Que As Nações Fracassam?” (2012) e, mais recentemente, na nomeação de Daron Acemoglu, James Robinson e Simon Johnson, três grandes expoentes dessa corrente, ao Prêmio Sveriges Riksbank em Ciências Econômicas em Memória de Alfred Nobel, mais conhecido como Prêmio Nobel de Economia, em 2024.

A fama dessa vertente da literatura de história econômica, por outro lado, não pode ser discutida sem considerar a longa linha de pesquisas e estudos sobre como o tipo de colonização é capaz de influenciar o futuro e o desenvolvimento dos grupamentos humanos. Um dos objetivos do presente artigo é, justamente, conectar as hipóteses recentes com o trabalho de estudiosos brasileiros que há muito registraram a necessidade de entender a colonização portuguesa para entender o Brasil, e assim complementar essas linhas de pensamentos nos pontos em que se encontram. Certamente, o fato de que ambas podem ser entendidas, em graus diferentes, como



uma oposição às proposições neoclássicas que tratam as instituições como aspectos alheios à teoria econômica, auxilia nesse movimento comparativo.

Há um volume considerável de evidência empírica de que a tese que relaciona o tipo de colonização ao desenvolvimento das sociedades foi formulada de forma independente dezenas de vezes, em lugares diferentes no mundo, e se tornou típica da literatura de história econômica já por volta da metade do século XX. O trabalho de investigação realizado por Leonardo Monastério e Philipp Earl (2019) vai além e traça o início do aprofundamento dessas teorias no trabalho do economista alemão Arnold Hermann Ludwig Heeren, que publicou o livro *Manual sobre a história do sistema de países europeus e suas colônias* em 1817, pioneiro na tipificação de colônias segundo quatro objetivos primordiais: Povoamento, exploração, mineração e comercialização. Nessas descrições do século XIX, é possível identificar uma desigualdade mais acentuada em algumas colônias do que outras, ponto que está presente tanto na historiografia econômica clássica do Brasil, quanto nas sugestões mais amplas dos institucionalistas estadunidenses.

No paradigma institucionalista contemporâneo, a noção de que a prosperidade de uma nação depende significativamente de como as instituições foram moldadas ao longo do tempo parece ter sido influenciada, embora não se possa determinar a que grau, por Douglass North. Conhecido pela aplicação de métodos quantitativos rigorosos ao estudo da história econômica, North também tinha as regras formais e informais que organizam uma sociedade como um norteador do seu desenvolvimento, conceito frequentemente expandido para a ideia de “instituição”, e utilizou a desigualdade como uma variável fundamental para definir o impacto a longo prazo que a colonização tinha sobre a economia, o capital humano e a infraestrutura. As divergências quanto à relevância das variáveis na análise das colonizações, seja a desigualdade ou imediatamente as instituições formadas (não enquanto consequências da desigualdade), podem ser frequentemente relevantes entre os institucionalistas, mas, com o objetivo de aproximá-los da obra de Celso Furtado, elas não serão apresentadas neste trabalho.

A nível teórico, um dos aspectos mais interessantes da visão da Nova Economia Institucional é que ela parte do pressuposto de que, ao contrário das alterações na estrutura econômica, as alterações na estrutura institucional são percebidas a partir da lentidão. A instituição é marcada pela continuidade antes da quebra de expectativa, então um atraso das instituições poderá ser muito mais importante e mais desafiador do que um atraso econômico (a corrente de influência negativa parte do primeiro aspecto para o segundo). Pelo seu caráter de longo prazo, problemas institucionais possuem implicações muito mais profundas para a dotação de recursos, a vida das populações, as relações de oferta e demanda, as características dos agentes econômicos e a perpetuação de desigualdades. Logo, a análise institucional pode ser entendida como a outra face de uma economia acelerada e turbulenta na era da globalização hodierna.

Portanto, as interpretações institucionalistas preocupam-se em analisar o desenvolvimento de instituições e seu potencial de, a longo prazo, contribuir para o bem-estar dos indivíduos e o alcance realista dos interesses de uma sociedade. Entre aqueles focados no papel da colonização, seus tipos e persistência dos seus fatores iniciais como entraves ou facilitadores



do desenvolvimento, a análise dos diferentes caminhos de crescimento toma uma forma mais específica e mais facilmente relacionável com o trabalho de Furtado, tal como será desenvolvido em profundidade na seção 4. Antes, será necessário retomar um aspecto específico do estudo clássico do brasileiro, cuja importância é crucial na conexão com os economistas da NEI.

3. Furtado e a interpretação da empresa agrícola

No livro *Formação Econômica do Brasil*, clássico da área de economia publicado em 1959, Celso Furtado descreve, de forma extensa, a formação da estrutura econômica brasileira desde a chegada dos colonizadores e suas implicações, em diversas áreas, para o início do século XIX. Nesse sentido, a empresa agrícola, entendida como o principal fator de sucesso da continuidade da colonização portuguesa no seu estágio inicial e como a grande matriz do principal ciclo econômico brasileiro nos três primeiros séculos, é de fundamental importância na argumentação do autor e não à toa é o foco de pelo menos sete dos doze capítulos iniciais da obra.

Segundo Furtado, foi um conjunto de circunstâncias favoráveis que permitiu o grande êxito da empresa agrícola a partir da segunda metade do século XVI, quando a manutenção da integridade territorial estava ameaçada e Portugal precisava encontrar uma atividade rentável para justificar o empreendimento colonial. As condições climáticas e geográficas da colônia, a experiência portuguesa de plantio em larga escala nas ilhas do Atlântico e a quebra do monopólio do açúcar de Veneza foram, por exemplo, importantes para que a técnica açucareira pudesse ser colocada em prática no Brasil. Do ponto de vista do território brasileiro, a empresa ter sido desenhada ao redor de engenhos representou uma vantagem estratégica, já que eles foram construídos próximos ao litoral e o custo de transporte às embarcações era menor.

Em razão da baixa densidade populacional, a ausência de uma mentalidade capitalista e a indisposição portuguesa de mudar o sentido do projeto exploratório, a mão de obra constituía um problema importante na implementação da empresa agrícola. Esse desafio foi superado primeiramente com a escravidão indígena e, posteriormente, com a reestruturação do tráfico negreiro na segunda metade do século XVI, baseado no complexo mercantil de escravos africanos que os portugueses já conheciam, o que permitiu a rápida expansão da empresa e sua alta lucratividade. A nível de financiamento, o refinamento e a distribuição terem ficado a cargo dos holandeses também foi chave, visto que os flamengos possuíam um domínio invejável do comércio marítimo e suficiente organização para colocar o açúcar na rota de outros países europeus.

A empresa agrícola é avaliada na obra como a primeira atividade comercial que fez com que o Brasil passasse a integrar a economia reprodutiva da Europa, seu rápido sucesso, facilitado também pela decadência espanhola, justificou a continuidade portuguesa. Com o comércio de açúcar e sua alta lucratividade, o autor entende que Portugal pôde equiparar os custos de defesa do território até o final do século XVI, momento em que a produção decuplicou a partir da chegada de 20 mil escravos de origem africana. Não deixa de ser importante citar que isso foi



possível por meio de um aparato legal que permitiu o tráfico negreiro, como também estímulos políticos da Metrópole para que fossem capturados na África, transportados pelo Atlântico e depois vendidos nos portos brasileiros, demonstrando um alto grau de institucionalização.

Além disso, outra característica determinante da economia do açúcar é a ampla concentração da renda nas mãos dos proprietários de engenhos, a qual é interpretada como um fator duplamente problemático: Não só os colonos menos ricos tinham poucas possibilidades de ascensão social e os escravos se mantinham meramente como “capitais físicos” que não recebiam salário e nem consumiam, como também os proprietários jamais se organizaram na formação de outras atividades econômicas que pudessem permitir um desenvolvimento endógeno para a região explorada. Essa renda dos senhores, expressa pelos seus lucros na exportação subtraída da compra e manutenção dos escravos, dos gastos de reposição de equipamentos e do pagamento de fatores de produção, tendia a ser investida no ambiente local somente se o objetivo fosse expandir as unidades produtivas, ou seja, construir mais engenhos. Ademais, a mão de obra escrava não poderia contribuir na dinamização de outras atividades, esse grupo funcionava, segundo Furtado, como instalações de uma fábrica, com uma inversão (custo de compra) e manutenções ocasionais (custos fixos), onde ter muitas máquinas ou muitos escravos aumentava o ativo do empresário, mas não significava a criação de um fluxo de renda interno.

A concentração de renda se aliava ao processo de concentração de terras, iniciada pela divisão do Brasil colônia em capitanias hereditárias, as quais ficavam sob a administração de donatários, isto é, homens leais ao rei que adquiriam grandes pedaços de terra. Em razão da alta concentração e da lucratividade do açúcar, as limitações para que os colonos pobres ou os escravos adquirissem propriedades estavam claras como a luz do dia, sendo os colonos pobres levados a trabalhar frequentemente na pecuária, uma atividade de baixa lucratividade e que não dependia da ocupação permanente de terras. Mais uma vez, a criação de uma instituição, as fazendas dos nobres, se associava às decisões políticas elitistas da Metrópole.

Interessa aqui, para o objetivo do presente artigo, a análise do surgimento de instituições que, ainda que interligadas à implementação da empresa agrícola, perduraram para além do comércio açucareiro e continuam a impactar a sociedade brasileira contemporânea do ponto de vista da desigualdade. A partir da apresentação de Furtado, é possível definir pelo menos dois aspectos institucionais amplos que cumprem essas condições: Imposição da escravidão e estabelecimento da distribuição de terras, os quais serão entendidos aqui como parte da dotação de fatores iniciais do processo colonial. A utilização desse termo busca refletir uma intersecção entre a historiografia econômica brasileira e a interpretação presente nas teorias de viés institucionalista no âmbito do desenvolvimento, com atenção especial para aquelas que abordam os caminhos diferentes de crescimento entre as economias do Novo Mundo, cuja importância nos Estados Unidos é crescente desde a década de 1990.



4. Dotação de fatores iniciais

É de conhecimento geral que as colônias do chamado Novo Mundo foram conhecidas pelos exploradores europeus em condições relativamente similares: Longas expedições marítimas nos séculos XV e XVI no contexto do renascimento comercial e fim do sistema feudal, onde os territórios encontrados eram marcados pela abundância de terras e pela ocupação de populações originárias que, apesar de muito diferentes entre si, eram marcadas em conjunto pelo desconhecimento da pólvora. Embora essa similaridade tenha representado uma vantagem estratégica para o colonizador em aparentemente todos os casos, outros aspectos da dotação de fatores iniciais produziram diferenças entre as colônias americanas e impactaram o seu desenvolvimento ao longo do tempo. No âmbito da desigualdade de renda e desigualdade na distribuição do poder político, grandes diferenças podem ser traçadas entre o desenvolvimento dos Estados Unidos e do Canadá em relação ao desenvolvimento das colônias sul-americanas.

Na prestigiosa análise de Engerman e Sokoloff (1994), estabelece-se que a principal interpretação da historiografia econômica americana é que a divergência de trajetórias entre as colônias do continente pode ser atribuída ao crescimento econômico que os Estados Unidos e o Canadá alcançaram ao longo do século XVIII e no início do século XIX. Essa conclusão, de viés comparativo, avalia que as outras ex-colônias teriam alcançado, se é que alcançaram, esse objetivo somente no final do século XIX ou ao longo do século XX. No entanto, a interpretação desses autores e, de um conjunto de estudiosos inspirados pela dupla, é que devemos expandir a comparação para uma análise mais ampla da formação de desigualdades de renda, capital humano e poder político nesses locais, sugerindo que as raízes da extensa desigualdade nesses casos estão na dotação de fatores iniciais diferentes nos processos de colonização analisados.

O primeiro fator inicial trabalhado pela dupla foi a condição geográfica e climática de algumas das colônias e, em especial, como ela influenciou a chegada de grandes massas de trabalhadores, especialmente escravos, para atuar no cultivo das commodities tropicais, as quais aconteciam em um regime de monocultura de grande proporção. Essa relação pode ser facilmente entendida ao atestar que as colônias que não se especializaram nesse tipo de cultivo e extração, como as da Nova Inglaterra, os assentamentos franceses e ingleses no Canadá e parte dos domínios espanhóis, eram as que mais se diferenciavam do clima tropical e, por consequência, foram as que menos dependeram da mão de obra escrava. No caso brasileiro, esse fator é realçado pela empresa agrícola ser uma reprodução da atividade que os portugueses já haviam realizado em algumas ilhas do Oceano Atlântico mediante, tal como comenta Boris Fausto (1994, p. 29), “experiências significativas de plantio em larga escala, empregando trabalho escravo”.

Entende-se que uma das consequências do estabelecimento de múltiplas empresas agrícola-coloniais no continente, enquanto resultado do primeiro fator inicial, foi o desenvolvimento de uma desigualdade extrema, a nível de renda e capital humano, entre as populações brancas e negras desse tipo de colônia. O domínio das elites locais, potencializado pela concentração de lucro e de terras, foi amparado pela parcela desproporcional de poder político que elas possuíam, firmando raízes institucionais. Logo, a hipótese institucionalista de Engerman e Sokoloff é que a desigualdade econômica, inerente ao sistema escravista agrícola-colonial,



impulsionou, a longo prazo, o desenvolvimento de instituições “que protegiam os privilégios das elites e restringiam as oportunidades para que a grande massa da população participasse plenamente da economia comercial, mesmo após a abolição da escravidão” (1994, p. 221).

Na região Nordeste do Brasil, onde o empreendimento açucareiro se iniciou e permaneceu por mais tempo como consequência do primeiro fator, a persistência da desigualdade parece ter sido significativamente mais importante que em outras regiões do país. Em um artigo publicado por William Easterly (2002), conhecido especialista em desenvolvimento, o Nordeste brasileiro é utilizado como um exemplo da tese de que desigualdade traz efeitos que reprimem o desenvolvimento, associando o baixo capital humano e a alta desigualdade da economia açucareira com os reduzidos índices de escolarização e alfabetização da região no século XX. Tal conclusão, embora mais generalista, não se afasta daquela encontrada por Furtado, onde o lento atrofiamiento do sistema econômico nordestino é entendido como uma consequência do seu modelo concentrador e perpetuador da desigualdade, como será levantado mais adiante.

Em um encontro com Furtado no ano de 1961, o já mencionado Douglass North também propôs contribuições interessantes para a análise de como o início da colonização afetou, em particular, a região Nordeste. Embora essa discussão se relacione mais com o plano diretor proposto pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) naquele ano, liderada por Furtado, é evidente que sua visão é carregada do que ele interpreta como os principais problemas do desenvolvimento histórico da região. North apresenta uma oposição à defesa da industrialização que Furtado propunha e avalia que as razões do baixo desenvolvimento industrial nordestino estariam associadas às condições históricas como “o tamanho do mercado regional, a baixa qualidade da mão de obra e a falta dos recursos naturais básicos para o desenvolvimento da atividade industrial” (North, 1961, p.2).

Ao referir-se ao tamanho do mercado, North é, em outros momentos da sua passagem no Brasil, enfático na defesa de que a superpopulação era o principal entrave para o desenvolvimento do Nordeste no século XX. Tal conclusão não se distancia de Furtado, que em *Formação Econômica do Brasil* já registrava como a economia de subsistência permitiu, durante o atrofiamiento da economia açucareira desde a segunda metade do século XVII, um crescimento populacional nordestino concomitante à estagnação da região, mas suas posições na SUDENE priorizavam a viabilidade da industrialização ante o estímulo de uma migração capaz de corrigir esse quadro histórico. Para além dessa divergência, North também era mais cético em relação ao papel de uma reforma agrária, defendida por Furtado como um mecanismo para corrigir a desigualdade distributiva onde, pela intervenção da superintendência, ocorreriam alterações técnicas na produção de cana para favorecer unidades produtivas familiares de menor escala. A visão do americano parece partir de uma institucionalização mais dura, onde a estrutura fundiária já é pré-condicionada pela possibilidade de cultivar determinados produtos ou não, produzindo uma inflexão interessante que, dentro do debate dos fatores iniciais, merece ser discutida.



Nesse contexto, a distribuição de terras será trabalhada como a segunda dotação de um fator crucial no início da colonização brasileira, realizada pela priorização de grandes latifúndios e concentrada entre nobres leais ao rei português, os quais recebiam privilégios específicos da Metrópole para estimular a obtenção de escravos e a implementação de engenhos de açúcar. Essa estrutura contrasta diretamente com aquela aplicada no hemisfério norte do continente, seja na Nova Inglaterra ou, inicialmente, nas Antilhas francesas e inglesas. Nesses locais, predominou o sistema de pequena propriedade e a servidão temporária, baseada no acúmulo de patrimônio do imigrante na forma de terras concedidas após um tempo delimitado de trabalho ou de pequenas indenizações. Segundo Furtado, esse modelo, no contexto brasileiro, “não apresentava atrativo ou viabilidade, pois, sem grandes concentrações de capital, as terras praticamente não tinham valia econômica” (1959, p. 18).

Ora, o que a análise de Furtado propõe se não uma atribuição, mesmo que implícita, aos fatores iniciais da colonização como propulsores da desigualdade? Com uma população mais disposta a migrar, uma Metrópole que não impunha severas limitações na distribuição de propriedades e a ausência de condições climáticas para comercializar um artigo de mercado que interessasse a Europa, as colônias da América do Norte foram dotadas de fatores iniciais que lhes propiciaram uma estrutura mais igualitária e homogênea que a brasileira. Ademais, esse argumento pode ser incrementado por aquele desenvolvido por Engerman e Sokoloff, e que se assemelha à proposição original de North, afirmando que a natureza dos produtos foi determinante para moldar a escala de produção e que a oposição entre cana-de-açúcar e trigo ou milho, esses cultivados em fazendas familiares, afetou o tipo de mão de obra, a composição racial das populações e a distribuição de riqueza nas colônias.

As noções discutidas contribuem para a ideia de que tanto a natureza dos produtos, como a institucionalização da posse de terras, moldava o tamanho das plantações e o desenvolvimento do sistema econômico. No entanto, percebe-se também que ambas as linhas argumentativas são capazes não apenas de combinar os dois grandes fatores iniciais trabalhados aqui, mas também de estabelecer uma correlação entre eles e a distribuição de poder político nas colônias. Se as condições iniciais propiciam maior desigualdade, serão formados grupos de interesse menos igualitários e com interesses mais predatórios, eles irão desenhar políticas e moldar instituições que impulsionem a desigualdade original em uma escala mais ampla e, assim, questões como a de distribuição de terras passam a estar intrinsecamente conectadas à desigualdade de poder político.

O baixo capital humano, a desigualdade de poder político e a problemática distribuição de riqueza não se dissociam do sistema escravocrata, prolongado por mais de três séculos no Brasil, esse entendido por Furtado como um sistema de poder regional antes de um sistema econômico, no sentido de que os hábitos e práticas que institucionalizaram a escravidão foram mais importantes para a sua continuidade do que os seus possíveis ganhos para a economia. O próprio economista brasileiro atesta que, mesmo em comparação às regiões escravocratas do sul dos Estados Unidos, a mortalidade dos escravos brasileiros era significativamente mais alta, provavelmente em razão de condições de vida mais extenuantes. Ademais, outro argumento,



dessa vez utilizado por Engerman e Sokoloff, é que mesmo as plantações de tabaco, arroz e algodão do sul dos Estados Unidos, baseadas na mão de obra escrava em grandes latifúndios, tinham um tamanho modesto, entre os séculos XVI e XVIII, em comparação ao empreendimento açucareiro estabelecido na costa brasileira no mesmo período. Dentro dos estados americanos, estudos como o de Nathan Nunn (2007) encontram uma correlação negativa entre o uso de escravos no passado e a renda atual, embora avalie divergências em relação ao impacto do tamanho das plantações nas quais os escravos trabalhavam como um amplificador da desigualdade.

Em geral, a persistência dos fatores iniciais pode parecer um argumento bastante abstrato em razão da distância temporal entre o início da colonização e a desigualdade apresentada nas ex colônias na atualidade, mas, seja nas teses institucionalistas ou na análise de Furtado, é mantido um mesmo cerne referente às limitações evolutivas impostas pelos fatores que introduziram a economia do açúcar no Brasil. Mediante variáveis instrumentais, Acemoglu, Johnson e Robinson (2001), demonstram o estabelecimento de piores instituições em relação às condições do ambiente tropical, tipicamente mais agressivo ao colonizador europeu, e propõem que, ao “começarem” com uma desigualdade extrema, as elites das colônias agrícolas puderam formar instituições que lhes favoreceram, no âmbito legal, sobre o resto da população e assim contribuíram para a persistência de disparidades jurídico-políticas ao longo do tempo. Interessa, em menor grau, a ideia de que essas instituições são classificadas como extrativistas por pertencerem a Estados extrativistas, os quais afastaram-se, nas colônias que estabeleceram, das garantias de propriedade privada da Europa, mantidas nos Estados não-extrativistas. Por outro lado, no capítulo IX de *Formação Econômica do Brasil*, Celso Furtado foca nas condições específicas da produção de açúcar, enquanto o sistema que introduziu a ocupação extensiva do território nacional, e conclui que, em razão da situação monoprodutora limitar o investimento em outras áreas, da sua estrutura econômica ser facilmente preservada em momentos de crise via mapeamento da demanda e da renda total ficar concentrada em cerca de 90% nas mãos dos proprietários de terras, as condições de formação desse sistema se traduziam na sua persistência (limitação da evolução estrutural).

É possível perceber como o tema da dotação de fatores iniciais permite amplas reflexões sobre como as desigualdades foram impulsionados desde o Brasil colônia, seja com as descrições específicas de Celso Furtado ou as sugestões gerais sobre as diferenças nos processos de colonização trazidas pelos institucionalistas. Um dos autores capazes de fortalecer essa ponte é, sem dúvida, Caio Prado Jr. em *Formação do Brasil Contemporâneo*, mencionado no estudo de Monastério e Earl como o primeiro livro a reproduzir no Brasil a tipologia das colônias desenvolvidas nos séculos XIX e XX. Sua interpretação dual entre uma colônia de povoamento e uma colônia de exploração enfatiza a importância dos fatores e objetivos iniciais dos colonizadores como determinantes do desenvolvimento, possivelmente com mais sucesso na abordagem do fator populacional enquanto uma variável importante, já que foi pioneiro na tese de que Portugal não poderia povoar a colônia em razão da ausência de excedente populacional, ao contrário da conturbada situação política inglesa, que estimulou a migração de determinados grupos.



5. Demais reminiscências das instituições coloniais

As desigualdades na formação e desenvolvimento de capital humano entre as colônias foram previamente mencionadas como vetores importantes nas disparidades contínuas apresentadas entre esses territórios. Nesse sentido, o estabelecimento de escolas primárias, instituições fundamentais para fomentar a alfabetização da população e instruir ela a nível básico, pode ser entendido como um fator crucial para superar, ainda que parcialmente, a persistência da desigualdade originária da dotação de fatores iniciais nos processos coloniais. A capacidade de investir massivamente em uma educação primária capaz de afetar a maior parte da população ficou, no entanto, reduzida aos Estados Unidos e ao Canadá durante o século XIX, novamente apresentados enquanto exceções no continente.

Em suporte à formulação de Caio Prado Jr. sobre a colonização norte-americana, a qual propõe que a sociedade formada na Nova Inglaterra tinha características mais homogêneas e reproduziu a maior parte das características originais europeias, o desenvolvimento da educação primária nas colônias do norte parece ter sido uma prioridade desde o início do povoamento. Segundo Engerman e Sokoloff (2000), as escolas nessa região foram organizadas e financiadas a nível local rapidamente, aludindo à “institucionalização organizada e eficiente” (CREMONESE, 2014, p. 182) registrada na participação cívica dos pequenos vilarejos da Nova Inglaterra, admirados por Tocqueville no célebre *Da democracia na América*. Ao contrário dos Estados Unidos e do Canadá, as outras colônias do continente não se organizaram em termos de investimentos a partir dos recursos locais, mas iniciaram investimentos massivos a partir dos governos nacionais, movimento que aconteceu pelo menos 75 anos depois das colônias do norte.

Consequentemente, a população americana e canadense possuía um grau de alfabetização, já na metade do século XIX, que mesmo os vizinhos que mais rapidamente investiram na educação primária no hemisfério sul, como a Argentina e o Uruguai, só alcançariam no século XX. No caso brasileiro, o censo demográfico de 1872 revela que apenas 15,8% dos brasileiros acima de 7 anos de idade eram alfabetizados, percentual que corresponde a cerca de 80% e 82%, respectivamente, para os Estados Unidos e o Canadá em um período similar, com a nuance de que apenas crianças acima de 10 anos eram avaliadas pelos censos americanos do período. Esse quadro, apurado com precisão por Engerman e Sokoloff, revela que esses países apresentaram diferenças significativas no estímulo ao capital humano antes e depois das suas independências, reforçando a sugestão institucionalista de que as sociedades formadas no chamado Novo Mundo tiveram, por serem formadas sob graus de homogeneidade e intenções distintas, graus de desigualdade diferentes entre si, os quais se traduzem no fato de que, nas sociedades mais desiguais, as instituições foram mais frequentemente moldadas para beneficiar uma pequena elite que em sociedades menos díspares.

Um dos testes econométricos internos mais bem-sucedidos dessa sugestão foi recentemente realizado pelos pesquisadores brasileiros Rudi Rocha, Claudio Ferraz e Rodrigo R. Soares



(2017), eles documentaram os efeitos duráveis dos assentamentos de imigrantes localizados no estado de São Paulo, patrocinados pelo governo e estabelecidos nos séculos XIX e XX. Ocupados por imigrantes com habilidades relativamente bem-desenvolvidas, percebeu-se que, ao longo do tempo, a seleção de imigrantes que essas comunidades aceitaram manteve um padrão similar, estando fortemente associado a uma maior renda per capita, e que um nível de desigualdade importante surgiu entre os municípios originalmente patrocinados pelo governo, os quais experimentaram mudanças estruturais mais rápidas e um desenvolvimento mais significativos no âmbito escolar em relação aos municípios que não passaram pelo mesmo processo em São Paulo. As conclusões encontradas por esses pesquisadores são consistentes com as propostas gerais mencionadas aqui, seja por Engerman e Sokoloff ou pelo trio recentemente laureado na Suécia.

As conclusões encontradas nesse caso são realçadas pelo fato de que a única diferença marcante entre as áreas do estado de São Paulo analisadas é o fato de que algumas receberam imigrantes a partir do patrocínio do Estado. As áreas que os receberam, em especial, tiveram índices mais elevados a nível de matrícula nas instituições de ensino e no número de professores presentes nas escolas ao longo do século XX, como também registraram mudanças em uma empregabilidade cada vez menos voltada para a agricultura e, não menos importante, uma renda per capita, em conjunto, 15% superior ao resto do estado. Atributos produtivos que não podem ser observados pela vertente econométrica, mas que são citados na historiografia econômica brasileira, são mencionados no trabalho dos brasileiros como fatores que não puderam ser analisados no caso específicos dos assentamentos paulistas, como as habilidades de trabalho prévias dos imigrantes ou alguns de seus hábitos culturais. Por isso, mais uma vez, o presente artigo relembra a importância de ter a diversidade de perspectivas em mente ao analisar como a desigualdade foi impulsionada no Brasil ao longo do tempo.

Em conformidade com a supracitada concepção de que não podemos explicar as diferenças no desenvolvimento entre as colônias somente pelos acontecimentos dos séculos XIX e XX, compartilhada no estudo aprofundado de Furtado, urge trazer marcadores de desigualdade anteriores a esse período. Em trabalhos pioneiros, como o de Felipe Caicedo e Humberto Laudaes (2023), utilizou-se um desenho de regressão descontínua para avaliar o impacto da escravidão no Brasil no âmbito da desigualdade à longo prazo. Nesse caso, a demarcação original do Tratado de Tordesilhas e seu impacto para os municípios que se desenvolveram próximos aos dois lados da demarcação da linha foi utilizada enquanto uma descontinuidade para sustentar que, mesmo séculos após a assinatura do tratado, o número de escravos do lado português era significativamente superior ao antigo lado espanhol durante a realização do Censo Brasileiro de 1872. Segundo esses autores, a descontinuidade no número de escravos produziu desigualdades entre os municípios a nível de renda, educação, emprego e preconceito sofrido pela população negra, sendo esses fatores detectados pelo Índice de Gini em conjunto com os dados da renda domiciliar per capita mensal segundo o Censo Brasileiro de 2010.

É particularmente chamativo, nesse estudo, o fato de que a desigualdade de renda entre aqueles que se auto identificam como brancos e aqueles que se auto identificam como pretos ou pardos



é maior nos municípios ao leste da linha, no lado português, que ao oeste da linha, embora eles estejam sujeitos à políticas públicas e circunstâncias semelhantes há séculos. Embora a importância dada ao longo prazo seja generalizada, vale registrar que, seja na análise de Furtado em *Formação Econômica do Brasil* ou em clássicos da historiografia brasileira, a demarcação original do Tratado de Tordesilhas em 1494 raramente é vista como um fator determinante na ampliação da desigualdade no país sob essa escala, especialmente em razão das alterações que levaram à exploração dessa parcela do território por colonos pobres associados à economia criatória. Portanto, o mérito do estudo conduzido por Caicedo e Laudares está em revelar como até mesmo a institucionalização de um tratado de demarcação prévio à interiorização do país pôde contribuir, por mais de meio século, para o desenvolvimento de padrões de desigualdade no Brasil, evidenciando a abrangências das reminiscências das instituições coloniais.

6. Conclusão

A partir dos quinze capítulos iniciais da obra *Formação Econômica do Brasil* e de pontos específicos na literatura de história econômica trazidos por economistas pertencentes à chamada Nova Economia Institucional (NEI), esse artigo buscou unir diferentes interpretações sobre como a desigualdade foi impulsionada desde a colonização brasileira. Embora possamos encontrar respostas para esse questionamento de múltiplas formas, as linhas de pensamento abordadas no presente trabalho são capazes de respondê-la satisfatoriamente e fornecer uma ponte importante, embora modesta, entre os tradicionais diagnósticos da historiografia econômica clássica do Brasil e os contemporâneos institucionalistas, muitos deles adeptos de metodologias quantitativas indisponíveis aos clássicos. Por conseguinte, espera-se que, a partir da leitura do artigo, seja possível reforçar a compreensão de que a colonização do Brasil impôs níveis de desigualdade que formularam padrões que continuam a afetar a nossa sociedade.

Pode-se extrair desse trabalho a ideia de que as instituições impostas e desenvolvidas ao longo do tempo modularam a dotação de fatores iniciais da colônia brasileira de forma crucial, sendo essa uma tese fruto da tradicional ideia de que o tipo de colonização determina ou condiciona o caminho de crescimento de uma sociedade. Um dos objetivos cumpridos por esse trabalho também foi apontar que as conhecidas teses sobre a tipologia das colonizações não surgiram nem na vertente econométrica recente e nem nos escritos brasileiros das décadas de 1940 e 1950, mas foram desenvolvidas, muitas vezes de forma independente, sob diferentes perspectivas, ora com ênfase na desigualdade, ora com ênfase nas instituições. Faz-se necessário, portanto, valorizar como as diferentes vertentes do pensamento econômico foram capazes de delinear quadros, por vezes convergentes e por vezes dissemelhantes, capazes de explicar o desenvolvimento das colônias e contribuir, em particular, para a compreensão do complexo caso brasileiro.

Sob essa ótica, é possível que muitos se surpreendam com a noção de que a literatura norte-americana é capaz de oferecer contribuições tão importantes para a análise do Brasil colônia, embora a amplitude desse movimento seja certamente mais extensa do que a apresentada aqui.



Nessa análise crítica, está implícito, por exemplo, o quão conclusiva essa literatura foi na oposição à ideia de que a identidade do colonizador é um fator determinante no avanço de uma ex-colônia, o que é evidenciado pela exclusão desse fato, entendido também como um argumento essencialmente antieconômico, nos grandes trabalhos da área nos últimos 40 anos. Easterly (2002), na sua tentativa de medir o quanto a desigualdade determina o desenvolvimento de um país por meio de diversas variáveis, atestou que a língua falada, isto é, a língua aprendida a partir do colonizador, é uma variável particularmente ruim para entender essa relação, com as instituições e a escolarização obtendo resultados muito mais significativos. Tal oposição pode gerar algo de interesse se interpretada também enquanto uma oposição ao pensamento de que a colonização portuguesa produziu uma hibridez positiva no Brasil em razão da identidade do colonizador propiciar vínculos particulares entre escravos e nativos, defendida pela linha inaugurada por Freyre (1933), mas felizmente desmontada pelos próprios sociólogos e economistas brasileiros.

Não há resposta grande o suficiente para abarcar de que modo a desigualdade foi impulsionada pelo Brasil desde a colonização, mas espera-se que esse artigo tenha sido capaz de orientar, a partir da redução proposta, caminhos diversos para compreender a questão. Espera-se também que, a partir da demonstrada flexibilidade da tese das tipologias de colonização e a possibilidade de conectar as linhas de pensamento desenvolvidas pela historiografia econômica brasileira e a vertente econométrica norte-americana, o reconhecimento da importância de analisar as instituições como propulsoras do desenvolvimento possa ultrapassar os meritórios trabalhos de Acemoglu, Johnson e Robinson. Em síntese, o artigo convida o estudante brasileiro a aprofundar-se no tema do impacto da colonização não como uma condenação do desenvolvimento do país, mas como uma maneira de interpretar o Brasil atual para além dos indispensáveis estudos de Celso Furtado e, assim, analisar caminhos para um país mais inclusivo no futuro.



7. Referências

ACEMOGLU, Daron; JOHNSON, Simon; ROBINSON, James A. The Colonial Origins of Comparative Development: An Empirical Investigation. Working paper, Massachusetts Institute of Technology and University of California, Berkeley. 2000.

ACEMOGLU, Daron; JOHNSON, Simon; ROBINSON, James A. Reversal of Fortune: Geography and Institutions in the Making of the Modern World Income Distribution. The Quarterly Journal of Economics, v. 117, n. 4, p. 1231-1294, Jan. 2002

BARBOSA, Marcos Arzua; CARVALHO, Fabrício Castro de. Uma Nova Perspectiva TeóricoAnalítica Para As Mudanças Estruturais: A Nova Economia Institucional (NEI). Revista CADE, v. 11, n. 1, 2012. Disponível em: <https://editorarevistas.mackenzie.br/index.php/cade/article/view/4910>. Acesso em: 14 jun. 2025.

BOIANOVSKY, Mauro; MONASTÉRIO, Leonardo. O Encontro Entre Douglass North e Celso Furtado em 1961: Visões Alternativas Sobre a Economia Nordestina. Revista Brasileira de Economia, Rio de Janeiro, v. 72, p. 275-291, 2018.

CREMONESE, Dejalma. Alexis De Tocqueville e os fundamentos cívicos da Democracia na América. Teoria & Pesquisa Revista de Ciência Política, São Carlos, v. 23, n. 1, 2014. DOI: [dx.doi.org/10.22456/2176-5456.71287](https://doi.org/10.22456/2176-5456.71287). Disponível em: <https://www.teoriaepesquisa.ufscar.br/index.php/tp/article/view/383>. Acesso em: 14 jun. 2025.

FAUSTO, Boris. História do Brasil. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo – Fundação do Desenvolvimento da Educação, 1995.

FREYRE, Gilberto. Casa-grande & Senzala: Formação da família brasileira sob regime da economia patriarcal. 48. ed. São Paulo: Grupo Editorial Global, [1933] 2003.

FURTADO, Celso. Formação econômica do Brasil. 32. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, [1959] 2005.

EASTERLY, William. Inequality *does* Cause Underdevelopment: New evidence from commodity endowments, middle class share, and other determinants of per capita income. Working paper, Center for Global Development, Institute for International Economics, Washington DC, jan. 2002.

ENGERMAN, Stanley L; SOKOLOFF, Kenneth L. Factor Endowments, Institutions, and Differential Paths of Growth Among New World Economies: A View from Economic Historians of the United States. Historical Paper n. 66, National Bureau Of Economic Research, Cambridge, Massachusetts, dez. 1994.

ENGERMAN, Stanley L; SOKOLOFF, Kenneth L. Institutions, Factor Endowments, and Paths of Development in the New World. Journal of Economic Perspectives, American Economic Association, v. 14, n. 3, p. 217-232, jul. 2000.



ESLAVA, Francisco; CAICEDO, Felipe Valencia. Origins of Latin American Inequality. InterAmerican Development Bank Working Paper Series No IDB-WP-01492, jul. 2023.

LAUDARES, Humberto; CAICEDO, Felipe Valencia. Tordesillas, Slavery and the Origins of Brazilian Inequality. CEPR Working Paper 18245, jun. 2023.

MONASTÉRIO, Leonardo; EHRL, Phillip. Colônias de Povoamento versus Colônias de Exploração: de Heeren a Acemoglu, *Análise Econômica*, Porto Alegre, v. 37, n. 72, p. 213-239, mar. 2019. DOI: [dx.doi.org/10.22456/2176-5456.71287](https://doi.org/10.22456/2176-5456.71287).

NETO, Giacomo Balbinotto. As Contribuições de Daron Acemoglu, Simon Johnson e James A. Robinson e o Prêmio Nobel de Economia 2024. *Análise: Conjuntura Nacional e Internacional*. FCE/UFRGS. Porto Alegre. 29 out. 2024.

NORTH, D. C. Analysis of the new Sudene Five Year Plan for the Development of the Northeast [Douglass Cecil North papers, Box 47]. David M. Rubenstein Rare Book & Manuscript Library, Duke University, North Carolina. 1961.

NUNN, Nathan. Slavery, Inequality, and Economic Development in the Americas: An Examination of the Engerman-Sokoloff Hypothesis. Department of Economics, Harvard University, out. 2007.

PRADO JR., Caio. *Formação do Brasil Contemporâneo*. 6 ed. São Paulo: Editora Brasiliense, [1942] 1961.

ROCHA, Rudi; FERRAZ, Claudio; SOARES, Rodrigo R. Human Capital Persistence and Development. *American Economic Journal: Applied Economics*, v. 9, n. 4, p. 36–105, out. 2017. DOI: [dx.doi.org/10.1257/app.20150532](https://doi.org/10.1257/app.20150532)



Usina Integrada de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos: Estudo de Viabilidade Financeira para o Consórcio Municipal de Comares

Integrated Plant for Urban Solid Waste Treatment: Financial Viability Study for the Municipal Consortium of Comares

Isadora Maria Fontenele Soares¹⁰

Julia Soares Silva¹¹

Sarah Mickaelly Santos de Souza¹²

Tamilly Vitória Martins Brito¹³

Resumo: Este artigo analisa a reestruturação do projeto do Consórcio Municipal para Aterro de Resíduos Sólidos (Comares), reconfigurado em uma usina de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), com a introdução da produção de biogás e biometano, além da incineração de rejeitos convertidos em energia elétrica. O estudo adota projeções prospectivas - otimista, intermediária e pessimista – considerando as incertezas técnicas e operacionais presentes em projetos dessa natureza. Fundamenta-se na avaliação sistemática de custos, receitas, riscos e retornos, utilizando indicadores como VPL, TIR e ACB para orientar decisões de investimento e maximizar valor do investimento. Os resultados indicam que a reciclagem e a produção de composto combinadas à geração de biogás ou biometano, não sendo viável a produção de ambos simultaneamente, configuram-se como a solução de maior viabilidade financeira no contexto da usina. Entretanto, a incineração dos rejeitos mostra-se inviável devido ao alto custo. Conclui-se que a reestruturação do projeto do Consórcio Municipal para Aterro de Resíduos Sólidos (Comares) em uma usina integrada de tratamento de resíduos sólidos possui potencial significativo para conciliar viabilidade financeira, sustentabilidade e benefícios sociais.

Palavras-chaves: Análise de Projetos; Manejo de RSU; Sustentabilidade; Biogás; Comares.

Abstract: This article analyzes the restructuring of the Municipal Solid Waste Landfill Consortium (Comares) project, which is being reconfigured into an Urban Solid Waste (USW) plant through the introduction of biogas and biomethane production, as well as the incineration

¹⁰ Graduanda em Ciências Econômicas (UnB); mariaisadora224@gmail.com;

¹¹ Graduanda em Ciências Econômicas (UnB); juliasoares.s2704@gmail.com;

¹² Graduanda em Ciências Econômicas (UnB); mickaellysarah0101@gmail.com;

¹³ Graduanda em Ciências Econômicas (UnB); tamilly.brito@outlook.com;



of rejects, the latter being converted into electrical energy. The study adopts prospective projections – optimistic, intermediate, and pessimistic – given the technical and operational uncertainties in projects of this nature. It is based on the systematic evaluation of costs, revenues, risks, and returns, using indicators such as NPV, IRR, and CBA to guide investment decisions and maximize investment value. The results indicate that recycling and compost production, combined with the generation of biogas or biomethane, as the simultaneous production of both is not viable, offer the solution with the greatest financial viability within the context of the plant. However, the incineration of residues proves unviable due to its high cost. It concludes that the restructuring of the Municipal Solid Waste Landfill Consortium (Comares) into an integrated solid waste treatment plant holds significant potential to reconcile financial viability, sustainability, and social benefits.

Keywords: Project Analysis; USW Management; Sustainability; Biogas; Comares.



1. A Política Nacional de Resíduos Sólidos: Breve Introdução

A Lei nº 12.305/2010 estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) no Brasil, fornecendo diretrizes para o manejo integrado e sustentável dos resíduos. A PNRS prioriza a não geração, a redução, a reutilização, a reciclagem e o tratamento dos resíduos, além de exigir a substituição dos lixões por aterros sanitários controlados. Determina, também, a logística reversa para setores específicos, obrigando fabricantes e comerciantes a recolherem produtos pós-consumo. Incentiva a reciclagem, a inclusão de catadores e a economia circular, seguindo o princípio do poluidor-pagador, que responsabiliza os geradores de resíduos pelos custos da destinação correta (Brasil, 2010).

Com o objetivo de reduzir os impactos dos lixões a céu aberto, o Congresso Nacional fixou prazo para a erradicação desses locais, que foi estendido até 2 de agosto de 2024. Segundo estimativa elaborada pelo Panorama dos Resíduos Sólidos 2023, existiam mais de 3 mil lixões em operação no país. De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), seria necessário um investimento de R\$ 11,6 bilhões até 2031 para cumprir com o objetivo de tratamento e destinação final adequada dos resíduos. Além disso, considerando o que prevê a legislação, calculam-se custos anuais de operação e manutenção de R\$ 15,59 bilhões.

A Lei 11.107/2005 estabeleceu as diretrizes e normas para a formação e implantação de consórcios, e prestação de serviços públicos. Nesse sentido, as ações dessas entidades podem ser realizadas via gestão associada, nos termos do Decreto 6.017/2007 (art. 3º, IX):

o exercício das atividades de planejamento, regulação ou fiscalização de serviços públicos por meio de consórcio público ou de convênio de cooperação entre entes federados, acompanhadas ou não da prestação de serviços públicos ou da transferência total ou parcial de encargos, serviços, pessoal e bens essenciais à continuidade dos serviços transferidos.

À luz desse cenário, o Consórcio Municipal para Aterro de Resíduos Sólidos (Comares), localizado no estado do Ceará, propõe a implantação de uma usina de tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) com objetivo de promover soluções sustentáveis e economicamente viáveis para o manejo de resíduos gerados pelos municípios consorciados, buscando resolver o desafio dos resíduos descartados a céu aberto e sem o devido tratamento.

Dados coletados pelo Instituto Água e Saneamento (IAS), amparados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), no ano de 2022, mostram a perspectiva atual da coleta de resíduos sólidos domiciliares nos nove municípios que integram o Consórcio Comares. Destaca-se o município de Nova Olinda, em que a totalidade de sua população é contemplada com esse serviço, ultrapassando a média do estado do Ceará de 78,39%. Por outro lado, os municípios do consórcio Farias Brito, Santana do Cariri e Altaneira apresentaram os piores desempenhos quanto ao recolhimento dos resíduos, onde menos de 80% dos habitantes têm acesso à coleta residencial. Por fim, é oportuno ressaltar que, em 2022, o município de Missão Velha não declarou se pratica coleta seletiva de resíduos sólidos.



O Consórcio chegou a realizar um estudo de viabilidade em seu Plano de Negócios Referencial para a implementação do aterro sanitário. Entretanto, até o momento, ainda não foi definida a localização do aterro, a tarifa a ser cobrada à população e o projeto não chegou a ser concretizado de fato. Isso faz com que seja relevante a existência de esforços que possam favorecer a sua continuação. Nessa perspectiva, a partir da análise do cenário atual de saneamento e gestão de resíduos sólidos nos municípios que integram o Consórcio, busca-se identificar necessidades e oportunidades para o desenvolvimento de uma usina integrada de tratamento de resíduos sólidos e assim, obter uma solução eficaz que aprimore a destinação desses materiais e contribua para a preservação ambiental.

Dessa forma, por meio da investigação do comportamento do mercado de resíduos e das características dos municípios, pretende-se desenvolver uma solução eficaz que aprimore a destinação desses materiais e contribua para a preservação ambiental. Portanto, verifica-se a necessidade iminente de alternativas de manejo dos RSU que atendam às demandas locais e promovam um impacto positivo na qualidade de vida da população e das futuras gerações, de onde se sugere o desenvolvimento de uma usina integrada de tratamento de resíduos sólidos.

Incorporar tecnologias de valorização energética, como a produção de biogás, biometano e a incineração de rejeitos para geração de energia elétrica pode colaborar para atender às exigências legais e ambientais, bem como viabilizar o empreendimento, diante das limitações orçamentárias e operacionais dos municípios envolvidos. A integração de diferentes formas de tratamento e aproveitamento de RSU colabora com a redução do volume destinado a aterros e melhora o processo de recuperação dos recursos.

Sob essa perspectiva, o presente artigo propõe realizar uma análise financeira de instalação de uma usina integrada, iniciando o processo com a coleta seletiva, seguida pela triagem dos resíduos em recicláveis, orgânicos e rejeitos. Os resíduos recicláveis são basicamente separados por tipo (papel, papelão, plástico, outros metais, alumínio e vidro), a maior parte é destinada à reciclagem, enquanto o restante é destinado para o aterro sanitário. Os resíduos orgânicos podem passar por compostagem ou por digestão anaeróbica, resultando na produção de biogás que, ao ser purificado, gera biometano para uso energético. Os rejeitos são encaminhados para combustão, originando cinzas e escórias, que podem ser parcialmente reutilizadas na construção civil, enquanto a parcela final é direcionada a aterros sanitários. A energia térmica proveniente da combustão é convertida em eletricidade.

Nesse sentido, o objetivo deste estudo é analisar viabilidade financeira, por meio da introdução dos cenários: pessimista, intermediário e otimista, os impactos da incorporação da produção de biogás e biometano no atual projeto de saneamento e gestão de resíduos sólidos Comares Cariri.



2. Resíduos Sólidos Urbanos: Definições e Estratégias de Tratamento

A gestão de resíduos sólidos urbanos apresenta benefícios relevantes, sobretudo após a implementação da PNRS. Entre os principais aspectos positivos estão a redução dos impactos ambientais, como a contaminação do solo e das águas subterrâneas, além da melhoria da saúde pública e da qualidade de vida das comunidades. Outro ponto destacado é o estímulo à economia verde, com geração de empregos em setores como reciclagem e coleta seletiva, além da valorização de materiais recicláveis que podem ser reinseridos na cadeia produtiva (Brasil, 2010; JusBrasil, 2023).

Por outro lado, os desafios da gestão de RSU estão relacionados às fragilidades na implementação das políticas e à falta de integração entre os entes federativos. Muitos municípios ainda enfrentam dificuldades financeiras e operacionais, o que resulta em baixa taxa de reciclagem — inferior a 4% no Brasil — e na persistência de lixões que recebem cerca de 17% dos resíduos gerados nacionalmente. Além disso, há entraves como a ausência de vontade política, a escassez de recursos humanos qualificados e a dificuldade em incluir catadores de forma estruturada e digna nos sistemas de coleta e triagem. Esses fatores comprometem a sustentabilidade econômico-financeira e ambiental dos serviços, exigindo maior articulação entre políticas públicas, sociedade civil e investimentos tecnológicos (Silva; Oliveira, 2020).

É importante definir resíduos sólidos como materiais descartados em decorrência da atividade humana, presentes nos estados sólido e semi-sólido. Muitos desses resíduos podem ser reciclados ou tratados adequadamente, enquanto outros são considerados rejeitos e devem ser descartados de maneira segura. Como é uma parte inevitável dos processos produtivos e do consumo cotidiano, sua gestão eficiente é fundamental para a sustentabilidade ambiental e econômica (SNIS, 2023).

De acordo com a ABNT NBR 10004 (2004), os resíduos podem ser classificados de algumas formas, como origem, grau de degradabilidade e periculosidade, o que é fundamental para determinar sua destinação e manipulação mais adequada (Quadro 1 e Quadro 2).

Quanto ao tratamento de resíduos, o ponto de partida é a coleta realizada na origem. A NBR 12980 define os principais serviços de coleta de resíduos: domiciliar (residências e comércio), varrição (vias públicas), feiras/praias e serviços de saúde (hospitais e clínicas). Grandes geradores de resíduos, como indústrias, supermercados, shoppings e hospitais, devem realizar coleta particular, conforme o princípio do poluidor-pagador (CEMPRE, 2018).

Quadro 1 – Classificação dos resíduos de acordo com a origem

Origem	Descrição
Domésticos	Restos de alimentos, papéis, plásticos e outros materiais comuns do cotidiano
Comerciais	Embalagens, papelada, resíduos de alimentos etc.
Industriais	Materiais como metais, plásticos, resíduos químicos etc
Construção e Demolição	Entulho, madeira, tijolos, gesso etc



Saúde	Resíduos perigosos como materiais contaminados, seringas e produtos farmacêuticos
Agrícola	Restos de culturas, resíduos de pesticidas e fertilizantes
Mineração	Resultantes da extração e processamento de minerais, como rejeitos, estéril e resíduos de processamento
Eletrônicos	Equipamentos eletrônicos e eletrodomésticos, como computadores, televisores e telefones

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 10004 (2004).

Quadro 2 – Periculosidade

Tipo	Descrição
Resíduos Perigosos	Representam riscos à saúde pública e ao meio ambiente. Incluem substâncias químicas, biológicas ou físicas que podem ser tóxicas, inflamáveis, corrosivas ou reativas
Resíduos Não Perigosos	Não apresentam riscos significativos à saúde ou ao meio ambiente. Exemplos incluem resíduos sólidos comuns, como papel, plástico e restos de alimentos

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 10004 (2004).

A coleta dos resíduos sólidos pode ser dividida em duas categorias. A coleta convencional, também chamada de coleta indiferenciada, é caracterizada pelo recolhimento dos resíduos sem separação prévia, o que dificulta a triagem e o reaproveitamento, além de aumentar a quantidade de rejeitos destinados a aterros e o impacto ambiental (SINISA, 2024). Já a coleta seletiva, de acordo com a definição do Ministério do Meio Ambiente (MMA), é o processo de coleta de resíduos previamente separados conforme sua composição. Esse tipo de coleta é fundamental para o funcionamento eficiente de uma planta de tratamento de resíduos sólidos, pois facilita a triagem, aumenta o reaproveitamento dos materiais e contribui para a destinação adequada dos resíduos, reduzindo a quantidade de rejeitos encaminhados aos aterros sanitários e as emissões de carbono (CO₂).

Cabe destacar que, em 2022, dos 1.633 municípios com organizações de catadores mapeadas no Anuário da Reciclagem 2023, apenas 57% declararam ao SNIS possuir coleta seletiva institucionalizada. Entretanto, nem todos destinam os resíduos diretamente a essas organizações, como seria ideal. A Região Sul se sobressai, com 79% dos municípios implementando a coleta seletiva, enquanto as regiões Norte e Nordeste apresentam índices inferiores a 30%, evidenciando uma grande desigualdade regional na implementação desse sistema (Instituto Pragma, 2023).

A destinação dos RSU ainda tem sido predominantemente, em regiões mais vulneráveis do país, o lixão, que se caracteriza como a forma de disposição final de resíduos prejudiciais à sociedade e ao meio ambiente. Trata-se de um grande depósito a céu aberto, sem planejamento, sem controle ou medida de proteção ao meio ambiente e à saúde pública. Esse descarte inadequado tem como consequência impactos negativos, como a contaminação do solo, das águas superficiais e subterrâneas, contaminação do ar, além de atrair animais vetores de doenças.



Nessa perspectiva, estima-se que essa unidade tenha impactos diretos na saúde da população do entorno até um raio de abrangência que pode chegar a 60 km (Exame, s.d.).

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos havia estabelecido um prazo para a erradicação dos lixões até 2014. Entretanto, em 2014 apenas 40% das cidades haviam cumprido essa regra. Com o Marco Legal do Saneamento um novo prazo foi estabelecido: capitais e regiões metropolitanas teriam até agosto de 2021 e cidades menores até 2024 para se regularizar e erradicar a presença de lixões. Como as metas não foram completamente alcançadas, surge então o Projeto de Lei 1323/24 que visa prorrogar por cinco anos o prazo para que os municípios com até 50 mil habitantes encerrem os lixões e adotem a destinação adequada dos resíduos sólidos (Câmara dos Deputados, 2024).

Como alternativas ambientalmente mais adequadas para o descarte dos resíduos, pode-se mencionar o aterro sanitário e o aterro controlado. O aterro sanitário é a melhor opção técnica para a disposição ambientalmente adequada de resíduos sólidos urbanos, que oferece riscos mínimos para o meio ambiente e à saúde pública, quando bem operado. Nesse empreendimento, o solo é nivelado e impermeabilizado, os resíduos são recobertos com terra e há um sistema de drenagem e tratamento para o chorume e os gases liberados. Para ampliar a sua vida útil, o aterro sanitário deve ser a última destinação dos resíduos após serem esgotadas todas as alternativas de reaproveitamento e reciclagem (Exame, s.d.).

O aterro controlado é uma forma intermediária entre o aterro sanitário e o lixão, com algumas melhorias em lixões antigos. Alguns municípios contratam empresas para compactar os resíduos descartados em lixões e, em seguida, recobrir a área com terra. Essa prática é proibida pelos órgãos de controle ambiental, entretanto, há casos que obtiveram licenças de operação estaduais (Exame, s.d.).

3. Etapas de Tratamento dos RSU

Ao chegarem à estação, os resíduos passam por triagem, onde uma parte pode ser destinada a processos biológicos, como a compostagem aeróbia e a digestão anaeróbia, enquanto outra é encaminhado aos catadores, que separam os materiais recicláveis, como papel, plástico, vidro e metais, com base em seu potencial de reaproveitamento e valor de mercado. Os materiais recicláveis são então compactados e vendidos para indústrias, que os transformam em nova matéria-prima, promovendo a economia circular e o fechamento do ciclo da reciclagem (Conke; Nascimento, 2018, p. 2-3).

No entanto, existem resíduos que, mesmo após todas as possibilidades de recuperação, não podem ser reaproveitados. Esses são classificados como rejeitos e devem ser destinados a aterros sanitários, locais projetados para minimizar os impactos ambientais, ou, alternativamente, a processos como a incineração, quando viável (Conke; Nascimento, 2018, p.



2-3). A eficácia do processo depende do envolvimento direto de todos os agentes que geram RSU.

3.1. Compostagem e digestão anaeróbica

A compostagem é um processo natural de transformação da matéria orgânica em adubo, realizado por diversos organismos como minhocas, insetos e microrganismos. Na decomposição controlada, materiais como restos de alimentos, folhas e esterco são convertidos em um composto rico em nutrientes, útil para enriquecer solos. Esse método sustentável pode ser aplicado tanto em áreas rurais quanto urbanas, ajudando a reduzir o desperdício e melhorando a qualidade da terra de forma ecológica (IQSC-USP, 2022).

Além disso, parte da matéria orgânica também pode ser destinada ao processo de digestão anaeróbia em biodigestores, considerando que nem todos os resíduos orgânicos são adequados para a compostagem aeróbia. Esse processo, caracterizado pela ausência de oxigênio, permite a produção de biogás, uma mistura rica em metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), que pode ser utilizada como fonte de energia (CEMPRE, 2018; Embrapa, 2022).

O biogás, pode ser obtido via processo de purificação, no qual são removidos o CO_2 e outros componentes indesejados, resultando no biometano. Esse gás possui qualidade energética comparável à do gás natural, podendo até ser utilizado como combustível para veículos ou injetado em redes de distribuição de gás (ANP, 2020; Embrapa, 2022).

3.2. Incineração

A incineração é um método de tratamento térmico de resíduos sólidos que consiste na queima controlada dos materiais a altas temperaturas, entre $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $1.300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Esse processo reduz significativamente o volume e a massa dos resíduos, transformando-os em cinzas. Em alguns casos, a incineração permite a recuperação de energia na forma de eletricidade ou calor, por meio da tecnologia conhecida como *Waste-to-Energy* (WTE) (Machado, 2015).

A incineração provoca a emissão de poluentes atmosféricos, durante a combustão, como dióxidos de enxofre e óxidos de nitrogênio, que necessitam de sistemas de controle e tratamento adequados para evitar impactos ambientais (Machado, 2015).

A energia térmica gerada na queima é aproveitada por meio de caldeiras, que aquecem a água e produzem vapor que movimenta turbinas acopladas a geradores, convertendo energia térmica em energia mecânica e, posteriormente, em eletricidade.



Por fim, o material residual que não pode ser convertido em energia ou reaproveitado é destinado a aterros sanitários. Dessa forma, o processo busca maximizar o aproveitamento energético dos resíduos, ao mesmo tempo em que reduz o volume final descartado.

4. Metodologia

O estudo baseou-se em dados secundários, projeções estatísticas e parâmetros técnicos utilizados no setor de RSU. Essas informações foram utilizadas para construção do fluxo de caixa, a fim avaliar a viabilidade financeira a partir de indicadores de decisão, como o Valor Presente Líquido (VPL), a relação de Custo-Benefício (C/B) e a Taxa Interna de Retorno (TIR).

4.1. Delimitação da área de estudo

O Consórcio Municipal Comares foi criado em 2009 e tem por objetivo promover a gestão integrada e sustentável dos resíduos sólidos na região do Cariri, garantindo saúde ambiental e qualidade de vida para a população. A região abrangida pelo empreendimento engloba os municípios de Barbalha, Caririaçu, Crato, Farias Brito, Jardim, Juazeiro do Norte, Missão Velha, Nova Olinda, Santana do Cariri e Altaneira, no estado do Ceará (Comares, s.d.). A gestão da região passou a ser competência da empresa Aegea e da Engop Ambiental pelos próximos 30 anos, após a realização do leilão de concessão do local em dezembro de 2022.

4.2. Coleta e Tratamento de Dados

Foram utilizados dados já estabelecidos pelo consórcio Comares e estimou-se anualmente o total da população de cada município com base na taxa de crescimento geométrico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Além disso, foram considerados apenas os valores da gravimetria apresentados na Tabela 1 e os preços dos materiais que mais impactam o cenário da reciclagem, como papel/papelão, plástico, vidro e outros metais, uma vez que esses representam a maior parte do total reciclado no Brasil, conforme pode ser observado na Tabela 2, com base no Anuário da Reciclagem de 2023.

Tabela 1 – Estimativa da Composição Gravimétrica dos RSU coletados no Brasil

Papel/ Papelão	Plástico	Metais	Alumínio	Vidro	Orgânicos	Rejeitos
13,1%	13,5%	2,3%	0,6%	2,4%	51,4%	16,70%

Fonte: Adaptado segundo PLANARES (2020) e IPCC (2006).

**Tabela 2**– Quantidade destinada à reciclagem, por região (em mil toneladas)

	Norte	Centro-Oeste	Nordeste	Sul	Sudeste
%	5,4%	6,8%	13,1%	26,2%	48,5%
Toneladas	96,6	121,2	232,9	464,3	859,8

Fonte: Banco de Dados do Anuário da Reciclagem 2023. Elaboração: Pragma.

Considerando o consórcio Comares, o Plano de Negócios Referencial proposto diz respeito à concessão comum para a prestação dos serviços públicos de manejo de resíduos sólidos do Cariri/CE, considerando um horizonte de concessão de 30 anos para a administração, manejo e gerenciamento da região. Foram estimados o crescimento da população dos municípios e do volume de resíduos e os preços dos insumos foram baseados em dados do SINAPI (Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil), Custo Unitário Básico (CUB), SEEACONCE, FIPE e ANP.

No Plano, destaca-se que a Central de Tratamento Regional de Resíduos (CTR) deverá ser construída numa área estimada de 207.000 m², contemplando também estruturas administrativas e operacionais. Além disso, a tecnologia utilizada na CTR prevê uma recuperação de 12% dos resíduos sólidos e recebimento de 25 toneladas por hora de resíduos a partir da coleta domiciliar.

A composição gravimétrica dos resíduos sólidos varia conforme fatores como hábitos de consumo, características socioeconômicas da população e infraestrutura de coleta e destinação final disponíveis na região.

Diante da ausência de dados gravimétricos específicos da área estudada, adotou-se como referência a composição média dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil, conforme apresentado pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES), com base na análise do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, elaborado pela ABRELPE em 2020 (Giegrich, 2021).

A estimativa de geração de resíduos foi estimada com base nas populações atendidas pela coleta domiciliar de cada município, conforme dados do IBGE (2024) (Tabela 3).

A taxa de crescimento geométrico da população foi aplicada para projetar a geração anual de resíduos, considerando a produção per capita média (kg/hab/dia) para cada localidade (Tabela 4).

Tabela 3 - Estimativa da população, por município do consórcio, atendida com coleta de RSU

Município	População estimada (2024)	Crescimento geométrico da população %	População com coleta de resíduos sólidos %	População com coleta de resíduos sólidos
Crato	138.232	0,65%	83,88%	115.949
Altaneira	6.970	-0,09%	79,62%	5.550



Barbalha	80.217	2,54%	92,05%	73.840
Caririaçu	27.482	0,03%	88,28%	24.261
Farias Brito	18.557	-0,62%	74,11%	13.753
Jardim	28.707	0,26%	83,91%	24.088
Missão Velha	38.767	0,69%	78,39%*	30.389
Nova Olinda	15.960	0,69%	100,00%	15.960
Santana do Cariri	17.388	-0,13%	70,78%	12.307
Total	372.280	0,45%**	84,08%**	316.097

* Por falta de dados do município, foi utilizado como referência o valor médio do estado do Ceará. ** Média

Fonte: IBGE. Elaboração própria.

Tabela 4 – Estimativa da quantidade de RSU coletados nos municípios do consórcio

Município	Quant. coletada kg/hab./dia	Quant. coletada ton/dia	Quant. coletada ton/ano
Crato	0,93	108	39.359
Altaneira	0,34	2	689
Barbalha	0,79	58	21.292
Caririaçu	1,06	26	9.387
Farias Brito	1,06	15	5.321
Jardim	1,03	25	9.056
Missão Velha	1,13*	34	12.534
Nova Olinda	0,94	15	5.476
Santana do Cariri	1,43	18	6.424
Total	8	300	109.536

* Por falta de dados do município, foi utilizado como referência o valor médio do estado do Ceará.

Fonte: IBGE. Elaboração própria.

4.3. Estimativa da Produção e Receita por Tecnologia a ser implementada pela Comares

4.3.1. Queima de resíduos

Com base na composição gravimétrica dos resíduos, foi possível estimar a fração classificada como rejeitos, correspondente a 16,7% do total (Tabela 1). Dessa fração, subtraiu-se a porcentagem estimada de resíduos perigosos que não são adequados para a queima, adotando-se uma taxa conservadora de 4% (Tchobanoglous; Kreith, 2002).



Foram considerados os resíduos diferenciáveis que não apresentaram qualidade suficiente para a reciclagem. Essa fração pode ser incorporada ao cálculo para fins de queima de resíduos, caso essa destinação venha a ser adotada.

Para estimar a energia produzida e a receita gerada por meio da queima dos rejeitos, foram consideradas variáveis como o poder calorífico inferior (PCI) dos resíduos, que indica o potencial de geração de energia útil pela combustão do resíduo, a eficiência da caldeira e da turbina a vapor. O PCI é diferente de acordo com o tipo de resíduos, se são diferenciáveis ou não. A receita foi estimada seguindo um preço de referência para o megawatt-hora (MWh), corrigido pelo IPCA, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Estimativa de receita com a venda de energia elétrica

Variáveis	Cenários		
	Pessimista	Intermediário	Otimista
PCI (ton) - Resíduos indiferenciados ¹	4.870	6.500	8.200
PCI (ton) - Resíduos diferenciados ¹	3.790	5.540	6.860
Eficiência da caldeira (%) ²	60%	70%	85%
Eficiência da turbina a vapor (%) ³	27,5%	37,5%	50%
Preço de referência do megawatt-hora (MWh) ⁴	R\$ 743,73	R\$ 743,73	R\$ 743,73

Fonte: (1) SILVA *et al.*, 2019; (2) Coontrol; (3) CREF – UFRGS; (4) Enel CE. Elaboração própria.

4.3.2. Triagem de recicláveis

Dos resíduos diferenciados que chegam para a triagem, apenas uma parcela apresenta condições adequadas para ser destinada à reciclagem, percentual que varia conforme o tipo de material. Já a fração não apta ao reaproveitamento é classificada como rejeito e encaminhada para queima ou disposição em aterro sanitário. Para a estimativa de receita, foram considerados os preços médios por tonelada de cada material na região do Ceará corrigidos ao longo dos anos, conforme dados do Anuário da Reciclagem 2023.

Na estimativa, foram utilizados apenas os preços médios de materiais com valores consolidados, conforme Tabela 6. Resíduos classificados como “outros recicláveis” não foram considerados, pois representam uma fração menor e heterogênea, sem preço médio definido.

Tabela 6 – Média dos preços dos materiais, por tipo de material, em R\$ /ton

Papel/Papelão	Plástico	Alumínio	Outros metais	Vidro
R\$ 340,00	R\$ 1.820,00	R\$ 6.490,00	R\$ 1.030,00	R\$ 110,00

Fonte: Banco de Dados do Anuário da Reciclagem (2023).



4.3.3. Compostagem

Considerando que pouco mais da metade dos resíduos sólidos é composta por matéria orgânica (51,40%), conforme gravimetria adotada, e que a capacidade da planta de compostagem é de 16 toneladas por dia, equivalente a 5.840 toneladas por ano, torna-se evidente uma limitação na capacidade de processamento. Diante desse limite e da expectativa de crescimento populacional positivo, a proporção da matéria orgânica destinada à compostagem tenderá a diminuir ao longo dos anos. Em contrapartida, a fração direcionada à produção de biogás tenderá a aumentar, absorvendo o excedente e contribuindo para a manutenção da eficiência do sistema de tratamento.

Assim, para as estimativas relacionadas à compostagem, foram consideradas duas variáveis principais: a taxa de redução do volume inicial após a decomposição e o preço médio dos fertilizantes orgânicos, conforme Tabela 7.

Tabela 7 – Cenários relativo ao volume de compostagem e os preços de fertilizantes orgânicos

Variáveis	Cenários		
	Pessimista	Intermediário	Otimista
Taxa de Redução de Volume na Compostagem ¹	30%	45%	60%
Preço dos fertilizantes orgânicos (ton) ²	R\$ 200,00	R\$ 325,00	R\$ 450,00

Fonte: (1) Biocycle; (2) Média de preços. Elaboração própria.

4.3.4. Biogás e biometano

Com parte da matéria orgânica destinada à produção de biogás, é importante considerar que nem todo o material orgânico será convertido diretamente em biogás. No processo de digestão anaeróbica, a fração que efetivamente gera biogás é a Matéria Orgânica Volátil (MOV), que corresponde à parte biodegradável dos resíduos.

Dessa forma, foram utilizados a taxa de MOV, o rendimento em metros cúbicos (m³) por tonelada e o preço do biogás estimado para 2025 pelo Centro Brasileiro de Infraestrutura (CBIE), que varia entre US\$ 8 e US\$ 9 por MMBTU, o que equivale aproximadamente a US\$ 0,15 a US\$ 0,18 por m³. Além disso, adotou-se uma taxa de câmbio fixa baseada na média dos últimos cinco anos.

O processo de transformação do biogás em biometano é chamado de *upgrading*, o qual remove gases indesejados como CO₂, vapor de água, sulfeto de hidrogênio (H₂S) e outros componentes. Após esse processo de purificação, o biometano resultante apresenta um teor de metano (CH₄) entre 90%-98%, tornando-se comparável ao gás natural fóssil, que possui aproximadamente 95%-98% de CH₄ (Embrapa, 2022).



Dessa forma, na produção foi considerado a proporção de CH_4 presente no biogás, a eficiência do processo de *upgrading*, o poder calorífico do biometano (em MJ/m^3) e a eficiência de conversão energética. Posteriormente, o conteúdo energético do biometano foi convertido para megawatts-hora (MWh).

Como não há dados específicos disponíveis sobre o preço do biometano no Brasil, utilizou-se, para fins de estimativa, a tarifa média do gás natural por metro cúbico, no período de junho de 2023 a setembro de 2024, considerando os setores industrial, automotivo, residencial, comercial e de serviços.

5. Diagnóstico da Situação Atual

5.1. Mercado de Resíduos Sólidos

Segundo o Panorama dos Resíduos Sólidos 2023, a projeção é de que foram coletadas 71.729.871 toneladas de RSU. Com a emergência do debate da sustentabilidade, cresce a busca por soluções que promovam a minimização do impacto ambiental e das diversas formas de poluição, impulsionando o setor.

Puga e Castro (2018) apontam a dificuldade de sustentabilidade financeira, destacando a inadimplência das dívidas das prefeituras com empresas privadas, como uma barreira ao setor. Acentuam-se ainda, a fragilidade da relação entre agentes públicos e privados e a falta de planejamento de longo prazo como responsáveis pelo aumento de custos e pela redução de eficiência. Assim como, o problema de escala que afeta municípios menores, o volume de RSU gerado impacta diretamente a instalação das estações de tratamento e a viabilidade de operação (Silva; Capanema, 2019).

No Nordeste, a gestão de resíduos sólidos representa desafios particulares. A cobertura de programas de coleta seletiva é baixa e a região apresenta alguns dos menores índices de acesso à infraestrutura, como áreas adequadas à disposição de resíduos, recuperação de materiais recicláveis e disposição de resíduos, juntamente à região Norte. A região possui a segunda maior população e a terceira densidade demográfica, tendo, portanto, o Nordeste então a segunda maior produção de Resíduos Sólidos Domiciliares (RDO) e a terceira em resíduos recicláveis. Apesar dessa expansão populacional e econômica, o investimento na gestão de resíduos na região é relativamente baixo quando comparado a outras regiões do Brasil (Rigoldi; Lima, 2024; Silva et al., 2020).

O Governo do Estado do Ceará utiliza o Imposto de Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) Ecológico para estimular iniciativas que adotam práticas focadas na redução de danos ambientais, incluindo a gestão de resíduos sólidos. Nesse sentido, municípios cearenses menores são capazes de competir com os outros municípios mais favorecidos para incrementar sua participação nos recursos quando investem na melhoria de suas condições ambientais. No



ano de 2022, o município de Sobral recebeu R\$ 377.884,44 de repasse relativo ao imposto, ao promover ações voltadas à gestão dos resíduos sólidos (CNM, 2023; Ipece, 2013).

Dados do SNIS, com ano base 2022, mostram que o custo da coleta para o Brasil é de 193,48 R\$/t e para o Ceará de 172,41 R\$/t. O custeio da administração de RSU deve ser feito a partir de uma cobrança de tarifa específica como previsto em lei (Brasil, 2010) mas também pela regionalização dos serviços, visando a redução da taxa e possibilitando ganhos de escala.

A Tabela 8 apresenta o custo da coleta em reais por quilogramas para os municípios participantes do consórcio Comares Cariri e para o Brasil.

Tabela 8 - Custo da coleta de RSU

Município	Custo da coleta (R\$/t)
Altaneira	412,78
Barbalha	172,41*
Caririaçu	206,60
Crato	193,82
Farias Brito	149,24
Jardim	172,41*
Missão Velha	172,41*
Nova Olinda	337,88
Santana do Cariri	172,41*
Brasil	193,48

* Por falta de dados específicos do município, foi utilizado como referência o valor médio do estado do Ceará.

Fonte: SNIS (2022). Elaboração própria.

A Tabela 9 contém os preços médios de comercialização, por quilo, de cada tipo de material reciclável no Ceará.

Tabela 9 - Média dos preços dos materiais recicláveis

Média dos preços dos materiais (R\$/kg)				
Papel/Papelão	Plástico	Alumínio	Outros Metais	Vidro
R\$ 0,34	R\$ 1,70	R\$ 6,49	R\$ 1,03	R\$ 0,11

Fonte: Banco de Dados do Anuário da Reciclagem (2023). Elaboração própria.

5.2. Mercados de Biogás e Biometano

Segundo o Panorama do Biogás no Brasil (2023), há crescimento efetivo do mercado de biogás com perspectiva de que o Brasil se torne uma potência global em biogás. A produção foi de 4,1 bilhões de metros cúbicos em 2023, com potencial mapeado de 84 bilhões de Mm³.



De acordo com Resíduos Sólidos Urbanos: Parte 1: Diagnóstico do Setor (2024), a recuperação energética dos RSU é mitigada pela necessidade de proximidade com o mercado consumidor e pela necessidade de uma escala mínima para gerar viabilidade econômico-financeira. Ademais, a presença de substitutos em conjunto com a precariedade da coleta seletiva e o custo alto de separação levam a um preço superior em relação às fontes disponíveis no mercado.

De maneira semelhante, o biometano caminha para uma fase de maturidade onde há atratividade econômica devido aos preços elevados do gás natural e se destaca em relação ao gás natural por sua origem renovável e por sua baixa intensidade de carbono. A capacidade total de produção de biometano atual é 417,1 mil Nm³ por dia, a entrada das 17 usinas de biometano em construção adicionaria por dia 761,9 mil Nm³ (Panorama do Biometano, 2023).

6. Usina Integrada

6.1. Proposta Inicial - Comares

O Comares desenvolveu um Plano de Negócios Referencial, no qual foi realizada uma modelagem da Concessão dos serviços de transbordo, transporte, tratamento e destinação final de resíduos sólidos urbanos. Nessa perspectiva, foi selecionado pelo Poder Concedente o cenário que se demonstrou mais vantajoso para o município, considerando os ganhos sociais e ambientais da rota tecnológica e o atendimento dos planos setoriais acerca do tema (Comares, s.d.).

No projeto desenvolvido pelo Comares é elevada a estimativa de investimento em sua fase inicial, a geração de caixa ocorre de maneira mais robusta após a fase de implementação e a lucratividade cresce com o tempo e se mantém estável no longo prazo. Os aspectos analisados pelo consórcio sinalizam a viabilidade do projeto, apesar de não conter informações como a TIR e o VPL que poderiam fornecer constatações mais precisas.

Na análise proposta pelo presente estudo almeja-se agregar à proposta desenvolvida pelo Comares a integração de biogás e biometano, e a queima de rejeitos à Usina de Tratamento de Resíduos Sólidos. Tal integração almeja, principalmente, promover a transição para fontes de energia renováveis e sustentáveis.

6.2. Integração de Biogás e Biometano

Em um mundo em que fontes de energia renováveis tornam-se essenciais para a transição energética e para o alcance das metas de sustentabilidade a integração do biogás e do biometano demonstra-se extremamente benéfica. Isso porque ela é capaz de reduzir a emissão de gases de efeito estufa, uma vez que evita a liberação de dióxido de carbono e metano pela decomposição da matéria orgânica. Ademais, tais gases podem ser utilizados diretamente no local onde são produzidos, reduzindo gastos e diminuindo a dependência de fontes externas como a



eletricidade convencional ou combustíveis fósseis, além de possuir um grande potencial de crescimento na atualidade (Green Eletron, 2025).

A análise dos dados do presente estudo permite inferir que o benefício econômico do biogás e do biometano apresentam uma tendência de crescimento ao longo dos anos. Ademais, em um cenário intermediário o biogás apresentou um rendimento de 445 m³/ ton e contou com um percentual que varia de 68% a 75% da quantidade de matéria orgânica destinada ao seu desenvolvimento.

Para o biometano, é válido destacar que nesse mesmo cenário ele apresentou uma eficiência do processo de *upgrading* e conversão de cerca de 93% e 45%, respectivamente. Outrossim, o seu volume produzido ao longo dos anos também apresentou uma tendência de crescimento gradual com implicações positivas no valor gerado de energia elétrica.

6.3. Integração da Queima de Rejeitos

A incineração de resíduos configura-se como uma opção de tratamento sustentável capaz de gerar uma solução rentável e ecológica ao diminuir as sobras e gerar energia. Com a queima de rejeitos, é possível observar uma redução de cerca de 70% a 90% dos resíduos, restando apenas material inerte (Cetrel, s.d.).

Em um cenário otimista, a integração da queima de rejeitos ao empreendimento proporcionou um aumento considerável na energia gerada ao longo do período, apresentando valores que variam de 55.826.046 MJ no primeiro ano a 74.231.806 MJ no último ano. Tal aspecto teve um impacto positivo no valor gerado ao longo do período em caso de distribuição na rede.

6.4. Investimentos Iniciais

Os custos iniciais de investimento podem ser divididos em dois fins: os que compõem a parte do aterro sanitário, da compostagem, da triagem, do transbordo e aqueles que fazem referência à transformação dos resíduos em biogás, biometano ou à sua incineração. Os primeiros foram retirados do Comares (2022), realizado pela empresa responsável pelo consórcio de Comares Cariri. Já os segundos foram extraídos da análise para uma usina que recebe 400 toneladas diárias conforme Santos (2014)¹⁴ e complementados com dados calculados.

Para a implantação do aterro sanitário e para a produção de composto e reciclagem, as maiores despesas de investimento são com a construção das Estações de Transferência de Resíduos (ETRs), que representam 48,47% do investimento inicial, seguidas pela implantação da unidade de triagem automatizada (25,51%), parte da CTR, e pelos galpões de triagem manual (11,78%).

¹⁴ Os preços de 2014 foram corrigidos a valores de 2024 com base na Calculadora do Cidadão, empregando o índice IGP-M.



Os investimentos para essa configuração totalizam R\$ 35.418.102,00, conforme detalhado na Tabela 10.

Tabela 10 - Investimentos iniciais: aterro, compostagem e reciclagem

Investimentos iniciais da usina – aterro, composto e reciclagem		
Investimento Inicial	Descrição	Valor do investimento (R\$)
Etr - transbordo - construção	Instalação de 4 ETRs.	R\$ 17.168.267,00
Ctr - triagem automatizada implantação de unidade	Alimentadores, plataformas de triagem primária e secundária, rasga sacos, peneira rotativa, separadores, prensa e pá carregadeira.	R\$ 9.033.789,00
Ctr - aterro sanitário – implantação do aterro sanitário	Rolo compactador, escavadeiras hidráulicas, pá carregadeira, retroescavadeira, caminhões basculantes, caminhão pipa e balanças.	R\$ 2.277.950,00
Cmr - implantação dos galpões de triagem manual	Implantação de 9 galpões de triagem manual com edificações para escritórios, sanitários, vestiários e refeitório.	R\$ 4.171.750,00
Cmr - implantação dos galpões compostagem aeróbia	Trituradores de galhos, balanças e pá carregadeira.	R\$ 1.695.462,00
Ctr - implantação das unidades de compostagem aeróbia	Instalação de 9 unidades de tratamento de resíduos orgânicos	R\$ 1.070.884,00
TOTAL	-	R\$ 35.418.102,00

Fonte: Comares Cariri (2022); Santos (2014); Dados Calculados. Elaboração própria.

Ao incluir a produção de biogás na estrutura, o investimento inicial continua sendo composto principalmente pela construção das 4 ETRs (26,65%) e pela implantação da unidade de triagem automatizada, 14,02% do total. Entretanto, os equipamentos industriais (18,89%) e a planta de biogás, com 18,63%, são incluídos como itens relevantes. No total, os componentes somam R\$ 64.415.145,29 em investimentos iniciais (Tabela 11).

**Tabela 11** - Investimentos iniciais: aterro, biogás, compostagem e reciclagem

Investimentos iniciais da usina – aterro, biogás, composto e reciclagem		
Investimento Inicial	Descrição	Valor do investimento (R\$)
Etr - transbordo - construção	Instalação de 4 ETRs.	R\$ 17.168.267,00
Ctr - triagem automatizada implantação de unidade	Alimentadores, plataformas de triagem primária e secundária, rasga sacos, peneira rotativa, separadores, prensa e pá carregadeira.	R\$ 9.033.789,00
Ctr - aterro sanitário – implantação do aterro sanitário	Rolo compactador, escavadeiras hidráulicas, pá carregadeira, retroescavadeira, caminhões basculantes, caminhão pipa e balanças.	R\$ 2.277.950,00
Cmr - implantação dos galpões de triagem manual	Implantação de 9 galpões de triagem manual com edificações para escritórios, sanitários, vestiários e refeitório.	R\$ 4.171.750,00
Cmr - implantação dos galpões compostagem aeróbia	Trituradores de galhos, balanças e pá carregadeira.	R\$ 1.695.462,00
Ctr - implantação das unidades de compostagem aeróbia	Instalação de 9 unidades de tratamento de resíduos orgânicos	R\$ 1.070.884,00
Alvenaria	Tanques para o processo de separação dos biofertilizantes.	R\$ 1.521.136,17
Equipamentos (instalação e aquisição)	Misturador, granulador, geradores de energia, compressores, bombas e forno rotativo.	R\$ 12.169.089,36
Mão de obra e instalação de equipamentos	Mão de obra.	R\$ 3.306.817,76
Planta de biogás	Planta de biogás	R\$ 12.000.000,00
TOTAL	-	R\$ 64.415.145,29

Fonte: Comares Cariri (2022); Santos (2014); Dados Calculados. Elaboração própria.

Considerando a produção tanto do biogás quanto do biometano, os valores acerca do investimento inicial que mais se destacam são a construção de ETRs, representando 23,71%, os equipamentos industriais (16,80%) e o sistema de *upgrading* (11,05%). O valor consolidado do investimento inicial total resulta em R\$ 72.415.145,29 (Tabela 12).

**Tabela 12 - Investimentos iniciais: aterro, biogás, biometano, compostagem e reciclagem****Investimentos iniciais da usina – aterro, biogás, biometano, combustão, composto e reciclagem**

Investimento Inicial	Descrição	Valor do investimento (R\$)
Etr - transbordo - construção	Instalação de 4 ETRs.	R\$ 17.168.267,00
Ctr - triagem automatizada implantação de unidade	Alimentadores, plataformas de triagem primária e secundária, rasga sacos, peneira rotativa, separadores, prensa e pá carregadeira.	R\$ 9.033.789,00
Ctr - aterro sanitário – implantação do aterro sanitário	Rolo compactador, escavadeiras hidráulicas, pá carregadeira, retroescavadeira, caminhões basculantes, caminhão pipa e balanças.	R\$ 2.277.950,00
Cmr - implantação dos galpões de triagem manual	Implantação de 9 galpões de triagem manual com edificações para escritórios, sanitários, vestiários e refeitório.	R\$ 4.171.750,00
Cmr - implantação dos galpões compostagem aeróbia	Trituradores de galhos, balanças e pá carregadeira.	R\$ 1.695.462,00
Ctr - implantação das unidades de compostagem aeróbia	Instalação de 9 unidades de tratamento de resíduos orgânicos	R\$ 1.070.884,00
Alvenaria	Tanques para o processo de separação dos biofertilizantes.	R\$ 1.521.136,17
Equipamentos (instalação e aquisição)	Misturador, granulador, geradores de energia, compressores, bombas e forno rotativo.	R\$ 12.169.089,36
Mão de obra e instalação de equipamentos	Mão de obra.	R\$ 3.306.817,76
Planta de biogás	Planta de biogás	R\$ 12.000.000,00



Sistema de <i>upgrading</i>	Sistema de <i>upgrading</i>	R\$ 8.000.000,00
TOTAL	-	R\$ 72.415.145,29

Fonte: Comares Cariri (2022); Santos (2014); Dados Calculados. Elaboração própria.

7. Resultados da Análise Financeira do Empreendimento.

Os resultados presentes nesta seção serão examinados a partir da ótica privada, em que a taxa de desconto utilizada no estudo é 10,73%, a taxa privada de desconto foi calculada com base na WACC (Tabela 13, 14 e 15). Os cenários considerados para todos os fluxos de caixa da seção são: compostagem no cenário otimista e biogás e biometano no cenário intermediário.

Tabela 13 - CAPM

Custo do capital próprio (CAPM)					
RF	β	$[E(RM)-RF]$	αBR	S_p	CAPM
3,72% ¹	0,78 ²	1,28% ³	2,28% ⁴	5% ⁵	12%

Fonte: (1) Bloomberg; (2) NYU; (3) Federal Reserve Bank; (4) Ipea; (5) Kroll. Elaboração própria.

Tabela 14 - RD

Custo do capital de terceiros (RD)		
RB	T	RD
10,65%	13,56%	9,20%

Fonte: B3; Comares Cariri (2022). Elaboração própria.

Tabela 15 - WACC

Capital próprio	Custo do capital próprio	Capital de terceiros	Custo do capital de terceiros	WACC
54,65%	12%	45,35%	9,20%	10,73%

Fonte: Comares Cariri (2022) e dados calculados. Elaboração própria.

Primeiramente, considerou-se a produção de somente reciclagem e composto na usina, para que fosse possível elaborar o fluxo de caixa (Tabela 16). Neste cenário, o VPL positivo na ordem de R\$ 15,68 milhões indica que os lucros gerados pelo projeto, ajustados à taxa de desconto,



superam os custos previstos. Paralelamente, o VPL das atividades financeiras também apresentou trajetória positiva, de R\$ 81,82 milhões. Ademais, o indicador Custo/Benefício (C/B) da usina foi de R\$ 1,88, sinalizando que para cada R\$ 1,00 investido, são gerados R\$ 1,88 em benefícios. Finalmente, a Taxa Interna de Retorno (TIR), 16,43%, foi maior que a Taxa de Desconto Privada, o que torna o projeto atraente, sugerindo que este é uma oportunidade de investimento.

Tabela 16 – Fluxo de caixa: aterro, compostagem e reciclagem

	0	1	15	30
(=) Receita Operacional Bruta		R\$ 47.804.700,90	R\$ 87.091.888,53	R\$ 168.033.044,38
Resíduos Recicláveis		R\$ 44.230.473,71	R\$ 81.131.719,73	R\$ 158.339.640,95
Resíduos Orgânicos		R\$ 3.574.227,19	R\$ 5.960.168,80	R\$ 9.693.403,43
Rejeitos (Combustão)		R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
(-) Impostos sobre faturamento	R\$ 0,00	-R\$ 6.812.169,88	-R\$ 12.410.594,12	-R\$ 23.944.708,82
(=) Receita Operacional Líquida	R\$ 0,00	R\$ 40.992.531,02	R\$ 74.681.294,42	R\$ 144.088.335,56
(-) Custos Operacionais	-R\$ 35.418.102,00	-R\$ 36.232.232,07	-R\$ 29.715.803,49	-R\$ 39.223.004,07
(=) EBITDA	-R\$ 35.418.102,00	R\$ 4.760.298,95	R\$ 44.965.490,92	R\$ 104.865.331,48
(-) Depreciação/Exaustão		-R\$ 3.187.629,18	R\$ 0,00	R\$ 0,00
(=) EBIT	-R\$ 35.418.102,00	R\$ 1.572.669,77	R\$ 44.965.490,92	R\$ 104.865.331,48
(=) EBT	-R\$ 35.418.102,00	R\$ 1.572.669,77	R\$ 44.965.490,92	R\$ 104.865.331,48
(=) Lucro Líquido	-R\$ 35.418.102,00	R\$ 1.061.962,05	R\$ 29.701.224,01	R\$ 69.235.118,78
Fluxo de Caixa Livre	-R\$ 35.418.102,00	R\$ 4.249.591,23	R\$ 29.701.224,01	R\$ 69.235.118,78
Fluxo de Caixa das Atividades Financeiras	-R\$ 35.418.102,00	R\$ 2.262.989,89	R\$ 19.771.736,73	R\$ 69.235.118,78
Fluxo de Caixa Descontado	-R\$ 35.418.102,00	R\$ 3.837.795,74	R\$ 6.438.650,46	R\$ 3.253.624,61
Fluxo de Caixa das Atividades Financeiras Descontado	-R\$ 35.418.102,00	R\$ 2.262.989,89	R\$ 19.771.736,73	R\$ 69.235.118,78
Fluxo de Caixa Acumulado	-R\$ 35.418.102,00	-R\$ 33.155.112,11	R\$ 137.386.680,11	R\$ 789.823.343,53
Fluxo de Caixa Descontado Acumulado	-R\$ 35.418.102,00	-R\$ 31.580.306,26	R\$ 62.389.456,83	R\$ 129.026.721,98

Fonte: Dados calculados. Elaboração própria.



Em uma segunda análise, insere-se a produção de biogás na usina e novo fluxo de caixa é preparado (Tabela 17). Nesse contexto, os fluxos futuros permanecem positivos, contudo, sofrem reduções notáveis, para R\$ 4,55 e R\$ 65,96 milhões, no VPL e VPL das atividades financeiras. Por outro lado, o C/B aumentou para R\$ 1,89. Já a TIR reduziu-se para 11,75%, levemente acima da taxa de desconto privada. Esse conjunto de indicadores reflete que o projeto ainda é viável, entretanto, menos atrativo que a combinação apresentada anteriormente.

Tabela 17 – Fluxo de caixa: aterro, biogás, compostagem e reciclagem

	0	1	15	30
(=) Receita Operacional Bruta		R\$ 47.804.700,90	R\$ 99.071.998,35	R\$ 193.083.924,94
Resíduos Recicláveis		R\$ 44.230.473,71	R\$ 81.131.719,73	R\$ 158.339.640,95
Resíduos Orgânicos		R\$ 3.574.227,19	R\$ 17.940.278,62	R\$ 34.744.283,99
Rejeitos (Combustão)		R\$ -	R\$ -	R\$ -
(-) Impostos sobre faturamento	R\$ -	-R\$ 6.812.169,88	-R\$ 14.117.759,76	-R\$ 27.514.459,30
(=) Receita Operacional Líquida	R\$ -	R\$ 40.992.531,02	R\$ 84.954.238,58	R\$ 165.569.465,64
(-) Custos Operacionais	-R\$ 64.415.145,29	-R\$ 36.431.209,45	-R\$ 30.936.418,53	-R\$ 42.010.868,23
(=) EBITDA	-R\$ 64.415.145,29	R\$ 4.561.321,58	R\$ 54.017.820,05	R\$ 123.558.597,41
(-) Depreciação/Exaustão		-R\$ 5.797.363,08	R\$ -	R\$ -
(=) EBIT	-R\$ 64.415.145,29	-R\$ 1.236.041,50	R\$ 54.017.820,05	R\$ 123.558.597,41
(=) EBT	-R\$ 64.415.145,29	-R\$ 1.236.041,50	R\$ 54.017.820,05	R\$ 123.558.597,41
(=) Lucro Líquido	-R\$ 64.415.145,29	-R\$ 1.236.041,50	R\$ 35.675.761,23	R\$ 81.572.674,29
Fluxo de Caixa Livre	-R\$ 64.415.145,29	R\$ 4.561.321,58	R\$ 35.675.761,23	R\$ 81.572.674,29
Fluxo de Caixa das Atividades Financeiras	-R\$ 64.415.145,29	R\$ 948.276,08	R\$ 17.616.934,54	R\$ 81.572.674,29
Fluxo de Caixa Descontado	-R\$ 64.415.145,29	R\$ 4.119.318,68	R\$ 7.733.814,48	R\$ 3.833.413,81
Fluxo de Caixa das Atividades Financeiras Descontado	-R\$ 64.415.145,29	R\$ 948.276,08	R\$ 17.616.934,54	R\$ 81.572.674,29
Fluxo de Caixa Acumulado	-R\$ 64.415.145,29	-R\$ 63.466.869,21	R\$ 114.408.757,26	R\$ 862.622.726,01
Fluxo de Caixa Descontado Acumulado	-R\$ 64.415.145,29	-R\$ 60.295.826,61	R\$ 62.923.713,32	R\$ 142.913.629,62

Fonte: Dados calculados. Elaboração própria.



Por fim, são consideradas a produção de biogás e biometano, além de reciclagem e compostagem, resultando no fluxo de caixa demonstrado na Tabela 18. Alguns indicadores demonstram que o projeto deixa de ser viável. Inicialmente, o VPL apresentou-se negativo, enquanto o mesmo índice referente às atividades financeiras foi positivo. Já o C/B ficou próximo dos valores encontrados nos dois primeiros modelos, na ordem de R\$ 1,87. Entretanto, a TIR de 10,51%, abaixo da taxa de desconto, aponta que o projeto não é viável nessas condições.

Tabela 18 – Fluxo de caixa: aterro, biogás, biometano, compostagem e reciclagem

	0	1	15	30
(=) Receita Operacional Bruta		R\$ 47.804.700,90	R\$ 102.927.717,29	R\$ 195.022.758,47
Resíduos Recicláveis		R\$ 44.230.473,71	R\$ 81.131.719,73	R\$ 158.339.640,95
Resíduos Orgânicos		R\$ 3.574.227,19	R\$ 21.795.997,56	R\$ 36.683.117,52
Rejeitos (Combustão)		R\$ -	R\$ -	R\$ -
(-) Impostos sobre faturamento	R\$ -	-R\$ 6.812.169,88	-R\$ 14.667.199,71	-R\$ 27.790.743,08
(=) Receita Operacional Líquida	R\$ -	R\$ 40.992.531,02	R\$ 88.260.517,57	R\$ 167.232.015,39
(-) Custos Operacionais	-R\$ 72.415.145,29	-R\$ 36.418.506,83	-R\$ 31.642.346,39	-R\$ 42.706.933,71
(=) EBITDA	-R\$ 72.415.145,29	R\$ 4.574.024,19	R\$ 56.618.171,18	R\$ 124.525.081,68
(-) Depreciação/Exaustão		-R\$ 6.517.363,08	R\$ -	R\$ -
(=) EBIT	-R\$ 72.415.145,29	-R\$ 1.943.338,89	R\$ 56.618.171,18	R\$ 124.525.081,68
(=) EBT	-R\$ 72.415.145,29	-R\$ 1.943.338,89	R\$ 56.618.171,18	R\$ 124.525.081,68
(=) Lucro Líquido	-R\$ 72.415.145,29	-R\$ 1.943.338,89	R\$ 37.391.992,98	R\$ 82.210.553,91
Fluxo de Caixa Livre	-R\$ 72.415.145,29	R\$ 4.574.024,19	R\$ 37.391.992,98	R\$ 82.210.553,91
Fluxo de Caixa das Atividades Financeiras	-R\$ 72.415.145,29	R\$ 512.258,69	R\$ 17.090.361,23	R\$ 82.210.553,91
Fluxo de Caixa Descontado	-R\$ 72.415.145,29	R\$ 4.130.790,38	R\$ 8.105.860,30	R\$ 3.863.390,23
Fluxo de Caixa das Atividades Financeiras Descontado	-R\$ 72.415.145,29	R\$ 512.258,69	R\$ 17.090.361,23	R\$ 82.210.553,91
Fluxo de Caixa Acumulado	-R\$ 72.415.145,29	-R\$ 71.902.886,60	R\$ 106.824.485,83	R\$ 857.672.659,76
Fluxo de Caixa Descontado Acumulado	-R\$ 72.415.145,29	-R\$ 68.284.354,90	R\$ 60.609.051,56	R\$ 142.222.009,85

Fonte: Dados calculados. Elaboração própria.



Ademais, depreende-se dos resultados dos fluxos de caixa que a implementação de uma planta de incineração de resíduos não é factível em nenhum dos cenários apresentados, haja vista seu alto investimento inicial de R\$ 113,86 milhões. Isso posto, verifica-se que ambos os VPLs e a TIR obtiveram resultados consideravelmente desfavoráveis à concretização do projeto.

Em síntese, constata-se que os a produção de reciclagem e composto aliados ou ao biogás ou ao biometano são as melhores alternativas para o funcionamento da usina de tratamento de resíduos sólidos, ressaltando indicadores que confirmam a viabilidade do empreendimento. Por outro lado, devido ao seu alto custo de instalação, a incineração dos rejeitos não é executável dentro do projeto.

8. Conclusão

A análise financeira realizada evidência que a reestruturação do projeto do Consórcio Municipal para Aterro de Resíduos Sólidos (Comares) em uma usina integrada de tratamento de resíduos sólidos possui potencial significativo para conciliar viabilidade financeira, sustentabilidade e benefícios sociais.

Os resultados apontaram que a combinação de reciclagem e produção de composto, associada de forma exclusiva à geração de biogás ou biometano, é a alternativa mais promissora para garantir a atratividade do empreendimento. Essa rota tecnológica permite não apenas reduzir os impactos ambientais decorrentes da disposição inadequada dos resíduos, mas também aproveitar recursos que seriam desperdiçados.

Por outro lado, a inclusão de uma planta de incineração demonstrou ser inviável financeiramente devido ao elevado custo de implementação e operação, o que reforça a importância de priorizar soluções que estejam alinhadas com a realidade econômica, técnica e produtiva dos municípios.

Nesse contexto, a proposta de implantação de uma usina integrada de tratamento de resíduos sólidos na região do Cariri representa uma estratégia alinhada à Política Nacional de Resíduos Sólidos, promovendo a economia circular, a mitigação das emissões de gases de efeito estufa e a melhoria da qualidade de vida da população.

Por outra perspectiva, verifica-se que a implementação da usina está sujeita a diversas incertezas, que podem comprometer sua viabilidade. Apesar do estudo já endereçar parte dessas incertezas com a construção dos cenários otimista, intermediário e pessimista, faz-se essencial detalhar os riscos e estratégias de mitigação para garantir a viabilidade do projeto no longo prazo.

Inicialmente, nota-se que uma porção relevante das receitas da usina decorrem dos valores gerados pela comercialização dos materiais recicláveis. Isso posto, o preço desses itens está sujeito a flutuações macroeconômicas e demanda da indústria recicladora. Sendo assim, de



modo a suavizar a sensibilidade dos lucros do projeto, faz-se necessário a diversificação dos materiais vendidos, bem como o investimento em processos de beneficiamento dos resíduos recuperados, de maneira a agregar valor na produção desses bens.

Por outro lado, fica evidente o alto investimento inicial em infraestrutura, equipamentos de triagem e digestores, por exemplo, fundamental para a implantação da usina. Sendo assim, a adoção de parcerias público-privadas permite a dissolução do risco de investimento e operação para o agente privado, que assume o capital inicial e recebe remuneração de longo prazo a partir da performance do projeto.

Finalmente, ressalta-se que o presente trabalho está centrado na viabilidade financeira e técnica da usina integrada de resíduos sólidos. Visto isso, surgem limitações na análise, especialmente no que tange aos riscos operacionais e logísticos do projeto. Dessa maneira, estudos futuros podem explorar modelagens de programas de educação e conscientização que maximizem a adesão à coleta seletiva, de modo a garantir volume e qualidade do material triado. Além disso, também se manifesta como oportunidade a avaliação da localização em que a usina será construída, considerando as rotas de coleta mais eficientes e minimizando os custos de transporte e impacto ambiental.

Mesmo que desafios técnicos, institucionais e operacionais persistam, o estudo comprova que a adoção de modelos sustentáveis de gestão de resíduos é não apenas necessária, mas viável, desde que embasada em planejamento estratégico, parcerias intermunicipais e compromisso de longo prazo.



9. Referências

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2023**. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/panorama>. Acesso em: 02 ago. 2024.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação**. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. Disponível em: <https://analiticaqm Cresíduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2024.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Biometano**. Ministério de Minas e Energia, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/biometano>. Acesso em: 13 abr. 2025.

Bloomberg. **United States rates & bonds**. Disponível em: <https://www.bloomberg.com/markets/rates-bonds/government-bonds/us>. Acesso em: 19 set. 2024.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. Calculadora do Cidadão — Correção de Valores. Disponível em: <https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADA0/publico/exibirFormCorrecaoValores.do?method=exibirFormCorrecaoValores>. Acesso em: 9 set. 2024.

BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Resíduos sólidos urbanos: parte 1: diagnóstico do setor**. Rio de Janeiro: BNDES, 2024. 11 p. (Estudos Especiais do BNDES; 30).

BRASIL. **Coleta Seletiva. Ministério do Meio Ambiente**. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/catadores-de-materiais-reciclaveis/reciclagem-e-reaproveitamento.html>. Acesso em: 10 set. 2024.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 2 ago. 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 02 ago. 2024.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR). **Cooperação Técnica Brasil - Alemanha: Manual da Calculadora de Emissões de GEE para Resíduos**. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/protegeer/copy_of_ManualdaFerramentadeGEE_02.08.2021.pdf. Acesso em: 19 set. de 2024.

B3. **Indicadores financeiros**. Disponível em: https://www.b3.com.br/pt_br/market-data-e-indices/servicos-de-dados/market-data/consultas/mercado-de-derivativos/indicadores/indicadores-financeiros/ Acesso em: 20 set. 2024.



CÂMARA DOS DEPUTADOS. Projeto prorroga em cinco anos o prazo para fim dos lixões nas cidades com até 50 mil habitantes. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/1058976-projeto-prorroga-em-cinco-anos-o-prazo-para-fim-dos-lixoes-nas-cidades-com-ate-50-mil-habitantes/>. Acesso em: 12 abr. 2025.

CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem. Lixo Municipal – Manual de gerenciamento integrado. 4º edição, 2018. Disponível em: https://cempre.org.br/wp-content/uploads/2020/11/6-Lixo_Municipal_2018.pdf. Acesso em: 12 abr. 2025.

CETREL. As vantagens da incineração como solução sustentável para tratamento de resíduos. Disponível em: <https://www.cetrel.com.br/as-vantagens-da-incineracao-como-solucao-sustentavel-para-tratamento-de-residuos/>. Acesso em: 12 abr. 2025.

CIBIOGÁS. Panorama do biogás no Brasil 2023. Foz do Iguaçu: CIBiogás, 2024. 22 p. il. Color.

CIGRES. Disponível em: <https://www.cigres.com.br/portal/>. Acesso em: 31 mar. 2025.

COMARES CARIRI. Anexo XI – Plano de Negócios Referencial: Concessão comum para a prestação dos serviços públicos de manejo de resíduos sólidos do Cariri. [S.l.: s.n.], [s.d.]. **COMARES. Carta de Serviço ao Cidadão.** Disponível em: <https://comarescariri.ce.gov.br/cartaservicos>. Acesso em: 13 abr. 2025.

COMARES CARIRI. Estudos II – Relatório Econômico-Financeiro. Crato, CE, 2022. Disponível em: <https://comarescariri.ce.gov.br/licitacoes/1>. Acesso em: 13 abr. 2025.

CONKE, L. S.; NASCIMENTO, E. P. DO. A coleta seletiva nas pesquisas brasileiras: uma avaliação metodológica. urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, v. 10, n. 1, p. 199–212, jan. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2175-3369.010.001.AO14>. Acesso em: 11 abr. 2025.

CONTADOR, Cláudio. Projetos sociais. 4. ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2000.

CNM - Confederação Nacional de Municípios. Consórcios Públicos Municipais: estrutura, prestação de contas e transparência, Brasília, 2020. Disponível em: <https://cnm.org.br/storage/biblioteca/Consortorios-publicos-intermunicipais-2ed.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2025.

CNM - Confederação Nacional de Municípios. Nota Técnica nº 11/2023: ICMS Ecológico. Brasília: CNM, 09 out. 2023. Disponível em: https://cnm.org.br/storage/biblioteca/2023/Notas_tecnicas/202310_NT112023_MAMB_ICM_S_Ecologico.pdf?t=1696860240. Acesso em: 18 nov. 2025.

ECOTRES - Consórcio Público de Tratamento de Resíduos Sólidos. Disponível em: <https://www.ecotres.com.br/>. Acesso em: 31 mar. 2025.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Biogás e suas contribuições para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Brasília, 2022. Disponível em:



<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/243782/1/DOC-49-final-1.pdf>. Acesso em: 15 set. 2024.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Panorama do Biometano**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-781/Panorama%20de%20Biometano.pdf>. Acesso em: 9 set. 2024.

EXAME. **Aterro sanitário, aterro controlado e lixo: qual a diferença?**. Disponível em: <https://exame.com/brasil/aterro-sanitario-aterro-controlado-e-lixao-qual-a-diferenca/>. Acesso em: 12 abr. 2025.

FRED - Federal Reserve Bank of St Louis. **Federal Funds Effective Rate**. Disponível em: <https://fred.stlouisfed.org/series/FEDFUNDS>. Acesso em: 19 set. 2024.

GIEGRICH, Jürgen. **Manual da Calculadora de Emissões de GEE para Resíduos**. Ferramenta de Cálculo de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) no Manejo de RSU para o Brasil – Metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Cooperação Técnica Brasil–Alemanha, 2021. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/protegeer/copy_of_ManualdaFerramentadeGEE_02.08.2021.pdf. Acesso em: 19 set. 2024.

GREEN ELÉTRON. **Transformando resíduos em energia: o potencial do biogás e biometano**. Disponível em: <https://greeneletron.org.br/blog/transformando-residuos-em-energia-o-potencial-do-biogas-e-biometano/>. Acesso em: 12 abr. 2025.

HENRICHS, Joanni Aparecida; LIMA, Diana Vaz de; CUNHA, Marcus Vinicius. **Consórcios públicos intermunicipais: estrutura, prestação de contas e transparência**. 2. ed. Brasília: Confederação Nacional de Municípios – CNM, 2020. 164 p. ISBN 978-65-88521-01-4.

IPECE — INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Uma análise da consistência do ICMS Ecológico do Ceará**. Fortaleza: IPECE, maio 2013. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2013/05/UMA_ANALISE_DA_CONSISTENCIA_DO_ICMS_ECOLOGICO_DO_CEARA.pdf. Acesso em: 17 nov. 2025.

INSTITUTO PRAGMA. **Anuário da Reciclagem 2023**. Edição 2023. Disponível em: <https://anuariodareciclagem.eco.br/>. Acesso em: 09 set. 2024.

Ipeadata. **EMBI+ Risco-Brasil**. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/ExibeSerie.aspx?serid=40940&module=M>. Acesso em: 19 set. 2024.

IQSC-USP - Instituto de Química de São Carlos. **Projeto Compostagem com Ciência: Manual de Compostagem**. São Carlos, 2022. Apoio: Santander. Disponível em: <https://sau.usp.br/wp-content/uploads/sites/646/2023/06/E-bookCompostagemComCienciav2.pdf>. Acesso em: 5 abr. 2025.

JUSBRASIL. **Gestão de resíduos sólidos: desafios e soluções no Brasil**. JusBrasil, 2023. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/artigos/gestao-de-residuos-solidos-desafios-e-solucoes-no-brasil/3152143452>. Acesso em: 23 nov. 2025.



MACHADO, Camila Frankenfeld. **Incineração: Uma Análise do Tratamento Térmico dos Resíduos Sólidos Urbanos de Bauru/SP**. Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2015. Disponível em: <https://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10013010.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2025.

NUNES, C. et al. **Kroll regularly reviews fluctuations in global economic and financial market conditions that warrant a periodic reassessment of the ERP and the accompanying risk-free rate**. Disponível em: <https://www.kroll.com/en/insights/publications/cost-of-capital/recommended-us-equity-risk-premium-and-corresponding-risk-free-rates>. Acesso em: 19 set. 2024.

NYU. **Betas by sector**. Disponível em: https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html. Acesso em: 18 set. 2024.

PUGA, Fernando Pimentel; CASTRO, Lavínia Barros de (Org.). **Visão 2035: Brasil, país desenvolvido: agendas setoriais para alcance da meta**. 1. ed. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2018. 437 p. ISBN 9788587545640.

RIGOLDI, Kelly Cristina; LIMA, Valéria. Instrumentos de gestão e produção de resíduos sólidos no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEÓGRAFOS, 8., 2024, São Paulo. **Anais do VIII Congresso Brasileiro de Geógrafos**. São Paulo: AGB, 2024.

SANTOS, Anderson Tiago do Carmo. **Estudo de viabilidade financeira de um projeto de usina integrada de resíduo sólido urbano: uma análise de escala**. 2014. 74 f., il. Monografia (Bacharelado em Ciências Econômicas) —Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

SILVA, E. R. DA .; TONELI, J. T. DE C. L.; PALACIOS-BERECHE, R.. **Estimativa do potencial de recuperação energética de resíduos sólidos urbanos usando modelos matemáticos de biodigestão anaeróbia e incineração**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 24, n. 2, p. 347–357, mar. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019179023>. Acesso em: 13 abr. 2025.

SILVA, Manoel Mariano Neto da et al. **Gestão dos resíduos sólidos no Nordeste brasileiro: desafios e perspectivas**. Research, Society and Development, v. 9, n. 8, p. e1796, 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/1796>. Acesso em: 18 nov. 2025.

SILVA, R. M.; OLIVEIRA, J. P. **Fragilidades e potencialidades na gestão dos resíduos sólidos urbanos**. Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, Curitiba, v. 12, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/urbe/a/VphbjGPyh6QDYKDc4X6tK4m/?format=html>. Acesso em: 23 nov. 2025.

SILVA, Vanessa Pinto Machado e; CAPANEMA, Luciana Xavier de Lemos. **Políticas públicas na gestão de resíduos sólidos: experiências comparadas e desafios para o Brasil = Public policies in solid waste management: compared experiences and challenges for Brazil**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, v. 25, n. 50, p. 153-200, set. 2019.



SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Painel de Indicadores 2023**. Disponível em: http://appsnis.mdr.gov.br/indicadores-hmg/web/residuos_solidos/mapa-indicadores. Acesso em: 02 ago. 2024.

SINISA - Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico. **2024 Glossário de Termos Técnicos - Limpeza Urbana e Manejo de Resíduos Sólidos**. Ministério das Cidades, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/sinisa/area-do-prestador/arquivos/copy_of_GLOSSRIO_TERMOS_TCNICOS_SINISA_RS.pdf. Acesso em: 12 abr. 2025.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico Temático Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos, 2023**. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - SNSA, 2023. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/Snis/RESIDUOS_SO_LIDOS/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_RS_SNIS_2023_ATUALIZADO.pdf. Acesso em: 04 ago. 2024.

TCHOBANOGLIOUS, George; KREITH, Frank. **Handbook of solid waste management**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 2002.